UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

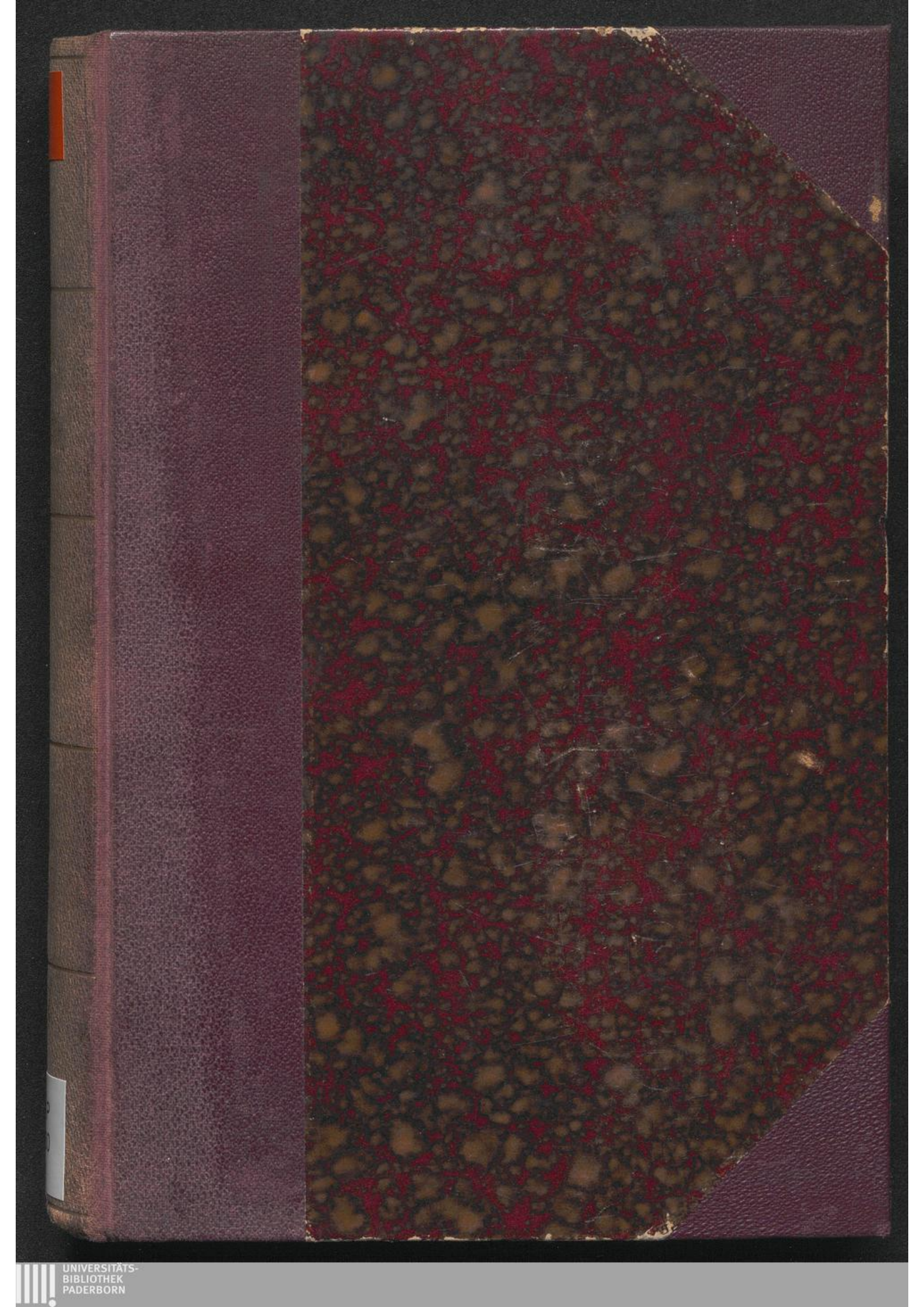
Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1865

urn:nbn:de:hbz:466:1-75469

Visual Library


UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Szilep Kálmán

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

2431

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik.

nagyszigeti
ID. SZILY KÁLMÁN
1838.—1924.
KÖNYVTÁRA.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

2431

Handbuch der Physik

zur

Selbstbelehrung für Jedermann

von

Professor Ph. Spiller.

(Verf. von „Grundriß der Physik", „Physik für Frauen", „Neue Theorie der Elektrizität und des Magnetismus" ꝛc.)

Lehrerbibliothek Paderborn

Erster Band.

Mit 254 in den Text gedruckten Figuren und Abbildungen.

Berlin 1865.
L. Oehmigke's Verlag
(Fr. Appelius.)

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn 83
06
UHP
9080-1
23/6802

OSZK
ELOSZTÓ
FOLÓSPÉLDÁNY

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Inhalt.

Geometrische Vorbegriffe (S. 7), von den Maßen (15).
Einleitung: Körper, Weltäther, Stoff. Ueberirdische Körper: Sonnen, Planeten, Monde, Meteore, Sternschnuppen. Irdische Körper: unorganisirte, organisirte (Pflanzen, Thiere); Mineralogie, Botanik, Zoologie, Anatomie, Physiologie, Chemie (22); Umwandlung der Stoffe und der Zustände, Physik (24); Beobachtungen, Versuche; Kräfte, Gesetze; Hypothesen. Wichtigkeit der Physik.

Erste Abtheilung.

Von den Körpern, Zuständen der Körper und den Kräften im Allgemeinen.

Erster Abschnitt.

Von den Abmessungen der Körper.

Drei Abmessungen (28), Theilbarkeit der Körper und ihre Gränze: Atome, Molekel. Dichtigkeit und Volumen (32). Porosität: Brunnen, Quellen, Tropfstein, Filtriren, Kühlgefäße, das Zehren des Weines, Aquarien (35), Wuhnen u. a.

Zweiter Abschnitt.

Von den Zuständen der Körper.

Ruhe und Bewegung (36): relative Ruhe, relativer Ort. Täuschungen: Panorama. Gränze der Wahrnehmung. Bewegungsarten: fortschreitende, grad- und krummlinige, zirkulirende, schwingende, rotirende (Axe). Umwandlung der Bewegungsarten (40), Beispiele. Richtung der Bewegung. Zeit und Zeitmaß (42): Sanduhr, Wasseruhr. Geschwindigkeit und Arten derselben: gleichmäßige, ungleichmäßige, beschleunigte, verzögerte, mittlere; Beispiele.

Dritter Abschnitt.

Von den Kräften im Allgemeinen.

Begriff der Kraft (45). Bewegungsgröße, abhängig von Masse und Geschwindigkeit. Dauer und Stärke der Einwirkung einer Kraft: momentan, kon-

tinuirlich; gleichmäßig, veränderlich; Richtung der Kraft. Maß der Kräfte (48): Kraftmesser, Fußpfund, Millegrammometer, Kilogrammometer, Pferdekraft, Menschenkraft. Lebendige Kraft (51), Arbeitskraft: Erhaltung der lebendigen Kraft (53), Beispiele. Wirkung auf die Entfernung (57), Transmission. Gesetz der Abnahme der Wirkung. Zusammensetzung der Kräfte (59), resultirende, das Parallelogramm der Kräfte. Zerlegung der Kräfte (64), Beispiele.

Zweite Abtheilung.

Von den physikalischen Kräften insbesondere.

Erster Abschnitt.

Das Beharrungsvermögen.

Ruhe und Bewegung (68), Beispiele. Elastizität (73), expansive, attraktive, Torsions-Elastizität. Schwingungen. Elastizitätsgränze (76). Benutzung der Elastizität (77). Elastizität des Zuges, der Biegung, der Drehung. Die Undurchdringlichkeit (79.)

Zweiter Abschnitt.

Die Stoffanziehung.

Allgemeine Erscheinungen (80). Die chemische Anziehung, die Kohäsion, Adhäsion, Gravitation. Die drei Aggregatzustände (82): feste, tropfbare, luftige Körper. Drei Stufen der Stoffanziehung:

Erste Stufe: die Atomanziehung (84): einfache Verwandtschaft, Wahlverwandtschaft, doppelte Verwandtschaft. Legirungen, Amalgane, Kompositionen. Selbstentzündungen (87), Pyrophore, künstliche Mineralwasser. Verbindung von Flüssigkeiten (89), Endosmose, Exosmose, Verbindungen von Luftarten, Diffusion.

Zweite Stufe: die Molekularanziehung (93): a) die Körpergestaltung tropfbarer Körper zu Kugeln, die Krystallisation (Sublination, Blätterdurchgang, Raumerweiterung). b) die Kohäsion (97): 1) die tropfbaren Körper, 2) die festen Körper, harte, spröde Körper. Vier Prüfungsarten der Festigkeit: 1) die absolute Festigkeit (100), Beispiele, Tabelle (103); 2) die relative Festigkeit (105), Beispiele, Tabelle (108); 3) die rückwirkende Festigkeit, Tabelle (110); 4) Torsionsfestigkeit. c) die Auflösungen (112); d) die Kapillarerscheinungen: 1) Kapillaratraktion: 1) Benetzen, Zerfließen, Durchdringen; Beispiele (114): die Wasserseilmaschine, das Krumpfen, Wassergallen, Krümmen von Hölzern. Große Kraft. 2) Kapillardepression: Nichtbenetzen (118), Isolirschicht. e) Hygroskopische Erscheinungen (120), Wetterpropheten, Bausteine, Desinfiziren. f) Flächenanziehung [Adhäsion]: fester Körper gegen feste [Plattiren u. s. w.], gegen flüssige [Leimen u. s. w.], gegen luftige [Hauchfiguren], tropfbarer gegen tropfbare und luftige, luftiger gegen luftige.

Dritte Stufe: die Körperanziehung, Gravitation (126). Loth, Zenith. Der Mittelpunkt der Erde als Schwerpunkt, Folgerungen daraus (129). Das Gravitationsgesetz. Ebbe und Fluth (131), Hafenzeit, Springfluth, Nippfluth. Massen der Himmelskörper (134). Der Schwerpunkt irdischer Körper.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dritte Abtheilung.

Vom Gleichgewichte irdischer Körper.

Erster Abschnitt.

Das Gleichgewicht eines festen Körpers.

Arten des Gleichgewichtes (137): das indifferente, stabile, labile; Setzwage; Gewicht. Das Balanciren (139). Das Streben nach stabilem Gleichgewichte: Taumelbecher, falsche Würfel, Stocklaternen, Schiffskompasse, Rolllampe des Kardanus; Gleichgewicht auf der schiefen Ebene, Wasserschraube des Archimedes. Die Stabilität (144), Sicherung derselben. Das Umkanten (146). Vom Gewichte [der Masse]; abwägen, Maßeinheiten. Gewichtsverminderung durch eine Seitenkraft (149). Gleichgewicht dreier Kräfte an einer starren Linie: Gesetz des Gleichgewichts (151). Statische Momente (152). Die Gleichwage: Balken, Zunge, Gabel, Schaalen; horizontale Lage, Ausschlag, Richtigkeit der Wage (155), Empfindlichkeit (157). Die Schnellwage (159). Die Brückenwage (161). Die Zeigerwage (163). Die Federwage.

Zweiter Abschnitt.

Gleichgewicht tropfbarer Körper.

Das Niveau (166), die Elementarwelt, das Passevin, die Dosenlibelle, die Zylinderlibelle. Gleichgewicht im Innern: allseitiger Druck und Gegendruck (169); Fortpflanzung des Druckes (170), Beispiele. Der lothrechte Druck nach unten (171), das hydrostatische Gesetz, das hydrostatische Paradoxon. Die Realsche Presse (174). Der lothrechte Druck nach oben, Erscheinungen. Der Seitendruck, Gesetz. Kommunizirende Gefäße (177), Gesetz; Beispiele. Das Nivelliren, die Kanalwage, Gefälle, Steigung. Berieselung (181); Drainirung. Wasserleitungen. Artesische Brunnen (183). Der hydrodynamische Springbrunnen (187). Das hydrodynamische Gesetz (189). Der anatomische Heber. Die hydrodynamische Wage. Das hydrodynamische Gebläse (191). Die hydrodynamische oder hydraulische Presse (192).

Dritter Abschnitt.

Gleichgewicht luftiger Körper.

Bedingungen des Gleichgewichtes (196). Gleichgewicht in einem geschlossenen Raume (198): Luftklingelzug, der kartesianische Taucher. Gleichgewicht der Atmosphäre (200). Die Diffusion der Atmosphäre: Bestandtheile. Druck der freien Atmosphäre (203). Beispiele: pneumatische Wanne, Schröpfköpfe, Leichtigkeit der Beine und Arme u. s. w. Messung des Atmosphärendruckes, der torizellische Versuch, die torizellische Leere. Größe des Atmosphärendruckes (209). Das Barometer: Gefäßbarometer, Heberbarometer, Aneroidbarometer. Barometerbeobachtungen, Beurtheilung zu Witterungsverhältnissen: regelmäßige und unregelmäßige Schwankungen. Barometrische Höhenmessungen und mariottesches Gesetz.

Von den Ventilen und Hähnen (223): Blasenventil, Klappenventile Scheibenventile [Expansivschieber]; die unrunde Scheibe; Kegel- und Kugelventile als Druck- oder Hebelventile; der Guerickesche Hahn (226), der Kopfhahn, der Ventil- oder Klapphahn, der senguerdsche Hahn, der Zweiweghahn (229), der Dreiweghahn, der Vierweghahn und sein Spiel.

Luftpumpen (231): 1) die Verdichtungspumpe und ihre Anwendung: Windbüchse, Zylindergebläse. 2) Die Verdünnungspumpe, Barometerprobe. Versuche mit der Luftpumpe (240): der Rezipient wird an den Teller gedrückt, Glastafeln u. dergl. zersprengt, die magdeburger Halbkugeln, Briefpost, atmosphärische Eisenbahn (241), Ausdehnung der Luft, Entleerung von Vögeleiern, Flüssigkeiten in Gefäße mit ganz enger Oeffnung zu bringen, Luft im Wasser vorhanden, Porosität des Holzes, Luft in den Poren, Hölzer zu färben und imprägniren (243). Gewicht der Luftarten, Konservationsmethode für Fleisch u. dergl. Sauerstoff zum Brennen, Leben und zur Schallverbreitung nothwendig. — Das Athmen (244), [Trinken, Tabakrauchen] und der Stoffwechsel dabei. Blasebälge (247): der einfache, der doppelte, das Trommelgebläse, der japanesische Blasebalg. Das Löthrohr (250). Gleichgewicht absorbirter Gase (251), künstliche Mineralwässer.

Vierter Abschnitt.

Gleichgewicht fester Körper in flüssigen, Gleichgewicht fester Körper in luftigen Körpern.

Gewichtsverlust eines jeden Körpers in der Luft (253), das Wage-Manometer. Das Schweben, Fallen und Steigen in der Luft (254). Aerostaten (Luftbälle): Montgolfieren (255), Sharlieren (256). Steigkraft (258).

Gleichgewicht fester Körper in tropfbaren Körpern.

Indifferentes, stabiles, labiles Gleichgewicht (259). Sinken, Steigen; den Gewichtsverlust untergetauchter Körper (Geschützrohr) zu bestimmen; die hydrostatische Wage (261). Gewicht des Wassers, anderer Körper, Raumbestimmung von Hohlräumen.

Das passive Schwimmen (263), stabile Lage dabei. Der Schwimmer bei Dampfmaschinen, die selbstthätige Speisevorrichtung (265). Das schwimmende Licht, Wasservögel, Fische. Das Metazentrum (266), Einfluß der Lage des Schwerpunktes eines Schiffes. Das absolute und relative Tragvermögen (268), das Aichen eines Schiffes. Eisblöcke der Polarmeere, Wanderblöcke (269) und Moränenblöcke. — Bestimmung von Volumen und Gewicht. Rettungsboote, Kameele; Mittel, um Körper schwimmen zu machen. Der Wasserregulator (270) oder Schwimmer von Prony.

Vom spezifischen Gewichte. Dichtigkeit des Wassers. Bestimmung für feste Körper (273) durch ein Fläschchen mit Wasser, durch Nicholsons Senkwage (374); für tropfbare Körper mit dem Tausendgranfläschchen, mit der Senkwage von Tralles; wenn die Körper im Wasser sich auflösen (277). Skalenaräometer, Beaumés Volumeter (279). Alkoholometer (280) für Volumenprozente. Bestimmung des spezifischen Gewichtes für luftige Körper (284): die Gase, die Dämpfe (285). Tabelle über spezifische Gewichte (286). Nutzanwendungen.

Fünfter Abschnitt.

Benutzung des Atmosphärendruckes.

Der Stechheber (289); die Pipette, die Voll- und Theilpipette; die Handspritze (291), der Zaubertrichter, Schiebelampe mit Niveauhalter (292), Moderateurlampe (294), Mariottes Gefäß (296), der sich unterbrechende Brunnen (297), der Schenkelheber (298), Giftheber 300), Ventilheber (301). Doppelheber. Anwendung des Schenkelhebers: der zirknitzer See, der Kanalheber (302), inter-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mittirende Brunnen [Hungerbrunnen], Verirbecher (303), die fraterna caritas (304), Heberspringbrunnen, der unterbrochene Heber (305), Heber im luftverdünnten Raume, Einfluß der Dichtigkeit der Luft. Die Saughebepumpe (306), die doppeltwirkende kalifornische (309). Saugdruckpumpe (310).

Sechster Abschnitt.

Druck abgesperrter Gase und Dämpfe.

Manometer (313), Sicherheitsröhren. Gefäßmanometer (314). Röhrenmanometer (315). Metallmanometer (316). Das Gasometer, Aspirator (317). Leuchtgasgasometer (318), sein Regulator (320). Gasuhren (321). Heronsball und Spritzflasche (323). Feuerspritze mit Windkessel (324). Springbrunnen mit Windkessel. Die Geiser (325). Der Heronsbrunnen (326). Die Wassersäulenmaschine (327). Der Stoßheber oder hydraulische Stößer (330).

Vierte Abtheilung.

Verschiedenartige Massenbewegungen.

Das freie Fallen (333), Gesetze, Beobachtungen an der Fallmaschine (338), auf der schiefen Ebene (340). Das Werfen (342) nach verschiedenen Richtungen. Die Axendrehung (346). Fliehkraft, Tangential- oder Schwungkraft. Beobachtungen (349): Zentrifugalfahrbahn, Kurven auf Eisenbahnen, Mehlmühlen, Wasserseilmaschine, Wassersaug-Schwung- oder Zentrifugalwassermaschine (350). Das Wurfen des Getreides (351), getrenntes Queckfilber in Thermometern (352), Zentrifugaltrocknenmaschine, Kartoffelschälmaschine, der Regulator, das Zentrifugal- oder komische Pendel (353). Wirkung der Schwungräder (354), todte Punkte bei Maschinen [Spinnrad, Lokomotive] (355]. Abplattung durch die Schwungkraft. Stellung eines rotirenden Ringes. Weltensysteme mit freier Zentralbewegung (359): Fixsterne, Planeten mit nothwendiger Doppeltbewegung (361). Die Erde abgeplattet, hohl, mit einer schiefen Axe. Bestätigung der Axendrehung durch das Fallen in tiefen Schaften (363). Passatwinde. Abweichung geschossener Kugeln vom Ziele (364), Wirkung der Schwungkraft auf Eisenbahnen, Abnahme mit Zunahme der geographischen Breite (365). Versuch. Feste und freie Axe der Erde, Versuche. Rotationskraft der Erde (371). Grund für die Neigung der Erdaxe (372). Das Vorrücken der Nachtgleichenpunkte (374). Der Mond (375), warum er uns stets dieselbe Seite zuwendet. Der Saturn (377), seine Ringe. Die Asteroiden und Meteore (378). Die Kometen (379). Die freie Zentralbewegung (380); die Planetenbahnen: Keplers Gesetze, ihre Bestätigung durch die Zentrifugalmaschine (382). Weltensysteme höherer Ordnungen (384). Die Sonne steht im Weltenraume nicht still. Nebelfleckensysteme. Die Pendelbewegung (385); das mathematische, das physische Pendel, der Schwingungspunkt (388). Kompensationspendel, Rostpendel. Der Taktmesser oder Metronom (391). Anwendungen des Pendels zum Messen der Zeit, zur Bestimmung der Masse, Anziehungskraft und Gestalt der Erde, zur Erkennung ihrer Axendrehung (393). Das Gehen (394).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fünfte Abtheilung.

Von den Widerständen der Bewegung.

Erster Abschnitt.

Vom Stoße.

Druck und Stoß (396). I. Stoß fester Körper: zentral und exzentrisch, grade und schief. Grader zentraler Stoß unelastischer Körper, Gesetze (399), Perkussionskraft: Beispiele dazu [Schlagen, Schießen]. Die Rammen (402), Kraft und Wirkung. Grader zentraler Stoß elastischer Körper, Gesetze (403). Die Perkussionsmaschine (407). Praktische Fälle: Steinpflaster, das Sprengen von Steinen (410). Der schiefe zentrale Stoß (311), Gesetz. Die Rikochett- oder Rollschüsse. Der exzentrische Stoß (413). Das ballistische Pendel (414). II. Stoß fester Körper gegen tropfbare und umgekehrt (415), Widerstand abhängig von der Dichtigkeit des flüssigen, der Masse, Größe und Gestalt des festen Körpers und von der Stoßrichtung gegen die getroffene Fläche (417). Der Wasserhammer (418), Knallgas- und Dampfblasen. Das Schlämmen (419), Klärmittel (420). Widerstand des Weltäthers. Das Reinigen des Getreides. Handruder. Gestalt der Schiffe, Fische, Vögel, Spitzkugeln (423); der Pendelkörper. Hagelkörner, Regentropfen, Meteorsteine. Wasserfälle. Bleischrot. Fallschirme. Windfänge. Das aktive Schwimmen (425), das Wassertreten, auf dem Rücken zu schwimmen. Die Bewegungen beim Schwimmen (426). Schraube an den Schiffen (428). III. Stoß tropfbarer gegen feste Körper (429). Wasserräder (430): unterschlächtige Schaufelräder (431), oberschlächtige Kastenräder (432). Mittelschlächtige Räder (433). Das segnersche Rad (434), die Turbine (435). Reaktionserscheinungen bei Wasserkünsten. Steuerruder an Schiffen (436). Rollsteine. IV. Stoß luftiger Körper gegen feste (437), Windmühlen, Segel eines Schiffes, Windbüchsen (438). Rückschlag. Bolzenbüchsen (440), Blaserohre, Knallbüchse (441). Windfahnen. Windmesser (443), Tabelle (445). V. Stoß fester Körper auf luftige (446), das aktive Fliegen, Versuche für den Flug der Menschen (448). Stoß der Luft gegen das Niveau von Gewässern (449).

Zweiter Abschnitt.

Von der Reibung.

Gleitende Reibung (451). Zapfenreibung, wälzende Reibung. Reibungskoeffizient (452). Tribometer oder Reibungsmesser mit horizontaler und mit geneigter Ebene. Messung der Zapfenreibung (453), bei Maschinen. Friktionsrollen (455). Steifigkeit der Taue (456). Arbeit der Kraft, Nutzeffekt (457). Bremskraftmesser für Kraftmaschinen (457). Wälzende Reibung (457), bei einem Wagenrade (460). Schmiermittel (461). Erfahrungen für das Maß der Reibung (462), für die Größe des Reibungskoeffizienten (463), während der Ruhe, der schleifenden und wälzenden Bewegung (464), auf verschiedenen Wegen und Bahnen (465). Tabelle (466). Vortheile und Nachtheile der Reibung (467). Die Transmission (468), das Bremsen. Reibung flüssiger Körper gegen feste (469). Wasser in einem offenen Bette (470), Abflußmenge. Wasser durch Röhren- und Wasserleitungen überhaupt (471). Druck auf die Röhrenwände (472). Wechselhäuschen (473). Gesetz des Reibungswiderstandes. Ausflußgeschwindigkeit (473). Ausflußmenge. Luftströmungen (474). Schornsteine und russische Röhren. Zusammenziehung des Luftstrahles. Fallen des Barometers bei Stürmen (475).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Reaktion bei ausströmenden Gasen (475). Raketen, kongrevsche Raketen. Die Bahn von Geschossen (476).

Sechste Abtheilung.

Von den Werkzeugen und Maschinen.

Einfache Werkzeuge, Maschinen, Vorrichtungen zur Uebertragung der Kraft (478). Ersparung an Kraft (479). Kraftmaschine, Zwischenmaschine, Arbeitsmaschine (480).

Erster Abschnitt.

Von den Werkzeugen.

Der Hebel (481). Drehpunkt, Angriffspunkte der Kraft, Hebelarme. Zweiarmiger gleich- und ungleicharmiger Hebel, Gesetz des Gleichgewichts (482). Anwendung für zwei Hauptfälle (484). Einarmiger Hebel (485). Winkelhebel. Anwendung der Hebel (486). Hebelregulator, Hebelventil, Hebebaum. Hebelade (487). Hebelade mit gezahnter Stange. Brechstange. Der Balancier bei Dampfmaschinen (488). Spaten, Handruder, Steuerruder. Tragstab. Ziehbrunnen (489). Metall-, Papier-, Zeugscheere. Zange. Schub- und Schiebekarren. Tragbahren (490). Wurfschaufel, Schaaffscheeren. Pressen. Die Gliedmaßen unseres Körpers. Brot- und Tabakschneidemaschinen (492). Die Kniepresse. Wiegemesser. Die Rolle (493), die feste oder Richtrolle, die schwebende (494); Gesetze. Die schiefe Ebene (495): die Kraft wirkt parallel der Ebene; Neigung der Wege (497). Laufbrücken (498). Schrotleitern, trockene Schleusen (498), Rutschbahn auf dem Pilatusberge (499). Die Kraft wirkt parallel der Basis der Ebene, Gesetz. Der Keil (499), Gesetz. Anwendungen. Bogenausschnitte bei Gewölben. Die Schraube (502). Schraubenlinie, Schraubengang, Höhe eines Schraubenganges, flache und scharfe Schraubengänge; Schraubenspindel, Schraubenmutter (504). Gesetze. Beispiele. Differenzialschraube (506). Mikrometerschraube. Schrauben mit mehrfachem Gewinde (507). Verschiedene Anwendungen. Schraube ohne Ende (508), zur Messung sehr kleiner Bewegungen.

Zweiter Abschnitt.

Von den einfachen Maschinen und Transmissionen.

Die zusammengesetzte Rolle (509). Das Rad mit Getriebe (510), gezahntes Rad, Zähne; Getriebe, Triebstöcke. Gesetz. Das Wellrad oder Rad an der Welle (511). Gesetz. Das Kettenrad. Uebertragung der Bewegung, Transmission (512), durch die Schwungmaschine. Das Excentric (513). Friktionsscheiben (515). Gezahnte Räder: Stirnräder, Kammräder, Sperrwerk, Hemmung (516). Kanelirte Wellen, Spillen, Trilling (517). Daumwelle. Konische Wellen und Räder. Gesetz für die Umdrehungsgeschwindigkeit (518). Treträder. Tretscheiben (519). Haspeln und Winden (520): Radhaspel, Kreuzhaspel, Hornhaspel, [Schlepphund]. Gegenwinde (522); Erdwinde, Schiffswinde (523). Kurbel und Krummzapfen: einfache und gekröpfte Kurbel. Todte Punkte (525). Die Rammen: Hand- und Kunstrammen. Schöpfmaschinen (526): die spanische Noria, die persische Schöpfmaschine (527), das Paternosterwerk, das Kastenwerk. Gemeinschaftliches bei den einfachen Maschinen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dritter Abschnitt.

Zusammengesetzte Maschinen.

Allgemeines (528). Hebelsystem (530). Rädersysteme (531). Rollensysteme (533), einfacher Flaschenzug, Potenzflaschenzug (534), Differenzflaschenzug (535). Wagenwinden (536), einfache, zusammengesetzte Fuhrmannswinde (537), die französische Winde (539), die englische Winde. Krahne (540). Uhren (543). Rückblick (551).

Vorwort.

Blicken wir zurück in die Geschichte der Menschheit, so sehen wir leider nur einzelne, meist kurze Kulturepochen aus der Reihe der bereits vergangenen Jahrtausende hervorleuchten und erkennen sofort, daß die Menschheit im Großen und Ganzen durchaus noch nicht den Grad von Bildung und Gesittung erlangt hat, welcher der großen, ihr gestatteten Frist entspräche. Selbst materiell vorgeschrittene Völker Asiens, welche man Kulturvölker nennen kann, sind Jahrtausende auf einem Punkte stehen geblieben.

Gemeine Selbstsucht der Fürsten betrachtete die Völker als Schlachtvieh, die Ränke der Diplomaten spielten mit ihnen als mit Schachfiguren, die mit Schlauheit gepaarte Dummheit der Priester unterdrückte lichtscheu jede Aufklärung und rief immer wieder die alte Barbarei zurück, wie wir sie in den sinnlosen Kreuzzügen, denen selbst Kinder zum Opfer gebracht wurden, und in dem nachtbedeckten Mittelalter mit seinen Inquisitionen, Torturen, Hexenprozessen (durch eine Bulle des Papstes Innozenz VIII. in Deutschland förmlich eingeführt) und schmachvollen Scheiterhaufen sehen.

Daß aber nach den einzelnen, zum Theil glänzenden Kulturepochen, wie z. B. der alten Griechen, die Menschheit wieder in Nacht versank, lag in dem Mangel des rechten Bildungsmittels für's Volk.

Die spekulative Philosophie, wie sie die alten Völker trieben und womit auch die neuere Zeit sich resultatlos in bloßen Phrasen abgequält hat, konnte die Menschheit als solche nicht erheben, weil ihr jede konkrete Basis fehlte.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die neuste Zeit aber hat den rechten Stützpunkt für einen wirksamen Hebel der Bildung und Gesittung aller Völker an einem nie alternden, an einem Allen zugänglichen Stoffe gefunden, der nach ewig unwandelbaren Gesetzen in der unendlichen Mannigfaltigkeit die Einheit uns zeigt: es ist die Naturforschung.

Schon gestatten uns die Maschinen, indem sie die Mühe der Massenbewältigung und die sorgsamste Verarbeitung der Stoffe übernehmen, daß wir die Zeit mehr der geistigen Ausbildung widmen können; schon schnaubet das Dampfroß dahin im Dienste der Völker zum gemeinsamen Streben und vereint die opferwilligen Kräfte aller Nationen zur Hebung der Menschheit; bald wird der belebende Gedanke mit Blitzesschnelle den ganzen Erdball umkreisen und den Brudergruß Geistesverwandter austauschen.

Wir haben in den Naturwissenschaften ein anziehendes Bildungsmittel, was durch kein anderes ersetzt werden kann, was keinem launenhaften Wechsel der Zeit und ihrer Ansichten unterworfen ist, was den einzelnen geistig klärt und die Völker einigt.

Setzen wir also den heute noch gewaltig wuchernden Verdummungsgelüsten einen Damm, indem wir die Naturwissenschaften in's Volk verpflanzen! Wir werden so das geistlose Anschauen in denkende Betrachtung, das dumpf hinbrütende Glauben in wißbegieriges Forschen, die blinde, fäulnißerzeugende Unterwürfigkeit in selbstbewußte geregelte Freiheit verwandeln und das Volk dahin bringen, daß es bei der Betrachtung der unendlichen Mannigfaltigkeit in der Natur die unwandelbare Weltordnung erkenne und so selbst in der Freiheit die Gesetzmäßigkeit lieb gewinnen, daß es bei seinen selbst mechanischen Beschäftigungen nicht geistig stumpf werde, sondern stets denkend arbeite, daß es endlich die Kräfte der Natur nicht nur kenne, sondern auch zweckmäßig benutzen lerne, um so die sonst seinen Muskelkräften zugemuthete Arbeit den Naturkräften zu überlassen zum Vortheile der Ausbildung seiner Geisteskräfte.

Es wird dann die Zeit — wenn auch langsam — sich vorbereiten, in welcher das nach den bisherigen Begriffen gerechtfertigte Morden in

Masse in einer eigens gefertigten, oft wunderlich bunten Kleidung als ein abgelaufenes Privilegium roher und finsterer Vergangenheit wird angesehen werden; es wird die Zeit kommen — wenn auch langsam — in welcher man nur mit den Waffen des Geistes kämpfen und nur den als Sieger ansehen wird, der als vernunftbegabtes Wesen die Macht der Ueberzeugung für sich hat, während rohe Gewalt als strafbarer Hohn auf den Menschenverstand betrachtet werden wird.

Die Darstellung in dem Werke ist hoffentlich hinreichend faßlich. Nur sehr selten sind leichte mathematische Formeln eingestreut, welche aber zu ihrem Verständnisse nur die vier ersten Rechnungsarten verlangen. Wollte der Leser in dieser Beziehung mehr haben, so muß ich ihn auf meinen Grundriß der Physik (3te Aufl. des Oesterr. Lloyd zu Triest) verweisen.

Möge das Wenige, was ich zur Erreichung des hohen, menschenwürdigen Zieles durch meine Schriften beizutragen wünsche, mit Nachsicht aufgenommen, dabei aber bedacht werden, daß es bisweilen seine großen Schwierigkeiten hat, wichtige Gesetze recht faßlich darzustellen. Ich werde jede Weisung zum Besseren mit großem Danke aufnehmen.

Berlin im September 1864.

Ph. Spiller.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Einige geometrische Vorbegriffe.

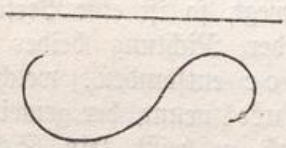
Um in der Darstellung der physikalischen Wahrheiten bei der unvermeidlichen Anwendung mathematischer und namentlich geometrischer Grundbegriffe durch einzuschaltende Erklärungen derselben nicht unterbrochen zu werden, will ich das Wesentlichste davon, wenn auch nur in ganz einfacher und trockener Entwicklung, hier zunächst kurz anführen; bitte aber diejenigen geehrten Leser, welche damit bekannt sind, diese wenigen Seiten zu überschlagen, was anfänglich auch Andere thun, und später das nöthige nachlesen können.

Daran schließt sich noch Einiges über Maße.

Ein Ort im Raume ohne alle Ausdehnung heißt ein Punkt.

Wenn ein Punkt seinen Ort nicht verläßt, so ruht er; verläßt er ihn, so bewegt er sich.

Der von einem bestimmten Punkte zurückgelegte Weg heißt eine Linie.



(Fig. 1.)

Denkt man sich eine Linie um zwei beliebige, in ihr liegende Punkte gedreht und verläßt dabei keiner ihrer Punkte seinen ursprünglichen Ort, so heißt die Linie eine gerade; verläßt aber jeder ihrer Punkte seinen Ort, so ist sie eine krumme (Figur 1.).

Die Gränzen jeder Linie sind Punkte und dazwischen lassen sich in ihr noch Punkte annehmen, wodurch sie getheilt wird.

Zum Zeichnen von geraden Linien dient das Lineal, welches nur dann gut ist, wenn seine Kanten scharf sind und beim Hin- und Herschieben eines zweiten an seiner schmalen Fläche nicht der geringste Spalt bemerkbar ist, wenn man gegen das Licht sieht.

Jede Linie hat nur eine Ausdehnung; die Theile einer geraden zielen nach demselben Punkte hin, oder haben einerlei Richtung; eine krumme Linie hat in jedem ihrer Punkte eine andere Richtung.

Von einem Punkte bis zu einem zweiten ist nur eine gerade Linie möglich, sie ist die kürzeste Linie zwischen diesen Punkten und heißt die Entfernung der beiden Punkte.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

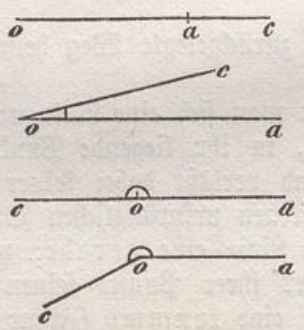
Haben zwei gerade Linien auch nur zwei Punkte gemeinschaftlich, so liegen sie längs einander oder haben dieselbe Richtung; sind es die Endpunkte, so decken sie einander oder sind kongruent.

Bewegt sich eine gerade Linie in ihrer eigenen Richtung, so entsteht der Ansatz einer neuen geraden Linie, welcher mit der ersten geraden Linie eine einzige bildet und ihre Verlängerung heißt.

Bewegt sich eine gerade Linie in einer anderen Richtung, als in ihrer eigenen, so ist der zurückgelegte Weg eine Fläche.

Wenn die geraden Verbindungslinien von je zwei denkbaren Punkten einer Fläche ganz in ihr liegen, so ist die Fläche eine Ebene; wenn nicht, eine krumme Fläche.

Die Gränzen jeder Fläche sind, wie es aus ihrer Entstehungsweise folgt, Linien, und auch innerhalb derselben lassen Linien so wie Punkte sich annehmen. Flächen werden durch Linien getheilt. — Jede Fläche hat eine Ausdehnung nach zwei Richtungen. — Der Weg einer geraden Linie kann eine ebene oder eine krumme Fläche sein. — Drei nicht in einer geraden Linie liegende Punkte liegen stets in einer der Lage nach bestimmten Ebene. Dreibeinige Tische stehen auch auf der unebenen Diele fest. Daher wendet man auch zu vielen Meßinstrumenten dreibeinige Gestelle an.



(Fig. 2.)

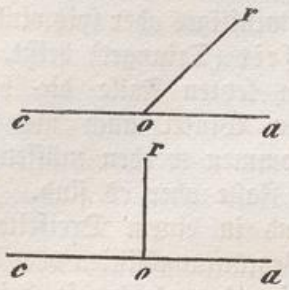
Wenn von einem Punkte o aus (Fig. 2) eine gerade Linie oc längs einer zweiten oa liegt, so haben sie einerlei Richtung; wird nun die eine Linie oc in einer bestimmten Ebene um o bewegt, so ist eine Verschiedenheit in der Richtung beider Linien oa und oc entstanden, welche man einen Winkel nennt, der gemeinschaftliche Punkt o heißt sein Scheitel, die beiden geraden Linien oa und oc von beliebiger Länge sind seine Schenkel.

Ist die Drehung der Linie oc so weit erfolgt, daß sie mit der anderen oa eine gerade Linie (die Verlängerung) bildet, ohne längs ihr zu liegen, so hat der entstandene Winkel eine ganz bestimmte Größe, weil die Theile einer bestimmten geraden Linie dieselbe Richtung haben und er heißt ein gestreckter Winkel.

Bewegt sich oc noch weiter fort, so entsteht ein größerer Winkel als der gestreckte war und er heißt ein erhabener Winkel.

Die Winkel welche kleiner sind, als der erhabene, werden hohle genannt.

Geht vom Scheitel o (Fig. 3) eines gestreckten Winkels coa eine dritte Linie or, so bildet sie mit den Schenkeln des gestreckten Winkels



(Fig. 3.)

Nebenwinkel; sind sie gleich, so heißen sie rechte Winkel und die dritte Linie or ist die winkelrechte oder lothrechte auf ca.

Sind Winkel kleiner als rechte, so heißen sie spitze, sind sie größer, stumpfe; spitze und stumpfe Winkel sind schiefe Winkel.

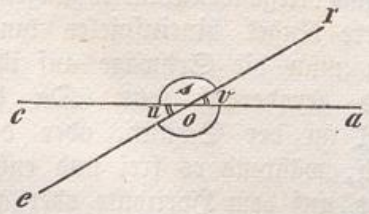
Da zwei gerade Linien eine Ebene noch nicht begränzen, so sind die Winkel keine Ebenen von bestimmter Begränzung.

Da alle gestreckten Winkel nach dem Begriffe der geraden Linie einander gleich sind, so sind es auch deren Hälften, nämlich die rechten.

Nebenwinkel haben stets den Werth von zwei rechten, denn es ist wenn sie ungleich sind, der eine um ebensoviel größer, als ein rechter, um wie viel der andere kleiner ist. — Alle Winkel um einen Punkt in einer Ebene (oder der volle Winkel) haben den Werth von vier rechten.

Zu einer bestimmten geraden Linie ist durch einen bestimmten Punkt, er mag in ihr oder außerhalb ihr liegen, nur eine lothrechte möglich. Die Lothrechte von einem außerhalb einer geraden Linie liegenden Punkte zu dieser Linie ist die Entfernung dieses Punktes von der Linie.

Um Lothrechte zu ziehen hat man einen Winkelhaken, d. i. zwei unter einem rechten Winkel verbundene Lineale. — Man kann, um einen rechten Winkel zu erhalten, auch eine an den Enden zusammengebundene Schnur mit 12 gleichen Theilen nehmen, sie an drei Theilpunkten, die durch ein buntes Band bezeichnet sein können, so anspannen, daß 3, 4 und 5 Theile je eine gerade Linie bilden und dann schließen die beiden ersten Stücke, welche 3 und 4 Theile enthalten, den rechten Winkel ein.



(Fig. 4.)

Wird der gemeinschaftliche Schenkel or (Fig. 4) zweier Nebenwinkel vom Scheitel o an verlängert, oder schneiden zwei gerade Linien einander, so entstehen zwei Paare von Scheitelwinkeln o und s und noch u und v.

Scheitelwinkel sind einander gleich, weil ihnen derselbe dritte Winkel zu zwei rechten fehlt.

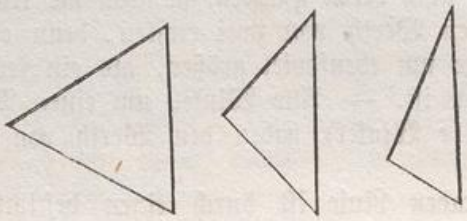
Verbindet man beliebige Punkte der Schenkel eines rechten, stumpfen oder spitzen Winkels (Fig. 5.) durch eine gerade Linie, so erhält man eine

dreiseitige begränzte Ebene, welche beziehungsweise ein rechtwinkliges, stumpfwinkliges oder spitzwinkliges Dreiseit (Triangel) heißt, wobei im letzten Falle die beiden anderen Winkel auch als spitze angenommen werden müssen, im ersten Falle aber es sind.



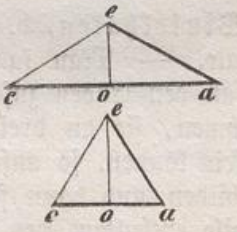
(Fig. 5.)

Sind in einem Dreiseite alle drei Begränzungslinien oder Seiten einander gleich, so heißt es gleichseitig (Fig. 6); sind deren zwei gleich, so ist es gleichschenklig, wobei die dritte die Grundlinie oder Basis genannt wird; ist keine der anderen gleich, so ist es ungleichseitig.



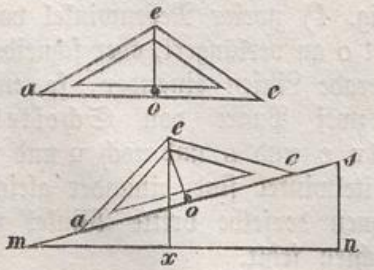
(Fig. 6.)

Wird bei einem gleichschenkligen Dreiseit die Basis oder bei einem gleichseitigen irgend eine Seite ac (Fig. 7) halbirt und der Halbirungspunkt o mit dem Scheitel des dritten Winkels e verbunden, so steht die Verbindungslinie eo auf der dritten Seite ac lothrecht.



(Fig. 7.)

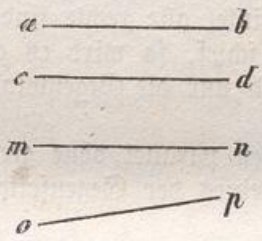
Die Setzwage aec (Fig. 8) besteht aus drei geradlinigen Leisten, welche ein gleichschenkliges Dreiseit bilden, die Basis ac ist durch einen Strich halbirt und hat daselbst eine kugelförmige Vertiefung oder Oeffnung, damit die am Scheitel e des ihr gegenüber liegenden Winkels hängende kleinere Kugel hineinspielen kann, wenn man die Setzwage auf ihre Basis geraderauf setzt. Da die Kugel an der Schnur, oder das Loth, während es frei und ruhig hängt, auf dem Horizonte oder auf der Ebene eines ruhenden Wasserspiegels lothrecht steht; so wird dieses Loth nur dann in den Halbirungspunkt der Basis eintreffen, wenn diese selbst horizontal liegt.



(Fig. 8.)

Die Setzwage dient dazu, um Linien und Ebenen in eine horizontale Lage zu bringen und auch zu ermitteln, wie weit sie von der horizontalen Lage abweichen oder welches das Gefälle von einem Punkte s zu einem zweiten m auf eine bestimmte horizontale Strecke mn ist. — Setzt man die Wage eac mit ihrer Basis ac auf die schiefe Linie ms, so wird das Loth ex nicht in die auf der Basis ac vom Scheitel e ausgehende lothrechte eintreffen, sondern stets nach dem tiefer liegenden Punkte m hin sich richten. Der Winkel aber, welchen das Loth ex mit der auf der Basis lothrechten Linie oe bildet, ist stets gleich dem Winkel m, welchen die geneigte Linie ms mit der horizontalen mn bildet. Hat man also die Basis der Setzwage angemessen eingetheilt, so kann man das Gefälle sn auf eine gewisse Strecke mn beurtheilen.

Gehen in einer bestimmten Ebene von zwei Punkten a und c aus (Fig. 9) zwei gerade Linien ab und cd so, daß sie einander nirgends treffen, so weit man sie auch nach beiden Seiten verlängert annimmt, so heißen sie gleichlaufend oder parallel; wenn sie aber bei der Verlängerung einander näher kommen, zusammenlaufend oder konvergent, wenn sie auseinander gehen, divergent, wie mn und op.

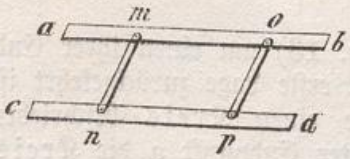


(Fig. 9.)

Konvergente Linien sind zugleich divergente.

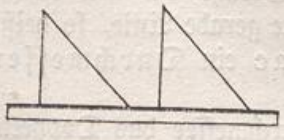
Ist jede von zwei Linien einer dritten parallel, so sind sie einander selbst parallel.

Parallellinien lassen sich durch das Parallellineal zeichnen, wozu man zwei Lineale (Fig. 10) ab und cd nimmt und sie durch zwei gleich lange Querstäbe mn und op verbindet, die an zwei Paaren gleich weit entfernter Punkte der beiden Lineale drehbar befestigt sind. Die beiden Lineale lassen sich zusammenschieben und von einander entfernen. Hält man das eine an einer geraden Linie fest, so werden alle an dem anderen in jeder seiner Lage gezeichneten Linien unter einander und mit jener ersten parallel sein.



(Fig. 10.)

Man kann zum Zeichnen von Parallellinien auch ein Lineal und ein Dreieck anwenden (Fig. 11), indem man ersteres festhält und letzteres mit einer seiner Seiten an jenem hinschiebt, wobei jede der beiden anderen Seiten sich selbst parallel bleibt.

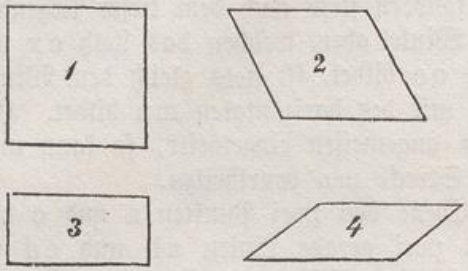

(Fig. 11.)

Die Ebene zwischen zwei Paaren von Parallellinien heiß ein Parallelogramm.

Aus zwei bestimmten geraden Linien und

dem von ihnen gebildeten Winkel läßt sich nur ein Parallelogramm zeichnen, wobei vier Fälle denkbar sind (Fig. 12):

1) sind die beiden Linien gleich und der Winkel ein rechter, so ist es ein Quadrat, bei welchem alle 4 Seiten gleich und alle 4 Winkel rechte sind;



(Fig. 12.)

2) sind die beiden Linien gleich und der Winkel ein schiefer, so wird es ein Rhombus, bei welchem alle Seiten gleich und die Winkel schiefe sind;

3) sind die beiden Linien ungleich und der Winkel ein rechter, so wird es ein Oblongum, bei welchem nur die Gegenseiten gleich, aber die Winkel alle rechte sind;

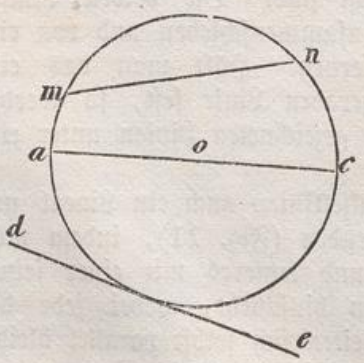
4) sind die Linien ungleich und der Winkel schief, so wird es ein Rhomboid, bei welchem nur die Gegenseiten und nur die Gegenwinkel einander gleich sind.

Sind in einem Vierseite nur zwei Gegenseiten parallel ohne gleich zu sein, so ist es ein Paralleltrapez; wenn keines der Gegenseitenpaare parallel ist, so ist es ein Trapezoid.

Die gerade Verbindungslinie der Scheitel zweier Gegenwinkel einer vier- oder mehrseitigen Figur heißt Diagonale.

Jede Diagonale eines Parallelogramms theilt es in zwei nach allen Stücken gleiche Dreiseite, so daß aus einem der Dreiseite das Parallelogramm ergänzt werden kann.

Bewegt sich eine gerade Linie oa (Fig. 13) um einen ihrer Endpunkte o in derselben Ebene bis sie in ihre erste Lage zurückgekehrt ist, so hat sie einen Kreis beschrieben, ihr bewegter Endpunkt a die Kreislinie (Peripherie) als Gränze des Kreises, der unbewegte Punkt o ist der Mittelpunkt und die Linie selbst heißt Strahl (Radius).



(Fig. 13.)

Alle Strahlen desselben Kreises sind einander gleich.

Bildet ein Strahl oa mit einem anderen oc eine gerade Linie, so heißt die ganze Linie ac ein Durchmesser des Kreises.

Da jeder Durchmesser das Doppelte

eines Strahles ist, so sind alle Durchmesser desselben Kreises einander gleich.

Jeder Durchmesser halbirt den Kreis und die Kreislinie.

Hat eine gerade Linie mn ihre Endpunkte in der Kreislinie, ohne daß der Mittelpunkt in ihr liegt, so heißt sie Sehne; trifft sie aber nur die Kreislinie wie die de, indem sie selbst ganz außerhalb des Kreises liegt, so heißt sie Tangente.

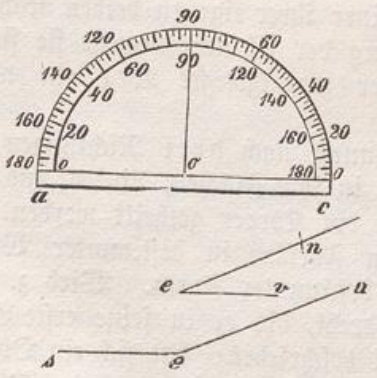
Jede Tangente hat mit der Kreislinie und dem Kreise nur einen Punkt gemeinschaftlich, welcher Berührungspunkt heißt.

Die durch den Endpunkt eines Radius lothrecht gezogene gerade Linie ist Tangente.

Schneiden zwei Durchmesser eines Kreises einander winkelrecht, so theilen sie den Kreis und die Kreislinie in vier einander gleiche Theile, welche Quadranten heißen.

Man nimmt jeden der vier rechten Winkel am Mittelpunkte in 90 gleiche Theile getheilt an, verlängert die theilenden Linien bis an die Kreislinie und erhält dadurch am Mittelpunkte 4 mal 90 oder 360 Winkelgrade und aus der Kreislinie 360 gleiche Bogengrade. Die weitere Unterabtheilung geschieht durch die Zahl 60 in Minuten und Sekunden sowohl für die Winkel, als auch für die Bogen. Die üblichen Zeichen für die Grade, Minuten und Sekunden sind: 0, ', ".

Die Anzahl der Grade, Minuten und Sekunden eines Bogens ist auch die des zu dem Bogen gehörigen Winkels am Mittelpunkte und umgekehrt, also kann in dieser Beziehung das eine dem andern zum Maße dienen.



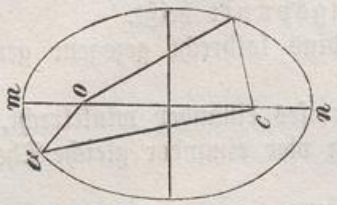
(Fig. 14.)

Darauf gründet sich die Einrichtung und Benutzung des Uebertragers oder Transporteurs (Fig. 14), welcher dazu dient, theils um die Größe von Winkeln nach Graden 2c. anzugeben, theils um Winkel an Punkte von Linien überzutragen.

Will man die Größe der Winkel ner oder seu angeben, so legt man den Transporteur mit dem Halbirungspunkte o seines Durchmessers ac in den Scheitel e des Winkels und den Durchmesser ac längs des einen Schenkels eu in dem einen, und es in dem andern Falle; und dann wird die Zahl, an welcher der andere Schenkel

(en oder eu) die Peripherie trifft, die Größe des Winkels angeben. Die doppelte Benennung der Theilungspunkte erscheint nach der Lage der Schenkel des Winkels als zweckmäßig.

Befestigt man auf einer Ebene in zwei Punkten o und c (Fig. 15) die Enden eines Fadens, welcher länger ist, als die Entfernung der beiden Punkte, spannt man mit einem Schreibestifte den Faden zu der Lage oac und zeichnet man auf der Ebene bei fortwährender Spannung der Fadentheile die krumme Linie; so ist dies eine Ellipse; die festen Punkte o und c sind ihre Brennpunkte, die grade Linie mn durch sie bis an die krumme ist die große Axe, die Lothrechte durch ihre Mitte die kleine Axe.



(Fig. 15.)

Trifft eine außerhalb einer Ebene liegende gerade Linie die Ebene, so kann sie gegen diese überall hin dieselbe Lage haben, was der Fall ist, wenn sie mit allen Linien in der Ebene, die durch den Treffungspunkt gehen, rechte Winkel bildet und dann sagt man: die Linie steht auf der Ebene winkelrecht oder lothrecht. Das Loth steht auf einem ruhenden Wasserspiegel lothrecht.

Von einem Punkte gibt es zu einer bestimmten Ebene nur eine Lothrechte und sie heißt die Entfernung des äußeren Punktes von der Ebene.

Haben zwei Ebenen die Lage gegen einander, daß sie bei ihrer beliebigen Erweiterung einander nie treffen, so heißen sie parallel.

Parallele Ebenen haben überall dieselbe Entfernung von einander.

Denkt man sich eine Ebene in einer ihrer eigenen beiden Richtungen bewegt, so entsteht eine Erweiterung der Ebene; bewegt sie sich aber in einer neuen Richtung, so ist der zurückgelegte Weg ein mathematischer Körper.

Jeder Körper hat eine Ausdehnung nach drei Richtungen, seine Gränzen sind Flächen und man kann in ihm Flächen, Linien und Punkte annehmen. Nur durch Flächen kann ein Körper getheilt werden.

Werden Ebenen von bestimmten Formen in bestimmter Weise bewegt, so entstehen Körper auch von bestimmter Form. Wird z. B. ein Halbkreis um seinen Durchmesser gedreht, bis er in seine erste Lage zurückgekehrt ist, so hat er eine Kugel beschrieben; hat sich ein Oblongum um eine seiner Seiten als Axe gedreht, so ist ein grader Zylinder entstanden; dreht man ein rechtwinkliges Dreiseit um einen Schenkel (Kathete) des rechten Winkels, so entsteht ein grader Kegel, von welchem der andere Schenkel, die Axe, auch die Höhe ist. — Ein Quadrat kann einen Würfel bilden, welches ein Körper ist, der von sechs vollkommen übereinstimmenden Quadraten begränzt ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wird ein Kreis um einen Durchmesser gedreht, bis jede Hälfte in die Lage der andern gekommen ist, so ist auch eine Kugel entstanden und daher ist jede, eine Kugel durch den Mittelpunkt theilende Ebene ein Kreis. — Mittelpunkt, Strahl und Durchmesser des Kreises sind es auch für die Kugel. Alle übrigen die Kugel theilenden Kreise sind kleiner, als ein solcher.

Bei der Erde sind der Aequator, die Ekliptik und alle Meridiane größte Kreise. Alle Punkte des Aequators sind von jedem Pole um 90 Grade oder einen Quadranten entfernt. Jeder Meridian steht wie die in ihm befindliche Erdaxe auf dem Aequator lothrecht. Tritt der Mittelpunkt der Sonne in dem Meridian des betreffenden Ortes auf die Erdoberfläche, so hat dieser Ort Mittag.

Denkt man sich durch den Mittelpunkt der Erde auf dem nach unserem jedesmaligen Standpunkte gezogenen Strahle den lothrechten Kreis gelegt und denselben bis an die scheinbare Himmelskugel erweitert, so ist dies der wahre Horizont, welcher die Himmelskugel halbirt.

Steht man erhaben auf einem freien Standpunkte, z. B. auf einem Berge über einer Ebene oder auf einem Schiffe im freien Meere, so sieht man rings um sich die Gränzen eines Kreises, welcher von dem Erdkörper einen um so dickeren Streifen abschneidet, je höher man steht. Dieser Kreis ist der scheinbare Horizont, welcher mit dem wahren parallel geht. — Der Spiegel einer ruhenden Flüssigkeit heißt der künstliche Horizont. Diese drei Horizonte sind mit einander parallel.

Wenn die Strahlen von Kugeln wachsen wie die Zahlen 1, 2, 3, 4 u. s. w., so wachsen die Oberflächen der dazu gehörigen Kugeln wie 1, 4, 9, 16 u. s. w., d. h. wie die Quadratzahlen der Strahlen. — Unter dem Quadrate einer Zahl versteht man das durch einmalige Multiplikation mit sich selbst erhaltene Produkt; das Quadrat von 5 ist also 25 und 5 heißt die Quadratwurzel zu 25. Die Würfelzahlen oder Kubikzahlen sind Produkte aus drei gleichen Zahlen.

Von den Maßen.

Um eine genaue Vorstellung von der Größe der Längen-, Flächen- und Körperausdehnungen zu erhalten, muß man ihnen gleichartige und der Größe nach ganz bestimmte Maßeinheiten annehmen. Man nimmt sie von unserem Erdkörper, damit sie uns niemals verloren gehen.

Man denkt sich nämlich jeden Grad des Aequators in 15 gleiche Theile getheilt, die man Meilen nennt, jede Meile in 2000 gleiche Theile, welche Ruthen (°) heißen, macht von ihnen 10 oder 12 theilige Unterabtheilungen (für Geometer und für Handwerker) mit den Namen Fuße (′), Zolle (″), Linien oder Striche (‴) und Skrupel (⁗) und bekommt so die Dezimal- oder Duodezimalmaße.

Eine geographische Meile enthält demnach 20,000 geometrische und 24,000 Werkfuße. Auf den Landstraßen sind die Meilen in Hundertel getheilt, so daß ein Nummerstein von dem nächsten immer eine Entfernung von 20 Ruthen oder 200 Fuß der geometrischen oder Dezimal-Eintheilung enthält.

In Frankreich hat man den 10millionsten Theil des Quadranten eines Erdmeridians als Längeneinheit genommen und nannte ihn Meter. Für die weitere Eintheilung hat man aber nur die sehr zweckmäßige Dezimaleintheilung gewählt, so daß ein Meter 10 Dezimeter, 100 Zentimeter, 1000 Millimeter enthält.

1 Meter ist = 3,168 rhl. Fuß; 1 Dezimeter = 3,823 rhl. Zoll; 1 Zentimeter = 4,588 rhl. Linien; 1 Millimeter = 0,4588 rhl. Linien; 1 preußischer Fuß ist gleich 0,313853 Meter.

Um eine Vorstellung von der Größe der Flächen zu erhalten, nimmt man das seiner Form und Größe nach so leicht erkennbare Quadrat als Maßeinheit an und hat somit Quadratmeilen, Quadratruthen, Quadratmeter u. s. w. je nach der Größe der Seiten für die Quadrate.

Eine Quadratmeile enthält 2000 . 2000 oder 4 Millionen Quadratruthen; eine Ruthe 10 . 10 = 100 oder 12 . 12 = 144 Quadratfuße, jenachdem man geometrisches oder Werkmaß hat. Darnach erklärt sich auch die oben gegebene Benennung Quadratzahl.

Für die Körperausdehnungen nimmt man den Würfel als Maß an, weil seine ganze Größe und Gestalt sich schon aus einer seiner Kanten ergibt und man hat somit Kubikmeilen, Kubikzolle, Kubikmeter u. s. w., je nach den Kanten der Würfel.

Eine Kubikruthe enthält 10 . 10 . 10 = 1000 Kubikfuße des geometrischen oder 12 . 12 . 12 = 1728 Kubikfuße des Werkmaßes.

Ueber andere Maße folgt das Nöthige in den betreffenden Abschnitten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Einleitung.

Wenn in dem unendlichen Weltraume ein noch so kleiner Raumtheil einen Stoff oder etwas Materielles enthält, so nennen wir diesen begränzten Stoff einen physischen Körper oder blos einen Körper.

Der Weltraum enthält zwar überall einen Stoff, den Weltäther, mit welchem namentlich die so zarten Kometenkörper bei ihrer Bewegung zu kämpfen haben; aber dieser ist, weil er unbegränzt ist, kein Körper und deshalb haben wir auch keine Empfindung von ihm, wie etwa der Fisch und der Vogel den Mangel ihres Lebenselementes wahrnehmen, wenn jener das Wasser, dieser die Luft verläßt.

Die Kometen sind in großer Entfernung von der Sonne mehr abgerundet; je mehr sie aber derselben sich nähern, desto schneller gehen sie und desto mehr zarte Theilchen werden von ihrer Oberfläche durch den Widerstand des Weltäthers abgerissen, so daß sich ein immer länger werdender hohlkegelförmiger Schweif bildet, der wieder verschwindet, wenn sich der Komet von der Sonne entfernt und langsamer geht. Es ist natürlich, daß dieser Schweif an seinen Gränzlinien mehr erleuchtet erscheinen muß, als gegen die Mitte, weil dort mehr von seinen Theilchen in der Gesichtslinie liegen und sie einander näher zu treten scheinen, als hier; aber dabei ist die Erleuchtung an der äußern Gränze der krummen Bahn stärker, als an der inneren, weil dort die Theilchen durch den Widerstand des Aethers mehr zusammengehalten werden, als hier. Dies zeigte sich u. a. sehr schön bei dem großen Kometen im Jahre 1859.

Eine andere Folge des Widerstandes des Aethers und somit seines unzweifelhaften Vorhandenseins ist, daß die zu unserer Sonne gehörigen und nur um dieselbe sich bewegenden Kometen immer mehr sich verengende Bahnen beschreiben, so daß ihr Jahr sich verkürzt, sie endlich einmal in die Sonne stürzen und selbstständige Körper zu sein aufhören werden. Dem Biela'schen Kometen ist nach 19maliger Beobachtung sein Jahr bereits um etwa zwei Tage gekürzt.

Obwohl der Weltätherstoff so zart ist, daß nach der Berechnung von Thomson ein Theil von dem Rauminhalte unserer Erde, welcher 2650 Millionen Kubikmeilen beträgt, nur 250 Pfunde wiegt; so spielt er doch, wie wir noch näher erkennen werden, auch in unseren irdischen Erscheinungen eine viel wichtigere Rolle, als man gewöhnlich glaubt, zumal er, wie nachweisbar ist, alle Körper durchdringt.

Der Stoff als solcher kann nicht aus Nichts entstanden sein und kann auch nicht vergehen; das bloße Sein im Raume ist dafür allein schon die Bedingung. Aber die Körper, als begränzte Stoffe, sind entstanden, entstehen fortwährend noch und sind allein im Stande, auf unsere Sinne einen Eindruck zu machen.

Den Inbegriff aller in dem unendlichen Raume vorhandener Körper nennen wir die Natur. Manche sagen dafür Welt.

Wir können diese Körper in irdische, d. h. zu unserer Erde gehörige und sie selbst bildende und in überirdische, welche außerhalb ihr in dem übrigen Raume befindlich sind, eintheilen.

1. Die überirdischen Körper.

Wir sind im Stande, schon an den überirdischen Körpern eine ziemlich auffallende Verschiedenheit wahrzunehmen, noch mehr aber an den irdischen.

An jenen erkennen wir verschiedene Farben und Beschaffenheiten: manche, nämlich die Sonne und die anderen Fixsterne, haben ein eigenes Licht, woran wir Farbenwechsel wahrnehmen; andere, die Planeten, wie unsere Erde, bewegen sich um sie und werden von ihnen beleuchtet; noch andere, die Nebenplaneten oder Monde, welche auch dunkel sind, bewegen sich um die Planeten und mit ihnen um die Sonne; wieder andere, die Kometen, welche aus einer von der Sonne beleuchteten und so lockeren Masse bestehen, daß man hellere Fixsterne durch sie sehen kann, gehören zwar theilweise zu bestimmten Sonnen und bewegen sich um sie, die meisten aber schweifen in ihren langgestreckten Bahnen als ächte Weltbürger im Weltraume herum zu verschiedenen Fixsternen oder Sonnen und erscheinen bei uns und unserer Sonne nur als unerwartete Gäste, um uns dann auf immer zu verlassen; noch andere, die Meteore, irren in unserem Sonnensysteme zwischen den Planeten wahrscheinlich als Bruchstücke eines früheren Planeten herum, da sie alle fast aus denselben Stoffen, namentlich Eisen, bestehen, bis sie in die Atmosphäre der Erde kommen, hier bei der großen Schnelligkeit ihrer Bewegung in ihr sich stark reiben, dadurch rothglühend werden, meist zerspringen und als Steinregen auf die Erde herabfallen, bisweilen noch so glühend, daß sie zünden, aber ohne sehr tief einzuschlagen, weil mit ihrer vermehrten Geschwindigkeit der Widerstand der nach unten zu dichter werdenden Atmosphäre wächst. Zwischen

den Planeten Mars und Jupiter sind bereits 79 ganz kleine Planeten, Asteroiden genannt, entdeckt worden, welche höchst wahrscheinlich Bruchstücke eines einzigen Planeten sind, da ihre Bahnen so ziemlich auf einen gewissen Punkt im Weltraume treffen und es ist nicht unmöglich, daß die kleinsten und am weitesten fortgeschleuderten Fragmente als Meteorsteine verschiedene Planeten, wie unsere Erde, heimsuchen.

Endlich gelangt unsere Erde in ihrer Bahn um die Sonne jährlich zweimal und zwar gegen den 11. August und 12. November in eine schichtenförmig ausgebreitete Region, in welcher oft in sehr großer Anzahl Sternschnuppen erscheinen, welche häufig einen nicht so schnell wie sie selbst vergehenden Schweif hinter sich lassen. Da die Erscheinung jedesmal durch 3 bis 4 Nächte dauert und die Erde täglich 360000 Meilen zurücklegt, so hat die in schiefer Richtung von ihr durchlaufene Schicht eine Dicke oder Mächtigkeit von mindestens 700000 Meilen. Auch die Meteore bilden nicht selten hinter sich einen aus abgelösten glühenden Massentheilen bestehenden Schweif, welcher, wie ich selbst beobachtet habe, bisweilen noch mehre Minuten am Himmel sichtbar bleibt, wenn das Meteor selbst schon verschwunden ist.

Eine äußerst selten, vielleicht einzig dastehende Meteorerscheinung habe ich im August des Jahres 1860 zu Hoboken im Staate New-Jersey V. St. beobachtet. Es zog nämlich fast genau von Westen nach Osten ziemlich langsam ein sehr schön hellgrün leuchtendes Meteor von etwa 4 Zollen scheinbaren Durchmessers ziemlich niedrig, theilte sich vor meinen Augen in zwei ziemlich gleiche Kugeln, welche dicht hintereinander ziehend einen kurzen Schweif bildeten und wird wohl, da es sich immer tiefer senkte, bald im atlantischen Ozeane verschwunden sein. Im Westen der Union war es in bedeutenderer Höhe beobachtet worden. Wenn die rothglühenden Meteore vorzüglich aus Eisen bestehen, so mag dieses wohl aus Kupfer bestanden haben.

2. Die irdischen Körper.

Blicken wir nun auf die irdischen Körper, so erkennen wir an ihnen eine höchst wunderbare Mannigfaltigkeit, weniger in der unbelebten, als in der belebten Natur; denn es giebt ja gegen 80 tausend Arten von Pflanzen und über 100 tausend Thierarten, worunter allein über 80 tausend Insekten, von denen jede ihre ganz bestimmten, oft höchst wunderbaren Formen und Eigenschaften hat.

Um uns in dieser überwältigenden Fülle von irdischen Körpern zurechtzufinden, ist es nothwendig, sie nach gewissen, zunächst ganz allgemeinen Kennzeichen zu ordnen und dann mehr und mehr zu besonderen Merkmalen überzugehen.

Wir erkennen auf den ersten Blick, daß es zwei große Gruppen giebt: die einen haben weder als Ganzes, noch in ihren Theilen eine

selbstständige Bewegung und vergrößern sich, wenn sie es thun, nur durch das Ansetzen gleichartiger Stofftheile von außen. Dieses sind die unorganisirten Körper.

Lösen wir in heißem Wasser so viel Kochsalz auf, als nur möglich ist, stellen dann die ganz klare Flüssigkeit, in welcher keine Spur des Salzes wahrgenommen werden kann, in's Kalte oder lassen wir sie verdunsten, so bilden sich aus dieser Flüssigkeit kleine Salzwürfel, die von außen durch das Ansetzen gleichartiger Stofftheilchen sich vergrößern. — Hat man eine Zuckerlösung, so erzeugen sich, wie uns der Kandiszucker zeigt, schöne sechsseitige Pyramiden und so bilden andere Stoffe auch andere, aber ganz bestimmte Gestalten mit spiegelnden Flächen, welche man Krystalle nennt. Die Wissenschaft, welche sich mit der Untersuchung der Krystallformen beschäftigt, heißt die Krystallographie.

Zu den unorganisirten Körpern gehören die verschiedenen Luftarten, die Flüssigkeiten, die Erdarten, Metalle und Steine aller Art.

Die zweite große Gruppe von irdischen Körpern bilden alle diejenigen, welche fremdartige Stoffe in ihr Inneres aufnehmen, diese Stoffe in sich verwandeln, also neue erzeugen, welche theils zu ihrem Bestehen, zu ihrer Vergrößerung von innen heraus und zur Erhaltung ihrer Gattung dienen, theils als für sie unbrauchbar, wie Schlacken, abgesondert werden. Dieses sind die organisirten Körper. Die Mittel und Werkzeuge, durch welche sie diese Verrichtungen vornehmen, heißen nämlich Organe; die aufgenommenen Stoffe aber Nahrungsmittel.

Aber unter den organisirten Körpern selbst müssen wir noch einen wesentlichen Unterschied machen.

Die einen nehmen ihre Nahrungsstoffe nur durch eine sehr große Menge ganz kleiner Oeffnungen auf der Oberfläche des Körpers aus der Luft, dem Wasser, vorzüglich aber aus dem Erdboden, und sie haben dabei als Ganzes keine selbstständige Bewegung. Dieses sind die Pflanzen.

Die anderen nehmen ihre Nahrung vorzüglich durch eine größere Oeffnung, den Mund, in sich auf und haben eine, wenn auch bisweilen sehr beschränkte willkührliche, d. h. durch ihren Willen geleitete Bewegung. Dieses sind die Thiere, von welchen der Mensch den vollkommensten Organismus besitzt.

Pflanzen zeigen zwar auch eine äußerliche Bewegung, aber sie ist stets auch durch eine äußere Kraft oder einen äußeren Reiz hervorgebracht, z. B. wenn der Wind sie bewegt; wenn der Sonnenreiz auf sie wirkt, indem manche gegen den Abend die Blätter (Acacia lofanta), andere ihre Blüthenkelche (Windenarten) zusammenlegen; wenn sie berührt werden, z. B. die Fliegenfalle, welche durch das Zusammenlegen der Blätter Insekten fängt; die Sinnpflanze, welche ihre gefiederten Blätter bei der Berührung plötzlich senkt. Die Bewegung des Blüthenstaubes der Staubbeutel nach dem Stempel, wie z. B. bei dem Wunder-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

baume, ist ebenfalls keine willkührliche, eben so wenig wie die des Saftes im Innern der Pflanzen, sondern eine mit dem Vegetationsprozesse unwillkührlich verbundene; wie es auch der Fall ist, wenn sich bei Sonnenschein und Windstille während der Blüthezeit des Kornes eine Wolke von Blüthenstaub plötzlich wie mit einem Zauberschlage über das ganze Kornfeld erhebt.

Im Gegentheile gibt es manche Thiere, welche, wie die Korallenthiere, an einen bestimmten Ort gefesselt zu sein scheinen, dabei aber innerhalb ihrer Wohnungen eine freie Bewegung zeigen, indem sie ihre Fangarme nach der Nahrung ausstrecken.

Wir können also die oben angeführten Unterschiede als hinreichend für die Merkmale der Pflanzen und Thiere ansehen.

Der Zweig der Naturwissenschaften, welcher sich mit der Eintheilung und der Angabe der Merkmale der irdischen Naturkörper beschäftigt, heißt die Naturbeschreibung, wofür man gewöhnlich, aber entschieden falsch, Naturgeschichte sagt. Denn die Naturgeschichte in ihrer Wortbedeutung wäre die Darstellung der im Laufe der Millionen, ja Billionen von Jahren in der überirdischen und irdischen Natur vorgekommenen Veränderungen. Und in der That, eine solche, von der Geschichte des Menschengeschlechtes wesentlich verschiedene Geschichte gibt es und ihre Forschungen sind eine der würdigsten Aufgaben für den menschlichen Verstand. Diese Untersuchung wird uns zum Glücke durch die Beschaffenheit der Himmelskörper, so wie der Erde, wesentlich unterstützt. Die Geschichte der Erde, welche man Geologie nennt, und zu welcher die Geognosie oder die aus der Untersuchung der geschichteten Erdrinde mit ihren Ueberresten urweltlicher Pflanzen und Thiere gewonnene Kenntniß die Grundlage bildet, ist nur ein verschwindend kleiner Theil der Geschichte unseres Sonnensystems oder gar erst des Weltalls.

Die Naturbeschreibung im engeren Sinne beschäftigt sich also mit den drei großen Reichen der irdischen Körper, und zwar

1. mit den unorganisirten Körpern, die Mineralogie,
2. mit den Pflanzen (Pflanzenkunde), die Botanik, und
3. mit den Thieren (Thierkunde), die Zoologie.

Will man wissen, wie in den verschiedenen organischen Körpern die inneren Thätigkeiten der Werkzeuge oder Organe, durch welche die Ernährung, Erhaltung und Vergrößerung, die Wiedererzeugung und bei den Thieren auch noch die Hervorbringung der anderen sinnlichen Eindrücke stattfindet, so müssen diese Körper bis in ihre zartesten Bestandtheile zerlegt und es muß von jedem derselben die ihm zugewiesene Verrichtung angegeben werden.

Mit der Zerlegung der Körper in ihre einzelnen Theile nach ihrem äußeren Zusammenhange beschäftigt sich die Anatomie der Pflanzen und Thiere; mit der Untersuchung der inneren Thätigkeit der Organe die Physiologie.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Anatomie ist für die organisirten Körper, was die Krystallographie für die unorganisirten war.

Hat die innere Thätigkeit der Pflanzen und der Thiere aufgehört, so sind sie abgestorben, so als wäre eine Maschine durch vollständige Abnutzung in den Stillstand gerathen und für ihren ursprünglichen Zweck unbrauchbar geworden. Abgestorbene organische Körper sind nur noch den Gesetzen der unorganischen unterworfen.

In dem gegenseitigen Verhalten der so unendlich verschiedenartigen Körper, auch der organischen, wenn ihre Lebensthätigkeit aufgehört hat, zeigt sich aber, wenn wenigstens der eine im flüssigen Zustande zu dem anderen gebracht wird, eine doppelte Richtung: sie haben entweder die Neigung mit einander sich zu einem dritten neuen Körper, welche vollständig neue Merkmale gegen die früheren darbietet, zu verbinden, oder sie zeigen sich gegen einander ganz fremd und lassen einander unverändert.

Taucht man z. B. ein Goldstück in Quecksilber, so verbindet sich letzteres an der Oberfläche des ersteren mit seinen Theilchen zu einer weißlichen fest anhaftenden Masse; wenn man aber ein Eisenstäbchen in's Quecksilber taucht, so bleibt es unverändert oder es wird von ihm nicht angegriffen. Wenn man also zu einem Erze, welches Gold enthält, Quecksilber thut, so kann man das Gold vom Erze absondern und es mit dem Quecksilber verbunden erhalten; nachträglich aber läßt sich letzteres, z. B. durch Erwärmung, trennen, und man hat dann das reine Gold.

Wenn sich 16 Theile geschmolzenen Schwefels mit 101 Theilen Quecksilber verbunden haben, so hat man den herrlich rothen Zinnober, obwohl die beiden Bestandtheile ganz andere Farben und sonstige Eigenschaften besaßen.

Wenn Wasserstoff und Stickstoff in dem Verhältnisse 14 zu 3 verbunden werden, so erhält man das scharfriechende Ammoniakgas, obwohl die beiden ersten Gase geruchlos waren.

Dergleichen Fälle giebt es unzählige. Es kann aber auch sogar geschehen, daß durch die Neigung zweier Stoffe, sich mit einander zu verbinden, aus einem Körper, welchen man nach seinem äußeren Aussehen nicht für einen zusammengesetzten zu halten geneigt ist, doch ein Bestandtheil abgesondert wird.

Legt man z. B. ein Stückchen Kaliummetall, welches bleiartig aussieht und fast wie Butter sich schneiden läßt, auf Wasser, so verbrennt es mit lebhafter Flamme, indem es aus dem Wasser den Sauerstoff heftig anzieht, und Wasserstoff entweicht aus dem Wasser, so daß es aufgefangen und auch verbrannt werden kann. Das Wasser ist also kein einfacher Körper, sondern es besteht aus zwei Maß Wasserstoff und ein Maß Sauerstoff oder einem Gewichtstheile Wasserstoff und acht Gewichtstheilen Sauerstoff.

Wenn man das ganz klare Wasser, welches sich über frisch gelösch-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ten Kalke abgesetzt hat, abgießt und mittelst eines Röhrchens aus der Lunge die Luft hineinbläst, so wird diese früher ganz klare Flüssigkeit sofort so weiß wie Milch, denn es verbindet sich die ausgeathmete Kohlensäure mit dem im Wasser in unendlich kleinen Theilchen unsichtbar vorhandenen Kalke zu kohlensaurem Kalke.

Denjenigen Zweig der Naturwissenschaften, welcher ermittelt, aus welchen nicht mehr zerlegbaren Stoffen, die man Urstoffe oder Elemente nennt, die verschiedenartigen, sowohl unorganischen als auch organischen Körper bestehen und welcher angibt, wie neue Körper durch Zusammensetzung gebildet werden, nennt man Chemie. Es giebt also eine analytische Chemie, welche zusammengesetzte Körper zerlegt, und eine synthetische, welche Stoffe zu einem neuen Körper zusammensetzt.

Ungeachtet der so wunderbaren Fülle von irdischen Körpern und der Verschiedenheit selbst ihrer Theile findet sich doch, daß die Anzahl der einfachen, bis jetzt noch nicht weiter zerlegten Stoffe nur 65 beträgt. Ja es wird der fortschreitenden Wissenschaft wahrscheinlich noch gelingen, die Anzahl dieser Elementarstoffe nicht zu vermehren, sondern zu vermindern und zu zeigen, daß die meisten der jetzt noch für einfach gehaltenen Körper ebenfalls zusammengesetzte sind. Hat man doch z. B. das Ammonium, welches wegen seines chemischen Verhaltens zu den Metallen gerechnet wurde, als aus Stickstoff und Wasserstoff zusammengesetzt dargestellt. Es ist also nicht unmöglich, daß die Zerlegung der Metalle, also auch ihre Zusammensetzung noch einmal gelingt.

Solche Elementarstoffe sind u. a. Sauerstoff und Stickstoff als die wesentlichsten Bestandtheile der atmosphärischen Luft nach dem Raumverhältnisse 21 zu 79 in 100 Theilen, Wasserstoff, Chlor, Schwefel, Phosphor, welcher mit Wasserstoff das in der atmosphärischen Luft sich selbst entzündende Phosphorwasserstoff (Irrlichter) gibt; Kohlenstoff (am reinsten in der Natur als Diamant), Gold, Silber, Kupfer, Blei, Quecksilber, Eisen, Platina (21 mal schwerer als Wasser), Iridium (23 mal schwerer als Wasser).

Außer diesen Veränderungen an den Körpern, welche sich auf das Aufgeben ihrer wesentlichen Eigenschaften, also ihrer ganzen Natur beziehen und die man chemische nennt, giebt es noch solche, die das Wesen der Körper nicht ändern, sondern nur in der Umwandlung der Zustände bestehen; wenn also z. B. ein ruhendes Stück Eisen durch einen Magneten, ein Stückchen Papier durch eine mit wollenem Zeuge geriebene Siegellackstange in Bewegung gesetzt wird; wenn das Wasser bei Kälte sich in Eis, bei Hitze in Dämpfe verwandelt, ohne daß sich seine Bestandtheile und ihr Mischungsverhältniß ändern, wenn die Sonnenstrahlen mittelst eines Brennglases Schwamm anzünden, wenn man durch einen langen Gummischlauch noch ganz verständlich spricht, durch einen Kupferdraht telegraphirt, wenn man irgendwie einen Ton erzeugt und so unzählige andere Veränderungen hervorbringt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Alle solche auf die äußeren Zustände sich beziehenden Veränderungen, welche man Erscheinungen nennt, geschehen unter genau gleichen Umständen stets auf dieselbe bestimmte Weise und unfehlbar, also gesetzmäßig. Die Wissenschaft, welche die das Wesen der Körper nicht ändernden Einwirkungen derselben aufeinander und die Gesetze, nach welchen die Veränderungen oder Erscheinungen stattfinden, untersucht, ist die Physik.

Unsere Sinne sind nicht so vollkommen, als daß sie uns das Vorhandensein eines jeden Körpers oder eines jeden Zustandes desselben stets anzeigen können. Wir sehen z. B. nicht den Duft der Rosen, die Aufgußthierchen, welche sich in ungeheurer Menge bilden, wenn Pflanzen im Wasser faulen; wir fühlen nicht die verschiedenen Luftarten durch unseren Tastsinn, wir sehen auch die meisten nicht; wir riechen nicht die Spur des Wildes, wie es der Jagdhund wohl kann.

Auch Zustände entgehen unserer sinnlichen Wahrnehmung: wir sehen z. B. nicht jede Bewegung, nämlich dann nicht, wenn sie allzulangsam oder allzuschnell ist, wie die Bewegung des Stundenzeigers einer Taschenuhr, einer abgeschossenen Büchsenkugel, einer tönenden Saite; wir hören auch nicht die Schwingungen einer Saite, wenn sie allzulangsam oder allzuschnell sind.

Dieses sind nun allerdings schon nicht geringe Schwierigkeiten, welche der Naturforschung überhaupt und der Physik insbesondere entgegenstehen; es ist aber zur geistigen Wahrnehmung und Erforschung nicht blos hinreichend, daß unsere Sinne einen angemessenen Eindruck empfangen, sondern wir müssen uns dieses Eindruckes auch bewußt werden. Wir hören z. B. das Schlagen einer benachbarten Uhr oft nicht beim fleißigen Arbeiten, oder wenn der Geist anderweitig vollständig in Anspruch genommen ist, obwohl das Ohr die sinnlichen Eindrücke empfängt; im Schlafe fühlen wir nicht, wenn man uns leise berührt, wir riechen nicht, wir sehen oft nicht mit offenen Augen, gleich wie ein Hase, wenn er schläft.

Damit wir uns der durch die Körperwelt verursachten äußeren Eindrücke bewußt werden, ist es also nothwendig unsere Aufmerksamkeit darauf zu richten.

Wollen wir die Bedingungen für die Erscheinungen und die Gesetze, nach welchen sie erfolgen, genau kennen lernen, so müssen wir Beobachtungen anstellen, d. h. mit Aufmerksamkeit und denkender Betrachtung den Verlauf der Erscheinungen erforschen und den inneren Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung zu erkennen suchen.

Die Natur zeigt uns nicht zu jeder Zeit diejenigen Erscheinungen, welche wir beobachten wollen, ja sie bringt viele Körper von selbst gar nicht mit einander in Beziehungen; wir veranlassen daher die Körper absichtlich in solche Wechselwirkungen zu treten, daß sie uns dieselben, ja sogar ganz neue Erscheinungen zeigen, wenn auch oft in sehr kleinem

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Maßstabe, d. h. wir stellen einen Versuch, ein Experiment an. Wenn wir z. B. an der Elektrisirmaschine einen Funken erzeugen, so ist dies nichts anderes, als ein kleiner Gewitterblitz. — Wenn wir in der Stube eine kalte Glastafel behauchen und es setzen sich Wasserdünste an, so geschieht ganz dasselbe häufig ohne unser Zuthun an den Fensterscheiben. — Die entzündlichen Luftarten in Bergwerken, die sogenannten schlagenden Wetter, welche sich dort ohne unser Zuthun bilden, können wir auch auf unserer Stube erzeugen u. s. w.

Nachdem man auf diese Weise die Bedingungen für die ihrem Verlaufe nach erkannten Erscheinungen, d. h. die Kräfte, erforscht hat, muß man auch das Wesen dieses Verlaufes oder das Gesetzmäßige des Vorganges zu ermitteln suchen. Es entsteht z. B. die Frage: strömt von der Sonne, während sie uns beleuchtet, und von jedem anderen leuchtenden Körper ein Stoff aus, durch welchen die Wirkung des Sichtbarwerdens erzeugt wird, oder ist der Vorgang ein anderer? Ist ferner hierbei die Verbreitungs- und Wirkungsweise eine gesetzmäßige oder nicht und worin besteht die etwaige Gesetzmäßigkeit? Oder, worin ist die bewegende Kraft des Dampfes begründet.

Auch bei der Erforschung des Verlaufes und des Wesens einer Erscheinung treten uns, weil die sinnliche Wahrnehmung allzu enge Gränzen hat, oft sehr große Schwierigkeiten in den Weg, wie z. B., wenn wir wissen wollen, was während des Telegraphirens mit dem Telegraphendrahte vorgeht; was in einer tönenden Pfeife geschieht; welches der Vorgang beim Abstoßen und Anziehen zweier Magnete ist.

Wir stellen darüber zunächst meist nur Vermuthungen oder Hypothesen auf und suchen dieselben durch die mannigfaltigen Erscheinungen zu bestätigen oder zu widerlegen. Wenn eine Hypothese mit keiner bekannten Thatsache im Widerspruche steht und wenn alle neuen sich ungezwungen darauf zurückführen und erklären lassen, so hat sie die Kennzeichen der Richtigkeit und dient für die weitere Forschung als Regel oder als Naturgesetz, von welchem die Natur weder selbst abweicht, noch die Menschen beim Experimentiren abweichen läßt. Sowie wir bei unseren Versuchen die naturgemäßen, d. h. unbedingt nothwendigen Vorbedingungen erfüllen; so ist auch der Erfolg oder die Erscheinung unabweislich gesichert und sie befolgt dabei unveränderliche Regeln.

Da alles Gesetzmäßige sich durch mathematische Regeln oder Formeln darstellen läßt, so sind auch die physikalischen Naturgesetze mathematisch darstellbar und können mathematisch erforscht werden. Man hat daher häufig allein durch mathematische Untersuchungen auf der Studirstube Naturgesetze entdeckt, wie z. B. die nach Ohm benannten in der Elektrizitätslehre, oder man hat, geleitet durch anderweitig bekannte Naturgesetze, die herrlichsten Entdeckungen gemacht, welche der höchste Triumph für den menschlichen Verstand sind. So ist z. B. der von der Sonne ent-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

fernteste Planet, Neptun nämlich, durch Rechnungen aufgefunden; es ist durch Rechnung bestimmt worden, wo er sich zu einer bestimmten Zeit im Weltraume aufhalten müsse und in der That zeigte das auf diesen Ort gerichtete Fernrohr dem erstaunten Auge des Beobachters den neuen Planeten.

Wenn schon aus diesen Betrachtungen die Wichtigkeit der Naturwissenschaften überhaupt für jeden Gebildeten einleuchtet, so ist es vorzüglich die Physik ganz besonders für den intelligenten Handwerker, Gewerbtreibenden, Fabrikanten, Landwirth u. s. w., welcher mit klarer Einsicht in die Naturnothwendigkeiten sein Geschäft betreiben will und so sich nicht nur vergebliche Mühe spart, einen unnützen Kampf gegen Naturkräfte zu unternehmen, sondern sogar die hinreichende Einsicht gewonnen hat, sie angemessen zu benutzen oder zu bewältigen. Der Handwerker, Fabrikant oder Gewerbtreibende nimmt keine Arbeit vor, in welcher nicht die Physik es wäre, die in irgend einer Weise eine Rolle dabei spielte.

Alle Entdeckungen im Gebiete der Naturwissenschaften haben eine materielle und eine wissenschaftliche Seite. Bei den meisten Menschen wird zwar die erste Rücksicht überwiegen und sie werden sich wenig um den inneren Zusammenhang der ihnen nützlichen Entdeckungen mit den ewigen Naturgesetzen kümmern. Man freut sich wohl, daß man auf den Eisenbahnen so rasch fahren kann, man ist entzückt, daß wichtige oder interessante Nachrichten mit Blitzesschnelle durch den Telegraphendraht eilen; man ist wohl erstaunt, daß man im Momente durch Einwirkung des Lichtes ein vollkommen naturgetreues Bild von einer Person oder einem Gegenstande darstellen kann; aber die Natur der bewegenden und wirkenden Kräfte läßt Viele, wenn nicht gleichgiltig, so doch bei einer gewissen Verwunderung stehen bleiben und das ist nicht gut, es ist nicht menschenwürdig.

Wenn es nicht Männer gäbe, welche mit aufopfernder Hingabe die wissenschaftliche Seite aller Naturerscheinungen als ihre Aufgabe ansehen und ihr Wesen zu erforschen suchen, so würden auch die meisten für die Hebung der Gesittung der ganzen Menschheit so wichtigen Entdeckungen nicht gemacht worden sein, denn der Zufall spielt hierbei seltener eine Rolle. Schon dies sollte eine größere Anregung für Alle sein, sich mit den Naturwissenschaften mehr zu beschäftigen, als es so häufig der Fall ist. Aber was kann es für den Geist für eine erhebendere Nahrung geben, als die Erforschung der wunderbaren Vorgänge bei den so unendlich mannigfaltigen Erscheinungen in der Natur, die, nie erschöpft, uns stets neue Räthsel zur Lösung vorlegt? Was kann befriedigender sein, als das Bewußtsein des klaren Einblickes in ihre geheimen Werkstätten? — Wir müssen als vernunftbegabte Wesen uns auch das Wunderbarste in der Natur klar zu machen suchen und sollten den Wunderglauben, der bei beschränkten Naturen so leicht in Aberglauben

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

umschlägt, nur beschränken auf den Glauben an die Wunder der Natur, welche im Stande ist, mit so wenigen Urstoffen und so wenigen Kräften, auf welche wir nun zurückkommen, so unendlich mannigfaltige Körper und Erscheinungen zu zeigen.

Die Physik insbesondere giebt aber nicht blos dem Geiste eine von keinem anderen Gebiete des menschlichen Forschens übertroffene befriedigende Nahrung, sondern greift auch in alle Gebiete der menschlichen Thätigkeit ein. Gewöhnlich freilich erlernt der Gewerbetreibende und Handwerker mechanisch durch Abrichtung und Gewöhnung, was und wie er es in den durch seinen gewählten Beruf ihm vorgezeichneten Fällen zu machen hat. Wie oft aber kommt es da vor, daß er gewohnheitsmäßig unrichtige Mittel zur Erreichung der vorliegenden Zwecke anwendet, so daß er also Zeit und Arbeitskraft, wohl auch Arbeitsmateriale vergeudet, die er besser zur Hebung seiner Lage, zur Erholung und für den Geist verwenden könnte. Er muß ferner, wenn er blos auf dem Felde der Praxis arbeitet, häufig eine unverhältnißmäßig lange Zeit verwenden, ehe er die nöthige Einsicht und Fertigkeit sich verschafft hat.

Wenn aber der Handwerker, Gewerbtreibende und Fabrikant die Natur studirt hat, so wird er nicht nur stets mit freudigem Bewußtsein arbeiten und die ihm bei seiner Arbeit aufstoßenden Hindernisse mit Bewußtsein beseitigen, ja sie zu vermeiden wissen; sondern auch die in der Natur vorhandenen Kräfte zur Schonung seiner eigenen und somit zur Hebung seines Geistes benutzen.

So bringt ihm die Beschäftigung mit der Physik Segen und Genuß und er erhebt sich mehr und mehr zur Stufe der wahren Humaniät, zu wahrer Bildung und Gesittung.

Erste Abtheilung.

Von den Körpern, den Zuständen der Körper und den Kräften im Allgemeinen.

Erster Abschnitt.

Von den Abmessungen der Körper.

Wir nannten das begränzte Zusammensein des Stoffes einen Körper. Es muß also jeder Körper, wie klein er auch ist, einen Theil des unendlichen Raumes einnehmen. Der Raum und jeder noch so kleine Theil desselben hat drei einander rechtwinklig entgegengesetzte Abmessungen oder Dimensionen oder, er ist nach drei Richtungen ausgedehnt.

Diese drei Richtungen nennen wir in Beziehung auf unsere Erde: Länge, Breite und Höhe oder Tiefe. Die beiden ersten Abmessungen sind horizontale oder in der Richtung des Horizontes liegende, und die Länge ist von ihnen die größere; die letzte ist ihnen rechtwinklig entgegengesetzt und bekommt ihre Benennung je nach dem Standpunkte des Beobachters. Man sagt z. B. ein Brunnen hat eine gewisse Tiefe, ein Thurm eine gewisse Höhe. Sonst pflegt man wohl auch die kleinste von diesen drei Abmessungen die Dicke, die mittlere die Breite, die größte die Länge zu nennen, wie bei einem Brette, welche Lage es auch hat.

Bei manchen Körpern ist eine Ausdehnung überwiegend, wie z. B. bei einer Saite, einem Faden. Man nennt sie lineare Körper. Bei anderen sind zwei Abmessungen vorwaltend, wie z. B. bei einem Trommelfelle. Sie heißen flächenförmige Körper. Bei anderen, z. B. einem Amboße ist keine Abmessung vorherrschend. Sie mögen massige Körper heißen.

Theilbarkeit der Körper und ihre Gränze.

Natur und Menschenhände stellen alle drei Arten zu verschiedenen Zwecken her und oft in einer staunenswerthen Zartheit.

Ein Faden von gewöhnlicher Wolle hat einen Durchmesser von 0,02 Linien, vom feinsten Merino 0,008‴, von Seide 0,004‴. Eine dicke Kreuzspinne hängt an ihrem Faden sehr sicher, denn er ist ungeachtet seiner scheinbaren Zartheit aus Tausenden von Fäden zusammengesetzt, welche die Spinne aus ihren sechs Spinnwarzen, von denen jede sehr viele Oeffnungen hat, mit den Hinterfüßen herauszieht.

Ein Pfund Baumwolle ist zu einem Faden von 40 Meilen Länge ausgesponnen worden, ein Loth Gold zu einem von 5 Meilen. — Wollaston goß um einen Platindraht von 0,01″ englisches Maß Dicke einen Silberzylinder von 1/5″ Durchmesser, zog ihn durch immer engere Drahtzüge zur möglichsten Feinheit aus, löste dann in kochender Salpetersäure das Silber auf und bekam so einen Platindraht von 1/3000 Linien Dicke, deren gegen 140 auf einen Kokonfaden gehen.

Für die Untersuchungen in der Lichtlehre sind die Eintheilungen auf Glas wichtig, welche Frauenhofer und Nobert gemacht haben. Jener theilte die pariser Linie in 1000 bis 3000 gleiche Theile, dieser zog Linien, deren gegenseitiger Abstand nur 0,000325 Linien beträgt. Es ist hier das kaum Glaubliche geleistet.

Mehre Metalle kann man zu sehr dünnen Blechen auswalzen. So hat man in Gleiwitz einen Zentner Eisen zu einem Bleche von 7040 Quadratfuß ausgewalzt. Besonders geschmeidig aber ist das Gold, denn einen Gran desselben kann man zu einer Fläche von 36 Quadratzollen ausschlagen, und man hat Goldplättchen von 1/280000 Zoll Dicke angefertigt.

Endlich erzeugt sowohl die Natur als auch die Menschenhand Körperchen, deren sämmtliche Abmessungen sehr klein sind.
Von riechenden Stoffen, wie Kampfer, Moschus, ätherischen Oelen, lösen sich ohne merklichen Gewichtsverlust Theilchen ab, welche in der Luft schweben und beim Einathmen durch die Nase auf den Geruchssinn sich wirksam zeigen. Aehnlich wirkt auf den Geschmack das Quassiaholz, wenn man daraus Becher fertigt und aus ihnen Wasser trinkt. — Die Selbsttheilung bei Farbestoffen ist auch oft höchst auffallend. Es kann z. B. ein Gran Karmin 10 Pfunde Wasser noch merklich roth, ein Gran Kupferammoniak 392 Pfunde Wasser noch blau färben. Aehnlich ist es mit Indigo, Kochenille, Zinnober u. a.

Selbst in der organischen Welt ist das außerordentliche Kleine in wunderbarer Weise vertreten. Im Blute z. B. hat man und zwar in einem Kubikmillimeter an 4 Millionen Zellen, d. i. kleiner häutiger Kügelchen mit einer Flüssigkeit entdeckt, die bei verschiedenen Thieren verschieden geformt sind. Die Elemente aller Pflanzen- und Thierkörper sind solche Zellen. —

Die Flüssigkeit in den Därmen der Frösche enthält eine unzählige Menge von Infusionsthierchen. — Ehrenberg nimmt in einem Kubikzolle

Polirschiefer oder Trippel an 40000 Millionen von solchen Thierresten an. Wenn nun schon diese Infusionsthierchen selbst sehr klein sind, wie klein muß man sich da ihre Organe vorstellen?

Wie außerordentlich zart müssen auch die von dem Blüthenstaube der Blumen sich ablösenden Theilchen sein, die sich aber noch durch unser Geruchsorgan verrathen! Noch viel zarter die, welche von einem laufenden Rebhuhne, einem Hasen oder anderen Wilde sich ablösen und noch durch die Nase des Jagdhundes erkannt werden! — Wenn die Stubenfliegen im Herbste todt an den Fensterscheiben kleben und mit einem weißen Scheine umgeben sind, so ist ihr Tod dadurch herbeigeführt worden, daß sie aus der Luft die unendlich zarten Saamen eines Pilzes einathmen, welcher dann in und an ihrem Körper so wucherte, daß sie sterben mußten.

Aber auch durch besondere Mittel kann man sehr kleine Körperchen erhalten; z. B. beim Mahlen der Getreidesorten, beim Pulverisiren des Salpeters, des Schwefels und der Kohle in der Pulverfabrikation; beim Anfertigen der Polirmittel, durch welche man Edelsteinen oder Metallen glänzende Flächen gibt. Man reibt mit den zarteren härteren Körnchen des Polirmittels die Unebenheiten der zu glättenden Fläche ab, wodurch nothwendig Ritzen entstehen müssen, die aber so außerordentlich fein sind, daß sie dem bloßen Auge meist ganz verschwinden. Die Diamanten werden mit dem noch härteren schwarzen Diamantbrock polirt.

Wenn man die Gold- und Silberprobe vornehmen oder die verschiedenen Stufen der Legirungen edler Metalle untersuchen will, so reibt man auf einem zartkörnigen härteren Steine, dem Probirsteine, etwas von dem zu untersuchenden Metalle ab und kann durch die Vergleichung der Färbung des Metalles mit der einer bekannten Legirung das Resultat finden. Hier ist also eine außerordentlich feine Zertheilung des legirenden Metalles noch durch das Auge zu erkennen.

Wenn nun auch die durch Menschenhand hervorgebrachte Zerlegung der Körper in Theile, noch mehr aber die durch die Natur selbst bewirkte uns auf wunderbar kleine Theile führt, so sind wir doch nicht genöthigt schon hier die Gränze der Theilbarkeit anzunehmen, sondern wir können uns die Zerlegung noch fortgesetzt denken. Indeß kann dies nicht bis in's Unendliche gehen, weil wir sonst auf Theilchen eines Körpers kämen, die etwas Körperliches nicht mehr hätten und somit der Körper aus stofflosen Bestandtheilen zusammengesetzt wäre, was unmöglich ist.

Wir müssen uns also bei jedem einfachen Stoffe unzerlegbare, untereinander gleiche und gleichschwere Urtheile denken, die man Atome nennt.

Bei den organischen Körpern führen die Untersuchungen nur bis auf die Zellen als Urbestandtheile derselben. Die Zelle aber ist schon ein zusammengesetzter Körper aus mindestens zwei Stoffen, die bereits

Gruppen von Atomen oder Molekel bilden. — Auch die kleinsten Theilchen des Wassers sind keine Atome, sondern Molekel, deren Bestandtheile 1 Sauerstoff- und 1 Wasserstoff-Atom sind. Die Wassermolekel sind also aus verschiedenartigen Urstoffatomen zusammengesetzt; wie lange wir aber einen Körper als aus einem Elementarstoffe zusammengesetzt denken, sind auch seine Molekel aus solchen Elementaratomen gruppirt.

Wir wissen bereits aus angeführten Beispielen (Zinnober, Ammoniakgas, Wasser), daß die Atome eines bestimmten Grundstoffes sich nur in ganz bestimmter Zahl mit denen eines anderen sich verbinden können, um neue Körper mit wesentlich verschiedenen Eigenschaften zu erzeugen. Wir können noch die wunderbare Thatsache hinzufügen, daß sogar dieselben zwei Grundstoffe je nach den Verhältnißzahlen, in denen sie sich verbinden, ganz verschiedenartige Körper hervorbringen. Es geben u. a. 100 Theile Stickstoff mit 1 mal 52,14 Theilen Sauerstoff das berauschende Stickstoffoxydulgas, mit 2 mal 52,14 Sauerstoff das Stickoxyd, mit 3 mal 52,14 die salpetrige Säure, mit 4 mal 52,14 die Unter-Salpetersäure, mit 5 mal 52,14 Sauerstoff die Salpetersäure; wir gelangen von Luftarten zu Flüssigkeiten, die alle aus denselben Urstoffen bestehen und dennoch sehr verschiedene Eigenschaften besitzen, wobei jeder einzelne trotz seines gleichartigen Aussehens seiner Theile, doch zusammengesetzt ist.

Nicht nur in der unorganischen, sondern auch in der organischen Natur tritt das ganz bestimmte Bestreben hervor, daß jeder bestimmte Stoff sich auch zu einer ganz bestimmten Form gestaltet, und daß auch in seinem Innern die kleinsten Massentheilchen eine ganz bestimmte Lagerung erhalten.

Bei Krystallen erkennt man, daß die Atome in Beziehung auf drei Axen, die einander entweder senkrecht oder schief schneiden, sich symmetrisch gruppiren.

Jede Pflanzen- und jede Thiergattung weicht von den ihr einmal zukommenden Bildungsgesetzen freiwillig nicht ab, so wunderbar vielgestaltig auch die Formen der verschiedenen Wesen und ihre mit unbewaffneten Augen gar nicht mehr erkennbaren einzelnen Theile sind. Es bilden z. B. die Flügel der Eintagsfliege immer und ewig dasselbe zarte Gewebe von Aestchen und Strahlen oder das letzte Fußglied unserer Stubenfliege hat stets die beiden gebogenen spitzen Klauen und dazwischen gezähnte Fußballen, mit denen sie sich, wie mit Schröpfköpfen an glatte Gegenstände anfaugt, um an ihnen emporzulaufen. Abweichungen von der gesetzmäßigen Gestalt, oder Mißgestalten und Mißgeburten entstehen nur, wenn der Natur irgend ein Zwang angelegt, oder wenn sie in ihrem Bildungsprozesse gestört wird.

Weil nun bestimmte Stoffe nur in bestimmten Verhältnissen sich mit einander zu wesentlich neuen Körpern verbinden und weil die Stoffe bei der Körpergestaltung im Innern eine bestimmte Lagerung und im

Aeußern eine bestimmte Form annehmen; so sind wir zu dem Schlusse berechtigt:

Sowohl die Atome jedes Urstoffes, als auch die Molekel der Elementar- und zusammengesetzten Körper haben eine bestimmte Gestalt.

Die Dichtigkeit der Körper.

Wenn eine gewisse Summe von Atomen oder Molekeln einen einfachen oder zusammengesetzten Körper gibt, so kann die Gestalt verschieden sein; man kann z. B. ein Pfund Eisen in der Gestalt einer Stange, eines Würfels u. dgl. haben, ohne daß der Rauminhalt und die Menge der gleichartigen Köpertheile oder die Masse sich ändert, so daß die Atome und Melekel in allen Fällen in derselben ursprünglichen Entfernung von einander bleiben.

Den Raumtheil, welchen ein Körper ohne Rücksicht auf seine Gestalt einnimmt, nennt man sein Volumen. In dem angeführten Falle bleibt also das Volumen ungeachtet der Veränderung der Gestalt dasselbe.

Anders aber ist es, wenn man z. B. ein leeres, d. h. nur Luft enthaltendes Trinkglas nimmt, dasselbe auf einem Wasserspiegel umstürzt, wodurch die in ihm vorhandene Luft abgesperrt wird und nun das Glas tiefer in das Wasser drückt. Dabei wird die Luft genöthigt, einen kleineren Raum einzunehmen, ihre Massentheilchen sind näher an einander getreten und die Luft ist somit dichter geworden. Ist das ursprüngliche Volumen der Luft auf die Hälfte zurückgegangen, so ist die neue Dichtigkeit das Doppelte von der ursprünglichen u. s. w. für jedes andere Verhältniß, so daß wir sagen können:

die Dichtigkeit zweier Körper aus demselben Stoffe verhält sich wie umgekehrt das Volumen derselben.

Ganz anders ist es bei verschiedenen Stoffen, weil bei ihnen die Natur der Atome den Grad der Dichtigkeit bedingt; es ist z. B. das Gold dichter als das Eisen, dieses dichter als die Holzarten, diese dichter als die Luftarten.

Wenn man Metalle walzet, hämmert oder zu Münzen prägt, so werden sie dichter, beim Prägen namentlich an den vertieften Stellen. So kann man auf Leder, Horn, Holz und dgl. durch Druckstempel mancherlei erhabene Figuren hervorbringen. — Wenn feuchtes Holz an trockenen und warmen Orten aufbewahrt wird, so schwindet es, d. h. sein Volumen vermindert sich und es wird dichter, indem namentlich die sogenannten Jahrgänge näher an einander treten; ein aus einem Baumstamme nach seiner Länge geschnittenes Brett wird also schmaler.

Wenn ein Körper keine Feuchtigkeit besitzt, so wird sein Volumen durch Zunahme der Wärme vergrößert, wovon nur das Wasser innerhalb einer beschränkten Gränze (zwischen 0° und 4° C.) eine höchst

wichtige Ausnahme macht, wovon wir später das Nähere angeben werden. Ein Würfel von Eisen vergrößert sich bei Zunahme, verkleinert sich bei Abnahme der Wärme; also in jenem Falle entfernen sich die einzelnen Massentheilchen von einander, und er wird weniger dicht, in diesem nähern sie sich einander und er wird dichter.

Porosität der Körper.

Wenn die Körper die Fähigkeit haben ein kleineres Volumen einzunehmen, so erfüllten ihre Stofftheile das frühere Volumen nicht vollständig oder es mußten zwischen den Stofftheilen Räume sein, welche ohne den betreffenden Stoff waren. Diese stofffreien Raumtheile, welche man Poren nennt, müssen sich nach der Form und Lagerung der Atome und Molekel richten; sie werden also z. B. bei der Kugelform der Stofftheilchen eine andere Gestalt und Größe haben, als bei anders geformten Stofftheilen. Es ist also natürlich, daß die verschiedenen Körper in sehr verschiedenen Graden die Fähigkeit besitzen sich zusammendrücken zu lassen.

Auf der Porosität beruht eine große Menge von Erscheinungen. Der Regen und die anderen wässrigen Niederschläge aus der Atmosphäre dringen durch die Poren des Erdreiches hinab, bis sie auf eine so dichte Bodenschicht (Lehm oder Letten) oder auf Felsen kommen, daß sie nicht mehr weiter können und sich dort in einer oft Sand enthaltenden Schicht ansammeln. Man kommt beim Brunnengraben auf solche Schichten. Da in den bergigen Gegenden die Erdschichten meist nicht horizontal liegen, sondern sich rings um die Berge schräge aufsteigend gelagert haben, weil sie bei der Entstehung der Berge durch von innen wirkende Kräfte mit gehoben worden sind; so ist es bei der Zerrissenheit dieser Schichten leicht erklärlich, daß an den Abhängen der Berge sehr häufig Quellen hervorbrechen, welche um so mächtiger sind, je tiefer sie liegen und bisweilen Seen mit oder ohne Abfluß bilden, wenn eine kesselförmige Vertiefung vorhanden ist, welche unten das Wasser nicht durchläßt.

Wenn das durch Kalkerde sickernde Wasser Kohlensäure enthält, so bildet sich an den Decken von Kalksteinhöhlen der Tropfstein oder Stalaktit, oft in den wunderlichsten Gestalten und Farben, indem das durchgesickerte Wasser verdunstet. Ist der Zufluß zu bedeutend und die Verdunstung zu langsam, so bilden sich durch das Herabtropfen auch vom Boden der Höhlen aus Kegel, die jenem entgegenwachsen und so mit ihnen endlich zu vollkommenen Säulen sich gestalten. Man findet dergleichen Höhlen auf der Insel Kreta, im Harze, in Franken, Schweden, Frankreich und anderwärts.

Der Waschschwamm ist sehr porös, auch Bimstein, Kreide und Zucker werden leicht durchnäßt, Marmor weniger, nimmt aber Firniß doch bis zu einer ziemlichen Tiefe an, so daß man ihn dadurch einiger-

maßen gegen die zerstörenden Witterungseinflüsse schützen kann. Der Hydrophan ist zwar ein ziemlich dichter Stein, aber er nimmt Wasser, in welchem er liegt, doch in einem solchen Grade an, daß er durchscheinend wird; dasselbe ist der Fall mit Papier, welches durch Oel benäßt wird.

Lösch- und Fließpapier läßt beim Filtriren durch seine Poren zwar die Flüssigkeit durch, nicht aber die in ihr schwebenden, oft sehr zarten Körpertheile, die sie trübten.

Wenn die Gefäße aus gebranntem Thone nicht mit einer Glasur versehen werden, so schwitzt das darin befindliche Wasser durch und erzeugt durch seine Verdunstung auf der Oberfläche eine Abkühlung. Darauf beruhen die Kühlgefäße in den Haushaltungen.

Durch die Poren des Leders kann man Wasser treiben, durch ziemlich dickes Holz sogar Quecksilber. — Befindet sich Holz in Wasser und beseitigt man den Druck der Luft auf das Wasser, so dringt aus den Poren des Holzes eine große Anzahl von Luftblasen. Es ist also natürlich, daß Holz, welches längere Zeit in Wasser gelegen hat, schwerer geworden ist, da ja die leichtere Luft aus den Poren durch das Wasser vertrieben worden ist. Man findet daher nicht selten auf dem Boden der Binnenseen und der Flüsse ganze Stämme von Eichen aus früherer Zeit. — Soll Holz, welches bestimmt ist im Erdboden an der Erdoberfläche zu liegen oder zu stecken, wie z. B. Eisenbahnschwellen, Telegraphenstangen, gegen die Zerstörungen des Wechsels der Feuchtigkeit geschützt werden, so läßt man es vorher mit einem fäulnißwidrigen Stoffe durchdringen. — Versteinertes Holz und andere Petrefakten sind so ganz in einen unorganischen Stoff übergegangen und haben nur noch das organische Gefüge beibehalten, wodurch sie sich als Versteinerungen verrathen.

In selbst ganz gut verspundeten Fässern wird des Weines weniger, er zehrt, weil er durch die Poren des Holzes unmerklich verdunstet. Hängt man eine mit Branntwein gefüllte und gut verbundene thierische Blase in die Nähe eines warmen Ofens auf, so hat man in wenigen Wochen die Blase etwa nur noch halb gefüllt, aber mit starkem Alkohol, weil das Wasser durch die Poren der Blase verdunstet ist.

Unser Körper hat im Innern mancherlei Häute, welche durch ihre Poren zwar gewisse Stoffe durchlassen, andere aber zurückhalten, jenachdem auf der entgegengesetzten Seite ein Stoff ist, der die Neigung zu einer neuen Verbindung hat oder nicht.

Wird frisch geschöpftes kaltes Brunnenwasser in eine warme Stube gebracht, so zeigt sich in kurzer Zeit an den Gefäßwänden oder an einem hinein gelegten Körper eine sehr große Anzahl kleiner Luftkügelchen. Diese Luft war natürlich vorher schon im Wasser in dessen Zwischenräumen, aber wegen ihrer Dichtigkeit in so kleinen Bläschen, daß sie nicht erkannt werden konnte. Die Wärme dehnte sie aus, wobei benach-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

barte Theilchen sich mit einander verbanden, und so nahmen sie die leicht erkennbare Größe an.

In diese Poren des Wassers kann auch umgekehrt Luft geschafft werden, wie es bei der Bereitung der kohlensauren Wasser geschieht. Haben die Fische und andere Thiere in einem mit Wasser gefüllten Behälter, Aquarium, die mit dem Wasser verbunden gewesene Luft aufgezehrt, so müssen sie sterben. Sie zeigen auch eine große Angst, wenn der Zeitpunkt näher rückt und sie schnappen begierig an der Oberfläche des Wassers nach Luft. Man versieht sie daher entweder mit frischem lufthaltigen Wasser, oder bringt Luft in das alte Wasser. Dies kann geschehen, indem man atmosphärische Luft durch ein Gebläse oder Druckwerk (von unten) hineinschafft, wobei die aufsteigenden Luftblasen im Wasser etwas zurücklassen; oder daß man einen fein zertheilten Wasserstrahl, vielleicht durch einen Springbrunnen, in den Fischbehälter fallen läßt, wobei das fallende Wasser Luft mit fortreißt, oder daß man Wasserpflanzen in's Aquarium setzt, welche den für die Thiere nothwendigen Sauerstoff ausathmen, während sie von den Thieren den für sie nothwendigen Kohlenstoff bekommen. In einem solchen mit angemessenen Pflanzen versorgten Aquarium braucht das Wasser jahrelang nicht erneuert zu werden. Im Winter bedürfen die Fische in Teichen und Seen bei einer geringeren Lebensthätigkeit zwar weniger Luft, können aber derselben nicht vollkommen entbehren und daher muß man in die Eisdecke Löcher, s. g. Wuchnen schlagen, indem das Wasser schon bei der Berührung mit der Luft von derselben etwas, wenn auch wenig, aufnimmt.

Wird zu Wasser Weingeist gethan, so dringt ein Theil des letzteren in die Poren des ersteren, denn der Rauminhalt des Gemisches ist kleiner als die Summe der Raumtheile beider. Ebenso nehmen die Verbindungen zweier Metalle, die Metalllegirungen, einen kleineren Raum ein.

Wird zu Wasser Kochsalz, oder zu Weingeist ein Harz gethan, so begeben sich die Molekel des festen Körpers vorzüglich in die Poren des flüssigen, und daher kann auch ein bestimmter flüssiger Körper von einem bestimmten festen nur eine bestimmte Menge aufnehmen, z. B. 100 Theile Wasser höchstens 27 Theile Kochsalz; was mehr ist, fällt zu Boden.

Die Metalle scheinen unter allen Körpern am wenigsten porös zu sein, und dennoch dringt das in einer Kugel aus Gold völlig abgesperrte Wasser in zarten Thautröpfchen durch die Kugel, wenn man sie einem starken Drucke aussetzt.

Wenn man leere und gut zugeschmolzene Glaskugeln in das Meer bis zu einer Tiefe von 1100 Fuß etwa herabläßt oder sie dem entsprechenden Drucke einer hydraulischen Presse aussetzt, so füllen sie sich mit Wasser.

Auch der menschliche Körper hat auf seiner Oberfläche eine sehr große Anzahl von Poren, welche durch Reinlichkeit offen zu halten für

die Gesundheit unumgänglich nothwendig ist. Man schätzt ihre Anzahl auf einem Quadratzolle zu 1000, so daß ein erwachsener Mensch von 15 Quadratfuß Oberfläche deren gegen 2 Millionen haben würde. Wenn nicht etwa durch Erkältung oder andere Umstände die Poren mehr oder weniger geschlossen sind und so die Hautthätigkeit oder der Verkehr des Körpers mit der Außenwelt theilweise unterbrochen ist; so verdunstet man, namentlich bei trockener Luft, durch sie binnen 24 Stunden durchschnittlich 15840 Gran. Es ist also kein Wunder, daß man bei trockener und warmer Luft, wo unsere Verdunstung so lebhaft ist, durstig wird. Man saugt aber unter Umständen auch Feuchtigkeit aus der Luft ein, wie bei feuchten Nebeln, besonders aber während des Badens. Daher kommen die heilsamen Wirkungen der Mineralbäder, die Erfolge der Salben und anderer Einreibungen.

Es ist im praktischen Leben häufig theils aus Rücksichten für die Gesundheit, theils zur Ersparniß erwünscht, Gegenstände recht locker zu bekommen, z. B. Gebäcke oder in der Kocherei etwa Klöße. Zu diesem Zwecke versieht man den zu backenden oder zu kochenden Gegenstand entweder mit einem luftentwickelnden Stoffe, mag es nun durch Gährung, wie bei den Hefen, oder durch Auflösung, wie bei dem Natrum geschehen oder man vermengt ihn mit einem anderen, an dessen Theilen viele Luft anhaftet, wie bei dem zu Schaum geschlagenen Weißei. Auf solche Weise macht man diese Körper porös.

Zweiter Abschnitt.

Von den Zuständen der Körper.

Ruhe und Bewegung.

Es gibt für jeden Körper als Ganzes sowie für seine Molekel und Atome nur zwei Zustände, nämlich Ruhe und Bewegung. Die Ruhe ist das Festhalten des Ortes im Raume, Bewegung das Aufgeben desselben.

Die Körper sind Gruppen von Molekeln, die Molekel Gruppen von Atomen. Wenn ein Regentropfen fällt, so bewegt sich ein ganzer Körper; wenn wir sehen, daß in einem sehr engen, offenen und reinen Glasröhrchen, welches in reines Wasser gestellt worden ist, oder in einem Stück Zucker, dessen Spitze man ins Wasser getaucht hat, das Wasser darin höher steigt, als es außerhalb steht, so ist dies eine Molekularerscheinung; wenn endlich ein auf Wasser gelegtes Stückchen Kalium-Metall sich so heftig mit dem Sauerstoffe des Wassers verbindet, wobei der Wasserstoff des Wassers entweicht, daß eine Flamme entsteht, oder wenn man zu konzentrirter Schwefelsäure etwas Wasser gießt, wobei

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wärme entsteht, oder wenn aus Schwefel und Queckſilber der Zinnober gebildet wird, ſo ſind dieſe Erſcheinungen Atombewegungen.

Wir pflegen zu ſagen, daß die Sonne, abgeſehen von der in 25½ Tagen ſtattfindenden Drehung um ihre Axe, keine Bewegung habe, und daß nur die zu ihr gehörigen Haupt- und Nebenplaneten, ſo wie die Kometen ſich um ſie bewegen. Es iſt aber falſch, weil das ganze Sonnenſyſtem nach einem Zentralgeſtirn, nämlich den Plejaden, ſich bewegt, und ſo haben auch alle übrigen früher für unbewegt gehaltenen Fixſterne eine Bewegung im Weltraume.

Daraus ergibt ſich alſo, daß wir in der Natur gar keine abſolute Ruhe haben, und es wäre in der That auch Ruhe ihr Untergang oder Tod.

Wenn auch ein ganzes Haus auf ſeiner Stelle bleibt und nicht, wie es in Amerika ſchon häufig gemacht worden iſt, auf einen anderen Ort geſchafft wird, ſo iſt es doch nicht in abſoluter Ruhe, ſondern es theilt die Bewegungen der Erde und es erfährt überdies noch von jedem vorüberfahrenden Wagen oder durch Arbeiten in ſeinem Innern mehr oder minder große Erſchütterungen.

Wir können alſo nur von relativer Ruhe ſprechen, welche dann vorhanden iſt, wenn nämlich ein Körper und ſeine Theile den Ort in Beziehung auf die Orte anderer, ihn umgebender Körper nicht verändern. Wenn ein Fahrzeug ſtromabwärts in jeder Sekunde 2 Fuß fährt und ein Menſch in ihm in jeder Sekunde 2 Fuß ſtromaufwärts geht; ſo wird es einem Beobachter an dem einen Ufer ſcheinen, als ob der Menſch ruhe, denn er wird ſeine Lage, oder den relativen Ort gegen einen Gegenſtand am jenſeitigen Ufer nicht verändert ſehen. Wäre aber der Beobachter im Fahrzeuge, oder bezöge er wenigſtens den Ort jenes Menſchen auf die Gegenſtände des Fahrzeuges, ſo würde er an der Bewegung deſſelben gar nicht zweifeln, weil er erkennt, daß er ſeinen relativen Ort im Fahrzeuge verändert.

Da ſich die Ruhe und Bewegung entweder auf einen Körper als Ganzes oder auf ſeine Theile, oder auf beides beziehen kann, ſo ſind eigentlich vier Fälle denkbar. Z. B. 1) ein Dampfſchiff kann ungeheizt ruhen; 2) es kann geheizt in Bewegung ſein; 3) es kann ungeheizt fortgetrieben werden; 4) es kann geheizt und, im Innern in Bewegung, feſtgehalten werden.

Wir erkennen überhaupt nur dann Bewegung, wenn eine relative Ortsveränderung ſtattfindet, die ſich auch an den Bildern in unſerm Auge widerſpiegelt; aber darüber werden wir ſehr häufig getäuſcht, welcher von zwei Gegenſtänden ſich bewegt, und welcher in Ruhe iſt.

Sitzen wir in einem ruhenden Eiſenbahnwagen und ſehen auf einen dicht vorüberfahrenden Zug, ohne einen andern Gegenſtand anzublicken; ſo glauben wir ſelbſt in entgegengeſetzter Richtung zu fahren und halten dafür, daß der fahrende Zug ſtill ſteht. Können wir aber noch auf

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Gegenstände neben oder hinter dem fahrenden Zuge sehen, so verschwindet die Täuschung.

Aehnlich verhält es sich, wenn wir von einer Brücke herab auf einen schnell dahin fließenden Strom sehen, zumal wenn sich auf seiner Oberfläche kleinere Gegenstände befinden. Indem wir unser Auge immerfort auf neue von oben herab schwimmende Gegenstände wenden, glauben wir selbst ihnen entgegen zu kommen.

Man hat diese Täuschung auch künstlerisch verwerthet. Wenn man nämlich das Gemälde einer Küste von ziemlicher Ausdehnung langsam und regelmäßig ohne Anstoß vor einem Beschauer auf einer nachgemachten ruhenden Gondel vorüberzieht und dem Auge jeden anderen Anhaltspunkt entzieht; so glaubt man in der That eine recht angenehme Küstenreise zu machen. Das ist ein Panorama.

Die entgegengesetzte Täuschung, nämlich daß wir zu ruhen glauben, während wir wirklich in Bewegung sind, kommt vor, wenn wir auf einem glatten Wasserspiegel stromabwärts fahren und dabei die Gegenstände des einen Ufers auf Gegenstände eines entfernteren Hintergrundes beziehen. Es treten die näheren Punkte des Ufers schneller aus unserem Gesichtskreise nach hinten als die entfernteren, und deshalb scheinen die ersteren allein sich rückwärts zu bewegen, während wir zu ruhen glauben.

Die großartigste Täuschung, deren Nachweis als solche die härtesten Kämpfe gegen theologische Vorurtheile gekostet hat, findet statt, indem wir uns ohne den leisesten Anstoß auf unserm großen Erdschiffe um die Sonne bewegen und durch die Sinnestäuschung veranlaßt werden zu glauben, daß die Sonne stillsteht und die Erde, sowie die ganze scheinbare Himmelskugel, um sie sich bewegt.

Abgesehen von Täuschungen, welchen wir bei der Beurtheilung der Bewegungs- und Ruhezustände der Körper ausgesetzt sind, wird das Erkennen der wirklichen Thatsachen noch durch die Unvollkommenheiten unserer Organe erschwert. Wir wissen es z. B. mit Bestimmtheit, daß sich der Stundenzeiger unserer im Gange befindlichen Uhr bewegt, aber wir sehen die Bewegung nicht sofort, sondern erkennen sie erst nach einer längeren Zwischenzeit oder: wir wissen mit Bestimmtheit, daß die Kugel aus einem abgeschossenen Gewehre sich vorwärts bewegt, aber es ist uns unmöglich, sie fliegen zu sehen. Wir können bei einem Saiteninstrumente sehr wohl noch erkennen, daß sich eine Saite bei Angabe eines tiefen Tones bewegt; wird sie aber bei derselben Spannung sehr verkürzt und genöthigt, einen sehr hohen Ton zu erzeugen, wie etwa auf der E-Saite der Violine, so können wir ihre Bewegungen nicht mehr erkennen.

Wir können also, wie schon angedeutet worden ist, weder allzu langsame, noch allzu rasche Bewegungen noch erkennen.

Diese Bemerkung mahnt uns zur größten Vorsicht bei der Aufsuchung der Gründe für eine Erscheinung und bei der Beurtheilung des

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

thatsächlichen Vorganges derselben. Wir sehen z. B., daß ein Magnet eine gewisse Stelle eines anderen Magneten anzieht, eine andere Stelle desselben abstößt. Worin besteht der Grund für die Verschiedenheit dieser Vorgänge? — Wir wissen, daß beim Telegraphiren in dem Drahte etwas vorgehen muß; aber, welches ist dieser Vorgang? In solchen Fällen können uns nur Schlüsse aus ähnlichen Vorgängen und eine genaue Vergleichung scheinbar verschiedenartiger Erscheinungen auf die Spur helfen.

Bewegungsarten.

Läßt man einen frei gehaltenen Stein los, so bewegt er sich in einer geraden Linie nach der Erdoberfläche, und der ganze Körper, so wie jeder seiner Theile, hat eine fortschreitende Bewegung: jeder Theil verläßt seinen ursprünglichen Ort und es tritt keiner einen Rückweg an. Eine eben solche Bewegung hat ein Eisenbahnzug, welchen eine Lokomotive hinter sich schleppt. In diesem Falle kann die Bahn in einer geraden oder auch in einer krummen Linie gehen; also giebt es eine geradlinig und eine krummlinig fortschreitende Bewegung.

Bei der krummlinig fortschreitenden Bewegung kann der Körper, ohne rückgängig zu werden, auf den Anfangspunkt der Bahn kommen und dann ist sie eine cirkulirende, wie es bei einem Punkte eines Rades der Fall ist, welches sich um eine durch seine Mitte gehende feste Axe dreht. Die jährliche Bewegung der Erde um die Sonne ist auch cirkulirend; man nennt sie wohl auch die Revolution der Erde um die Sonne.

Das Pendel einer Uhr bewegt sich so, daß jeder seiner Punkte einen Kreisbogen in abwechselndem Hin- und Rückgange zurücklegt und dies ist eine schwingende Bewegung. Diese Bewegung kann auch in gerader Richtung gedacht werden. Jede tönende Saite schwingt mit ihren Theilen und als Ganzes. Eine Schwingung besteht aus dem Hin- und dem Rückgange.

Wenn ein Körper sich so bewegt, daß alle seine Theile von einer gewissen, sich nicht bewegenden Linie dieselbe bestimmte Entfernung in einer Ebene behalten und somit Kreislinien beschreiben, so ist die Bewegung eine rotirende oder eine Axendrehung, eigentlich Drehung um eine Axe, indem jene fest gedachte Linie die Axe (Drehungsaxe) heißt.

Das Stück Thon, welches der Töpfer auf seiner Scheibe drehend zu einem Gefäße formt, hat eine Axendrehung; ebenso der Körper, welcher vom Drechsler zu einem Cylinder, Kegel u. s. w. umgeformt wird; die Flügel der Windmühle, der Schleifstein des Schleifers u. s. w.

Alle Bewegungen, welche in der Natur und im praktischen Leben vorkommen, sind mehr oder weniger zusammengesetzte. Unsere Erde dreht sich täglich um ihre Axe, aber zugleich jährlich um die Sonne, mit ihr

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

fort in den Weltraum und hat mit ihrer Axe dabei noch eine kleine schwingende Bewegung, welche man Nutation nennt. — Während ein Wagen eine fortschreitende Bewegung hat, besitzen die Räder noch eine rotirende, so daß mit Ausnahme des Mittelpunktes jeder Punkt eines solchen Rades mit Beziehung auf die Bewegungen der Erde eine sechsfache Bewegung hat, abgesehen von den Schwankungen auf unebenem Boden. Bei einem gezogenen Wagen ist die drehende Bewegung eine Folge der fortschreitenden, bei einer Lokomotive ist es umgekehrt; in vielen anderen Fällen sind die drehende und fortschreitende Bewegung ganz unabhängig von einander, z. B. bei einer abgeschossenen Kugel, welche durch die Züge des Laufes in Drehung versetzt worden ist, oder bei einer Billardkugel, welche durch einen Seitenstoß beim Vorwärtsgehen sich um eine lothrechte Axe dreht.

In Buffalo sah ich, wie durch eine kleine Dampfmaschine aus einem vierkantigen Holzstücke in wenigen Minuten ein vollkommener Schuhmacherleisten gedrechselt wurde. Das Holz hatte hierbei eine drehende, eine fortschreitende und in angemessenen Zeitpunkten eine Seitenbewegung, um sich dem drechselnden Eisen darzubieten und wieder zu entziehen.

Umwandlung der Bewegungsarten.

Bei einem Spinnrade wird durch wiederholt in gleichen Zeiten auf das Tretbrett erfolgende Drucke dieses (als einarmiger Hebel anzusehende) Brett in eine schwingende Bewegung versetzt; eine daran befindliche Stange verwandelt dieselbe in eine drehende Bewegung des großen Rades; eine um den Umfang des letzteren und den Umfang einer kleineren Kreisscheibe gelegte und mäßig angelegte Schnur trägt die Bewegung des großen Rades auf diese Scheibe über, wodurch die Schnelligkeit der Umdrehung derselben vermehrt wird u. s. w. Ganz ähnlich ist die Umwandlung der Bewegungsarten bei den kleinen Schleifmaschinen.

An dem Pumpenbrunnen wird die schwingende Bewegung des Schwengels in eine gradlinig auf- und absteigende des Kolbens verwandelt.

Der Kolben oder Stempel in dem Dampfstiefel einer Lokomotive hat eine gradlinig schwingende Bewegung, die gegliederte Kolbenstange verwandelt sie durch die Art der Befestigung am großen Triebrade in eine Axendrehung dieses Rades, und die ganze Lokomotive giebt dem Bahnzuge eine fortschreitende Bewegung.

Ist das Gehgewicht einer Wanduhr aufgezogen, so hat es beim Fallen eine geradlinig fortschreitende Bewegung, die Schnur oder Kette daran bringt in dem Räderwerke eine drehende und durch den Haken eine schwingende des Pendels hervor. In den Taschenuhren ist neben

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den drehenden Bewegungen der Räder noch eine schwingende der sogenannten Unruhe.

Die fortschreitende Bewegung des Wassers oder Windes bringt durch Räderwerke und andere Maschinentheile theils drehende, theils in verschiedener Weise schwingende Bewegungen hervor: man mahlt Getreide, zerschneidet Holz, durch gerade und durch Kreissägen, zerstampft feste Gegenstände, man spinnt, man webt, es entsteht Wärme, durch welche man Wasser zum Kochen bringen könnte; der daraus entwickelte Dampf ließe sich zur Erzeugung von Elektrizität benutzen, durch diese erhielte man elektrische Funken mit Schall oder man könnte dadurch Magnete erzeugen oder das Wasser und andere zusammengesetzte Körper zersetzen. So bringt die im fließenden Wasser liegende Kraft Erscheinungen hervor, welche keine Spur von Aehnlichkeit zu haben scheinen, die wir alle aber als verschiedene Bewegungserscheinungen werden kennen lernen. Denn Bewegung eines Stoffes kann an einem anderen Stoffe wieder nur Bewegung erzeugen, nie einen neuen Stoff.

Bei Maschinen wird in diesen und in unzähligen andern Fällen entweder durch das unmittelbare Ineinandergreifen der Theile, oder durch eine Leitung mittelst einer Schnur, eines Taues, Riemens, einer Kette auf eine Entfernung, die eine Bewegungsart in die andere verwandelt. Wir können die Gründe für diese Umwandlung und für diese Wirkung auf die Entfernung aus der Form der Maschinentheile leicht erkennen und sie durch Herstellung angemessener Maschinen nach den mannigfaltigsten Bedürfnissen auch hervorbringen.

Aber wir dürfen nun nicht meinen, daß es blos solche mit großartigen Körpern vorgenommene Umänderungen der Bewegungsarten gibt, sondern können jetzt schon vermuthen, daß dieselben Verwandlungen auch bis zu den kleinsten Massentheilchen sich erstrecken werden, deren Natur, Gestalt und Bewegung im Einzelnen unserer Wahrnehmung sich entzieht.

Wird z. B. Schießpulver in einem Gewehre angezündet, so verbinden sich die Atome des Salpeters, des Schwefels und der Kohle zu einem luftigen Körper unter einer Bewegungserscheinung; dadurch wird das Geschoß fortgeschleudert und dieses bringt in dem getroffenen Körper wieder eine Bewegung hervor.

Beim Telegraphiren findet eine Atombewegung in der elektrischen Kette auf der ersten Station statt, diese geht über in eine Molekularbewegung des Kupferdrahtes und letztere wird in eine Massenbewegung eines Eisenkörpers auf der zweiten Station verwandelt.

Wenn man wohl einen Stahlstab, nicht aber einen Eisenstab in einen bleibenden Magneten, wenn man Magnetismus in Elektrizität und umgekehrt, wenn man durch Wärme beides erzeugen kann, wenn überhaupt von den fünf Erscheinungen des Schalles, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität und des Magnetismus jede nicht nur sich selbst, sondern auch jede andere hervorzubringen im Stande ist; so liegt die Ver-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

muthung sehr nahe, daß dies blos Umwandlungen der Bewegungsarten sind, welche durch die Gestalt der Atome und Molekel bei den verschiedenartigen Körpern bedingt sind.

Aber auch die Wirkung in die Entfernung verliert den Nimbus des Räthselhaften, wenn man bedenkt, daß es außer den irdischen Stoffen noch einen universalen, den Aether, gibt, welcher die Uebertragung oder Transmission bewirken kann. Wenn elektrische Fische im Wasser andere Thiere in der Entfernung todtschlagen, so bewirkt das Wasser die leicht erkennbare Uebertragung.

Wir haben hier bereits vorläufig einen Blick in die geheimsten Werkstätten der Natur gethan, welche wir in Zukunft zu erweitern, die schwierige, aber sehr interessante und dankbare Aufgabe haben.

Richtung der Bewegung.

Wenn man auf einem horizontalen Billard oder überhaupt auf einer größeren horizontalen Ebene an einem Faden eine Kugel herumschleudert und sie während der Bewegung in irgend einem Punkte ihrer Bahn losläßt; so wird sie von da nicht noch weiter fort in diesem Kreise gehen, sondern sich in der von diesem Punkte aus zum Kreise gezogenen Tangente geradlinig weiter bewegen. Schleuderte man sie in einem lothrechten Kreise in der Luft und ließe sie in einem der Endpunkte des horizontalen Durchmessers los, so würde sie lothrecht auf- oder abwärts gehen.

Jeder bewegte Körper hat das Bestreben stets in einer geradlinigen Bahn zu gehen und vollführt dies auch, wenn er nicht anders zu gehen gezwungen wird. Unter der Richtung der Bewegung verstehen wir die gerade Linie, in welcher der Körper wirklich geht, oder in welcher er gehen will, und welches bei einer krummen Bahn, die durch diesen Punkt, worin er sich gerade befindet, zu der krummen Linie gehörige Tangente oder Berührungslinie ist.

Die ganze von einem bewegten Körper durchlaufene Bahn, welche man sich, wenn sie krummlinig wäre, als gerade Linie ausgespannt denkt, nennt man den Weg des Körpers. War der Weg eine krumme Linie, so ist er größer als die Entfernung der Endpunkte der Bahn.

Zeit und Zeitmaß.

Die Zeit an sich ist, wie der Raum, unendlich: sie hat keinen Anfang und kein Ende. Wie wir uns vom Raume begränzte Theile denken können, so ist es auch bei der Zeit. Die Geschichte der Menschheit umfaßt einen außerordentlich kleinen Theil der Zeit, welcher durch die Aufeinanderfolge der Ereignisse sowohl im großen Ganzen, als auch bei einzelnen Völkern in noch kleinere Abtheilungen zerfällt. Wir würden

aber für die Größe der zeitlichen Ausdehnungen durchaus keine bestimmte Vorstellung haben, wenn wir nicht auch für die Zeit unabänderlich bestimmte Maßeinheiten annehmen wollten.

Haben wir z. B. zwei durch einen engen Kanal verbundene Glasgefäße, von denen das obere mit einer ganz bestimmten Menge recht trockenen und reinen Sandes gefüllt wird, so geht dieser Sand durch den Kanal von bestimmter Weite in einer bestimmten Zeit hindurch und wenn man auch die Gefäße umkehrt, so bleibt die Zeit dieselbe. Aenderte sich die Weite der Oeffnung und die Größe der Sandkörner, so würde sich auch die Zeit ändern, welche der Sand zum Durchlaufen bedarf.

Statt einer Sanduhr könnte man auch eine Wasseruhr einrichten, aber die dadurch gewonnenen Zeiten wären immer noch keine Normal-Zeiteinheiten, weil ihre Größe von mehr zufälligen Umständen, wie hier von der Menge und Beschaffenheit des Sandes und der Weite des Verbindungskanales, abhängig ist.

Untrüglich in ganz bestimmten und sich gleichbleibenden Zeiten wiederkehrende Erscheinungen bieten uns die Himmelskörper dar. Deswegen benutzten schon die alten Völker die Zeiten zwischen dem regelmäßigen Wechsel in der Beleuchtung des Mondes als Maßeinheiten. Später aber ermittelte man durch Vergleichung der Lage des Ortsmeridianes gegen einen bestimmten Fixstern mit recht genau gleichmäßig gehenden Uhren, welche übrigens willkürliche Zeiteinheiten angeben konnten, daß die Zeit, in welcher die Erde sich einmal um ihre Axe dreht, eine absolut unveränderliche sei. Diese Zeit, den Tag (Sterntag), theilte man durch die Uhren in 24 Stunden, jede Stunde in 60 Minuten, jede Minute in 60 Sekunden und dann nimmt man von letzteren noch Bruchtheile an.

In der Physik nimmt man die Sekunde als Zeiteinheit an. Da ein Körper nicht gleichzeitig an zwei verschiedenen Orten sein kann, so bedarf er zu seiner Bewegung stets einer Zeit, wie unbedeutend sie auch häufig selbst für sehr große Wege ist.

Geschwindigkeiten und Arten derselben.

Hätte ein Bote in 3 Tagen 15 Meilen zurückgelegt, so kämen auf jeden Tag, wenn er eine gleichmäßige Bewegung beibehalten hätte, 5 Meilen. Man pflegt zu sagen: der Bote hat eine Geschwindigkeit von 5 Meilen, indem man sich den Tag als Zeiteinheit, welche während der Zurücklegung dieses Weges verging, hinzudenkt.

Legte ein Dampfwagen in 6 Stunden einen Weg von 48 Meilen zurück, also in jeder Stunde 8 Meilen; so würde die Geschwindigkeit 8 Meilen sein, wobei aber die Zeiteinheit nicht mehr der Tag, sondern die Stunde ist.

Wollte man bei einem Rennpferde, welches im Stande ist, in jeder

Sekunde einen Weg von 60 Fuß Länge zurückzulegen, den Tag oder die Stunde als Zeiteinheit annehmen, so würde man eine zu große, also für die Auffassung ihres Werthes unbequeme Zahl bekommen; nämlich in diesem Falle für die Stunde schon 216000 und für den Tag gar 5184000 Fuß.

Da nun die in der Physik vorkommenden Bewegungen meist außerordentlich rasch vor sich gehen, so nimmt man die Sekunde als Zeiteinheit an und nennt den in ihr zurückgelegten Weg die Geschwindigkeit.

Wenn ein Körper auf seiner Bahn während aller noch so kleiner Zeiteinheiten gleiche Wege zurücklegt, so ist seine Geschwindigkeit eine gleichmäßige; wenn nicht, eine ungleichmäßige.

Wenn die Wege in jeder folgenden, auch noch so kleinen Zeiteinheit zunehmen, so ist die Geschwindigkeit beschleunigt; wenn sie aber abnehmen verzögert. Die Geschwindigkeit eines fallenden Körpers ist beschleunigt, die eines aufwärts geworfenen verzögert. Diese Beschleunigung und Verzögerung kann eine gleichmäßige oder ungleichmäßige sein, jenachdem die Zu- oder Abnahme des Weges in jeder folgenden Zeiteinheit eine bestimmte ist, oder nicht.

Hat ein Körper eine ungleichmäßige Geschwindigkeit, so ist sie in verschiedenen Punkten seiner Bahn verschieden und man versteht dann unter der Geschwindigkeit des Körpers in einem bestimmten Punkte seiner Bahn, den Weg, welchen er in einer Sekunde zurücklegen würde, wenn er von diesem Punkte an mit der darin erlangten Geschwindigkeit gleichmäßig sich weiter fortbewegte.

Ist die Geschwindigkeit eines Körpers ungleichmäßig, wie z. B. die der Erde in ihrer Bahn um die Sonne, da sie sich in der Sonnennähe, also in unserem Winter, schneller bewegt, als in der Sonnenferne; so kann man noch von einer mittleren Geschwindigkeit sprechen. Man erhält dieselbe, wenn man die Geschwindigkeiten des Körpers, die er in einer möglichst großen Anzahl von Punkten besitzt, addirt und durch die Summe dieser Zahl dividirt. Legte eine Lokomotive z. B. in der ersten Stunde 7, in der zweiten 8, in der dritten 9 Meilen zurück, so ist ihre mittlere Geschwindigkeit $\frac{7+8+9\,\text{M.}}{3} = 8$ Meilen.

Einige Beispiele von Geschwindigkeiten sind:

Wenn ein Fußgänger in 5 Stunden 3 Meilen zurücklegt,	4 Fuß
Wenn ein Wagen zu 1 Meile 50 Minuten braucht, . .	8 „
Ein gut segelndes Schiff	14 „
Wenn ein Dampfwagen in 1 Stunde 6 Meilen zurücklegt	40 „
Ein Windhund	80 „
Ein Rennpferd (englisches Maß) bis	88 „
Eine Brieftaube	120 „
Ein mäßiger Wind 10 Fuß, ein Orkan	130 „
Ein Schall in der Luft (auch eine Büchsenkugel) . . .	1024 „

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ein Punkt des Erdäquators bei der Axendrehung . . 1431,5 "
Eine 24pfündige Kanonenkugel . . . . . 2300 Fuß
Die Erde in ihrer Bahn um die Sonne . . . . 4 Meilen,
Das Licht fast . . . . . 42000 "
Die Elektrizität in einem Kupferdrahte bis . . . 62000 "

Weiß man die Geschwindigkeit eines Körpers und die zu seiner Bewegung erforderlich gewesene Zeit, in Sekunden, so gibt das Produkt aus beiden den zurückgelegten Weg. Ist z. B. eine Brieftaube mit einer Geschwindigkeit von 120′ eine Stunde geflogen, so ist der von ihr zurückgelegte Weg 60 . 60 . 120 = 432000 Fuß oder 18 Meilen.

Heißt die in Sekunden ausgedrückte Zeit Z, die Geschwindigkeit G, so ist der zurückgelegte W = Z. G.

Dritter Abschnitt.

Von den Kräften im Allgemeinen.

Begriff der Kraft.

Wenn ein Körper seine Gestalt oder seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung ändert, so muß stets eine Ursache dazu vorhanden sein, und diese Ursache nennen wir Kraft. Ein kugelrunder Gummiball z. B. bekommt nicht von selbst eine Vertiefung, er setzt sich nicht von selbst in Bewegung, wenn er auf einer horizontalen Diele liegt, er bleibt nicht von selbst an einem gewünschten Punkte seiner Bahn stehen, wenn er sich bewegt, sondern es ist in allen diesen Fällen eine Kraft dazu nöthig, und so ist es in allen anderen Fällen.

Wenn ein kleines Volumen Schießpulver beim Verbrennen in ein großes Volumen Luft sich verwandelt; wenn ein Baum während seines Wachsens mit den Wurzeln Felsenstücke absprengt; wenn das Wasser, welches ein abgesperrtes Gefäß füllt, dasselbe bei seiner Verwandlung in Eis zersprengt; wenn die kleinen Termiten ihre 10 bis 12 Fuß hohen kegelförmigen Wohnungen bauen; wenn der Dampf, das Wasser, die Luft, das Gewicht eines Körpers Maschinen in Bewegung setzen; wenn wir nach unserem Willen die Gliedmaßen bewegen und auf diese Weise selbst Veränderungen von Zuständen erzeugen können: so sind dieses Alles Aeußerungen von Kräften, die an sich wohl unsichtbar, oder überhaupt etwas Abstraktes sind; aber nie ohne Zusammenhang mit einem Stoffe erscheinen können. Wir können also die Behauptung aufstellen, daß es ohne Stoff keine Kraft gibt.

In der Physik betrachten wir solche Kräfte nicht, welche die Natur der Körper verändern oder welche die Ursache der organischen Lebensthätigkeit sind, denn sie gehören in die Chemie und Physiologie; sondern nur die Kräfte, welche das Wesen der Stoffe nicht verändern.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Werkzeuge, durch welche wir uns die Naturkräfte dienstbar machen, heißen Maschinen oder Motoren; sie sind solche, bei denen 1) die Menschen- oder Thierkraft in Anwendung kommt, 2) Dampfmotoren, 3) Wassermotoren (Wassermühlen, Wassersäulenmaschinen, hydraulische Widder, Turbine), 4) Luftmotoren (Windmühlen, calorische Maschinen, Gasmaschinen), 5) magnetoelektrische Motoren.

Bewegungsgröße.

Es entsteht nun die Frage, in welcher Beziehung die Kraft zum Stoffe steht. Wenn wir das, was sich nicht selbst in Bewegung setzt, Masse nennen, so werden gleiche Massen der Bewegung einen gleichen Widerstand entgegen setzen, und wir werden gleicher Kräfte bedürfen, um ihnen gleiche Geschwindigkeiten zu ertheilen. Liegen zwei 80pfündige eiserne Kugeln auf der horizontalen Diele, so werden die Muskelkräfte, welche erforderlich sind, um jede in einer Sekunde einen Fuß hoch zu heben, oder jede in der ersten Sekunde durch drei Fuß zu rollen, gleich sein.

Die doppelte Masse oder eine doppelte Menge von Stofftheilchen einer gewissen Art und Größe bedarf auch einer doppelten Kraft, um ihr die Geschwindigkeit der einfachen Masse zu geben, weil ja jedes Stofftheilchen an der Bewegung theilnehmen soll und jedes einer gleichen Anregung bedarf. So ist es weiter für jedes andere Massenverhältniß, so das wir sagen können:

die Kräfte verhalten sich wie die Massen, welchen sie gleiche Geschwindigkeit ertheilen.

Eine bestimmte Kraft wird einer bestimmten Masse auch nur eine bestimmte Geschwindigkeit zu ertheilen im Stande sein; sollte die Geschwindigkeit verdoppelt werden, so dürfte nur die halbe Masse vorhanden sein, oder es müßte bei der ursprünglichen Masse die Kraft verdoppelt werden, und so können wir überhaupt sagen:

die Kräfte verhalten sich wie die Geschwindigkeiten, wenn sie gleichen Massen ertheilt werden sollen.

Aus den beiden aufgestellten Gesetzen ergibt sich nun, daß das Verhältniß zweier Kräfte aus den geraden Verhältnissen der Massen und der ihnen erheilten Geschwindigkeiten zusammengesetzt ist, oder allgemein das Gesetz:

daß sich die Kräfte verhalten wie die Produkte der Massen und ihrer Geschwindigkeiten.

Wir müssen somit auf gleiche Kräfte zurückschließen, wenn die Produkte der Massen und der ihnen zukommenden Geschwindigkeiten gleich sind.

Wird einer dreifachen Masse die doppelte Geschwindigkeit von der,

welche die einfache Masse besitzt, ertheilt; so kann dies nur von einer Kraft geschehen sein, die das Sechsfache der ersten ist.

Wenn zwei Kräfte vorhanden sind, von denen die eine die Masse 3 auf die Geschwindigkeit 4 bringt, während die andere die Masse 6 zur Geschwindigkeit 2 anregt; so müssen wir diese Kräfte als gleich ansehen. Statt dessen könnten auch die Massen 4 und 2 die Geschwindigkeiten beziehungsweise 3 und 6 haben. In solchen Fällen, d. h. für gleiche Kräfte, verhalten sich die Massen stets wie umgekehrt die Geschwindigkeiten.

Es hängt also die Kraft eines bewegten Körpers von dem Produkte, aus seiner Masse und Geschwindigkeit ab und dieses Produkt heißt seine Bewegungsgröße.

Dauer und Stärke der Einwirkung einer Kraft.

Zur Entwickelung der obigen Gesetze ist die Vorstellung festzuhalten, daß die Kräfte zu ihrer Einwirkung auf den zu bewegenden Körper nur eines außerordentlich kleinen, gewissermaßen untheilbaren Zeittheilchens bedurften und dann zu wirken aufhörten. Annähernd würde dies z. B. der Fall sein, wenn beim Abschießen eines Gewehres die Kugel an dem äußersten Punkte des Laufes angelangt ist und nun durch die Kraft der im Laufe enthaltenen Gase fortgeschleudert wird oder wenn ein Billardspieler einen Ball recht geschickt stößt ohne im Geringsten mit dem Stabe hinter ihm herzufahren.

Kräfte, welche in dieser Weise wirken, heißen momentane und sie treiben, wenn es andere Kräfte nicht verhindern, das Bewegliche, ohne daß es eines neues Antriebes bedarf, in gleichen Zeiten durch gleiche Wege oder ertheilen ihm in alle Ewigkeit eine gleichmäßige Geschwindigkeit.

Daß eine auf der Kugelbahn hingerollte Kugel ihre ursprüngliche Geschwindigkeit nicht behält, sondern immer langsamer geht, liegt nur daran, daß sie theils an der Luft, welche sie beim Vorwärtsgehen aus dem Wege drängen muß, theils an den Unebenheiten der Bahn, und wäre sie auch noch so sorgfältig bereitet, Widerstände findet.

Man kann sich ferner eine Kraft denken, welche zu wirken niemals aufhört und dann heißt sie eine fortwährende oder kontinuirliche. Ist z. B. das Gehegewicht einer Wanduhr aufgezogen, so wirkt es während seines Fallens fortwährend als bewegende Kraft auf das Uhrwerk. Ebenso wirkt stets fließendes Wasser auf das von ihm getroffene Mühlrad als kontinuirliche Kraft.

Wenn die Geschwindigkeit und die Menge des ein Mühlrad stoßenden Wassers fortwährend dieselbe bliebe, so hätten wir ein Beispiel von einer sich gleichbleibenden beständigen oder konstanten Kraft.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eine fortwährend wirkende Kraft können wir uns aber auch noch in der Zu- oder in der Abnahme begriffen, also veränderlich denken, wie wenn der Wind mit größer oder geringer werdenden Geschwindigkeit auf die Flügel einer Windmühle trifft. Diese Veränderlichkeit kann nun noch eine in bestimmten Regeln sich haltende oder eine unregelmäßige sein.

Endlich kann noch die Richtung der Kraft in Beziehung auf die Richtung des bereits in Bewegung begriffenen Körpers fortwährend dieselbe sein oder fortwährend sich ändern.

Aus dem Zusammentreffen dieser verschiedenen Umstände entstehen die bereits früher erwähnten verschiedenen Arten von Geschwindigkeiten und Bewegungen, worauf wir aber erst bei den einzelnen Erscheinungen näher eingehen werden, um dem Verständnisse nicht unnütze Schwierigkeiten zu bereiten.

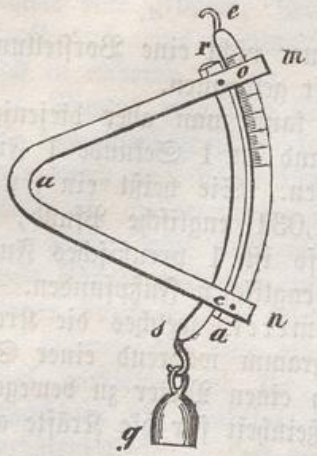
Nur dann, wenn Kräfte entweder augenblicklich (momentan) oder während gleicher Zeiten beständig (konstant) wirken, verhalten sie sich wie die Bewegungsgrößen.

Maß der Kräfte.

Die Bewegung ist nichts Körperliches, sie ist ohne Körper kraftlos; die Kraft ist also, wie wir wissen, von dem Körper unzertrennlich. Es liegt nun im praktischen Leben das Bedürfniß nahe, die Größe der Kräfte beurtheilen zu können. Dies sind wir nur dann im Stande, wenn wir Maße für sie annehmen, denen selbst wir eine ganz bestimmte Vorstellung zum Grunde legen.

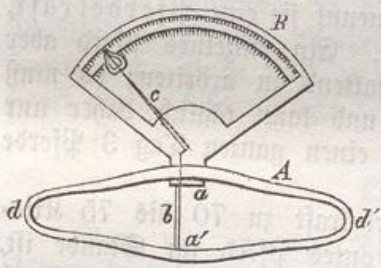
Wenn wir die Kraft eines Menschen wollen kennen lernen, so können wir hierbei verschiedene Zwecke im Auge haben; z. B. wie viel er dem Gewichte nach auf dem Kopfe, auf den Schultern, auf dem Rücken, in der Hand während einer gewissen Zeit und durch einen gewissen Weg zu tragen im Stande ist, oder welche Kraft er beim Schlagen mit der Faust ausübt, oder wie viel er Last auf irgend eine Weise zu ziehen vermag, oder wie groß der Widerstand ist, der beim Hobeln, Feilen, Sägen, Pumpen, beim Ziehen z. B. eines Pfluges in verschiedenem Erdboden bei bestimmter Tiefe dargeboten wird und zu überwinden ist. Alle diese Angaben sind aber zu unbestimmt, als daß man mit ihnen andere Kräfte genau vergleichen und ihren Werth bestimmen könnte.

Man hat allerdings zur Beurtheilung solcher Verhältnisse verschiedene Kraftmesser oder Dynamometer angegeben. Ein ganz einfacher besteht aus einer starken winkelförmig gebogenen Stahlfeder mun (Fig. 16); gegen die Oeffnung des Winkels sind zwei bogenförmige Metallstreifen ae und sr angebracht, von denen der erstere an dem Schenkel un bei a, der andere an dem Schenkel um bei r befestigt ist; das andere Ende dieser Streifen geht lose durch Schlitze der Stahlfeder



(Fig. 16.)

bei o und c und ist mit einem Ringe oder Haken bei e und s versehen, um bei e die Vorrichtung aufzuhängen und bei s eine Kraft wirken zu lassen. Zieht nun bei s eine Kraft g, z. B. ein Gewicht herab, während e fest angehängt ist, so werden die beiden Schenkel der Stahlfeder einander um so mehr genähert, je stärker die Kraft wirkt und der Streifen ae tritt mit seinem losen Ende mehr und mehr hervor. Man kann demnach an diesem Ende Theilstriche anbringen, welche das angezeigte Gewicht angeben und somit dann auch die Größe einer jeden anderen bei s angebrachten Kraft auf Gewichte beziehen. Dergleichen Vorrichtungen lassen sich nun bei verschiedenen Arbeitsmaschinen anbringen, um die Größe der dabei wirkenden Kräfte zu beurtheilen.



(Fig. 17.)

Ein für den Druck und Zug eingerichteter Kraftmesser ist der von Régnier Fig. 17. Er besteht aus einem länglich runden Stahlbügel A, der kleinere Durchmesser ist ein Stäbchen b, welches an dem einen Ende festsitzt und mit dem anderen auf einen drehbaren Zeiger c stößt, dessen Ende einen eingetheilten Kreisquadranten B trifft.

Will man die Muskelkraft der Hände prüfen, so umfaßt man das Instrument quer, drückt es zusammen, wodurch die Punkte a und a' einander näher kommen und der Zeiger c durch das Stäbchen b fortgeschoben wird. — Will man die Zugkraft z. B. der Schenkel bestimmen, so befestigt man es bei d, bringt bei d' einen Riemen zum Ziehen an, wodurch die Feder um so mehr in die Länge gezogen und um so schmaler wird, je kräftiger der Zug wirkt.

Die Kraft der Hände eines erwachsenen Mannes beträgt durchschnittlich 90 bis 100 Pfunde, die Zugkraft der Schenkel aber mindestens 300 Pfunde; bei Manchen bis 1000 Pfunde.

Nach vielen in England angestellten Versuchen beträgt die Kraft eines guten Pferdes beim Ziehen eines Pfluges durchschnittlich 163 englische Pfunde mit einer Geschwindigkeit von 2,5 englischen Meilen in einer Stunde.

Wenn die Tragfähigkeit eines Menschen 1 gesetzt wird, so trägt ein starker Hund auch 1, das Rennthier 3, ein Esel 4, ein Pferd oder Maulthier 8, ein Dromedar 25, ein Kamel 31, ein Elephant 147.

Für das horizontale Ziehen sind die relativen Kräfte: der Mensch 1,

der Hund 0,6, das Rennthier und der Esel 2, das Maulthier und das Pferd 7, der Ochs 4 bis 7.

Durch solche Angaben ist aber noch immer nicht eine Vorstellung von der absoluten Leistungsfähigkeit einer Kraft gewonnen.

Als ein Maß für die Kräfte überhaupt kann man aber diejenige Kraft ansehen, welche im Stande ist, 1 Pfund in 1 Sekunde 1 Fuß hoch mit gleichmäßiger Geschwindigkeit zu heben. Sie heißt ein Fußpfund. — Da 1 preußisches Pfund = 1,031 englische Pfund, 1 preußischer Fuß = 1,029 englische Fuß ist; so ist 1 preußisches Fußpfund gleich $1{,}031 \times 1{,}029$ d. i. = 1,061 englischen Fußpfunden. — In Frankreich hat man das Millegrammometer, welches die Kraft bedeutet einen Widerstand von einem Millegramm während einer Sekunde mit gleichmäßiger Geschwindigkeit durch einen Meter zu bewegen, oder auch das Kilogrammometer als Maßeinheit für die Kräfte angenommen.

Um für Maschinen von bedeutender Wirksamkeit nicht allzugroße Zahlen zu bekommen, nimmt man noch eine größere Krafteinheit an, nämlich eine Kraft, welche 500 Pfunde binnen 1 Sekunde 1 Fuß hoch mit gleichmäßiger Geschwindigkeit hebt und nennt sie eine Pferdekraft, wozu im Mittel 6 Menschenkräfte gehören. Ein einzelnes Pferd aber ist nicht im Stande mit dieser Kraft anhaltend zu arbeiten; es muß nach 2 Arbeitsstunden 4 Stunden ruhen und kann täglich daher nur 8 Stunden so arbeiten, so daß man für einen ganzen Tag 3 Pferde oder 18 Menschen zum Abwechseln bedarf.

In Frankreich nimmt man eine Pferdekraft zu 70 bis 75 Kilogrammetern an oder nimmt an, daß ein gutes Pferd im Stande ist, während jeder Sekunde einen Widerstand von 70 Kilogrammen durch den Raum von einem Meter zu überwinden.

Die Leistungen von Dampfmaschinen werden in der Regel nach Pferdekräften angegeben; nur daß man dabei eine Pferdekraft zu 75 Kilometern annimmt; aber man kann ihre Wirkungen, wie wir sehen werden, auch aus der Menge des verbrauchten Wassers oder des Feurungsmateriales beurtheilen, welches für sie das Futter ist, wie der Hafer und das Heu fürs Pferd, durch deren Verwandlung es ja auch seine Kraft bekommt. Es ist nicht weniger unpassend, wenn man sagt: das Futter des Pferdes zieht den Wagen, als wenn es heißt: der Dampf bewegt den Eisenbahnzug.

Wenn eine bestimmte Masse nicht durch eine momentane, sondern durch eine bestimmte, fortwährend wirkende und sich gleichbleibende Kraft nach einer Sekunde eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hat, so kann auch diese Geschwindigkeit als Maß für die beschleunigende Kraft dienen. Wenn man z. B. mit der Hand an dem Umfange eines um seine Axe drehbaren Rades in gleichen Zeittheilchen gleich starke Drehungsstöße macht, so hat das Rad z. B. nach 1 Sekunde eine gewisse Geschwindigkeit;

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

werden ebenso viele kräftigere Stöße gemacht, so ist auch die Geschwindigkeit eine größere, stets indeß für eine bestimmte dauernd wirkende Kraft auch eine bestimmte. Ebenso ist es beim Fallen eines Körpers und in anderen Fällen.

Nimmt man nun für verschiedene Kräfte dasselbe Maß an, so läßt sich das Verhältniß derselben entweder durch zwei unbenannte Zahlen oder durch zwei grade Linien ausdrücken, welche anzeigen, wie oft diese Kräfte die angenommene Maßeinheit in sich enthalten.

Hätte man zwei momentan wirkende Kräfte, von denen die eine einen Körper während einer Sekunde durch 3 Fuß, die andere denselben Körper durch 4 Fuß triebe, so würde man zwei grade Linien zeichnen, von welchen die eine eine ganz beliebige Maßlinie 3mal, die andere 4mal enthielte und ihr Verhältniß stellt das der beiden Kräfte dar. Jenachdem die Maßlinie klein oder groß ist, sind es auch die beiden Verhältnißlinien. Hat man nun noch eine beliebige dritte Linie, die eine auf dasselbe Maß sich beziehende Kraft darstellt; so kann man leicht die wirkliche Größe der durch diese Linie dargestellten Kraft bekommen. Man darf nämlich nur untersuchen, wie oft die für die Krafteinheit angenommene Maßlinie in der dritten Linie enthalten ist. Stellte die Maßlinie z. B. eine Pferdekraft dar, und wäre sie in der dritten Linie 5mal, ohne einen Rest zu lassen, enthalten; so stellte diese Linie eine Kraft von 5 Pferden dar.

Lebendige Kraft.

Wenn wir an einer Schnur ein Stück Metall oder einen anderen Körper so halten wollen, daß er in Ruhe ist, so müssen wir eine nach oben wirkende Ziehkraft anwenden, welche gleich ist der nach unten wirkenden Kraft des Körpers. Es halten dann die beiden gradlinig entgegengesetzt wirkenden Kräfte einander das Gleichgewicht. Der angehängte Körper zeigt unstreitig eine Kraft, aber diese Kraft verrichtet keine Arbeit, oder sie bringt keine Veränderung in der Gestalt und dem Zustande eines anderen Körpers hervor.

Wenn aber die haltende Kraft den Körper aufwärts bewegt, so ist sie eine Arbeitskraft und, wenn bestimmt ist, durch welchen Weg die gewisse Masse gehoben wird, so kennen wir die Arbeitsgröße. Durch die Bewegung erhält ein Körper das Vermögen, eine Arbeit zu verrichten und daher heißt die darin liegende Kraft die lebendige Kraft.

Legen wir als Maß der Kraft das Fußpfund zum Grunde und soll eine Kraft einen Widerstand von 8 Pfunden auf einen Fuß Länge überwinden, so muß sie eine 8 Mal größere Wirksamkeit haben und, sollte sie denselben Widerstand von 8 Pfunden auf 3 Fuß Länge überwinden, so müßte die Wirksamkeit der Kraft 24 Fußpfunde betragen. Daraus folgt:

daß die Arbeitsgröße das Produkt des Widerstandes (oder der Kraft) und des Weges ist,

wobei es auf die Zeit nur insofern ankommt, als für eine kürzere Arbeitszeit die Kraft größer sein muß; ob nämlich z. B. ein Arbeiter einen Scheffel Korn zu einer gewissen Höhe in 3 oder in 5 Minuten trägt, und ob er einen mehr oder weniger steilen Weg zurücklegt, ändert die Arbeitsgröße nicht.

Die Wirkungen zweier Kräfte sind also gleich, wenn die Produkte der Widerstände und der zu ihnen gehörigen Wege gleich sind. Hat z. B. Jemand 10 Pfunde 5 Fuß hoch gehoben, so hat er dieselbe Arbeit verrichtet, als wenn er auf einer Eisenbahn 400 Pfunde 25 Fuß weit gezogen hätte, da auf der Eisenbahn der Reibungswiderstand der 200ste Theil von der Last, also hier zwei Pfund ist und somit in beiden Fällen die Arbeit 50 Fußpfunde beträgt. $(5.10 = 25.2)$.

Wir können auch aus der Arbeitsgröße bei Maschinen auf die Arbeitskraft zurückschließen. Soll auf einer Mühle eine bestimmte Menge Korn zu Mehl von bestimmter Beschaffenheit gemahlen werden, so kann dies geschehen durch die Kraft des wehenden Windes, des fließenden Wassers, durch ein Roßwerk, durch eine Dampfmaschine u. a. In allen Fällen ist die Arbeitsgröße dieselbe, gleichgiltig in welcher Zeit das Mehl zustande gebracht ist, und so ist auch die Arbeitskraft dieselbe. In je kürzerer Zeit die Arbeit von einer Maschine geschieht, desto besser oder wirkungsfähiger ist sie. Die Wirkungsfähigkeit einer Kraft heißt lebendige Kraft, weil sie eine ebensogroße Arbeit erzeugen kann, als die war, aus welcher sie entstanden ist.

Es ist wichtig, daß die Begriffe: Bewegungsmoment, Arbeitskraft und Arbeitsgröße nicht verwechselt werden.

Durch Maschinen bezweckt man eine gegebene, als Produkt angesehene Arbeitsgröße auf zweckmäßige Weise in andere Faktoren zu zerlegen und dadurch, wenn auch mit einigem Verluste, praktisch brauchbar zu machen. An einer zusammengesetzten Maschine sind drei Haupttheile zu unterscheiden:

1) die Kraftmaschine zur Aufnahme der Kraft, z. B. des Dampfes,
2) die Arbeitsmaschine zur unmittelbaren Erfüllung des Zweckes, z. B. zum Mahlen des Kornes die rotirenden Steine,
3) die Zwischenmaschine (Transmission) zur Vermittelung beider, also zur Verwandlung der Bewegungsarten und Uebertragung der Kraft (die gezahnten Räder und Riemenscheiben mit den Riemen).

Die lebendige Kraft, welche in der beim Niagarafalle unten ankommenden Wassermasse liegt, übertrifft bei weitem die aller bisher auf der Erde vorhandenen Maschinen zusammen und die lebendige Kraft der Sonnenstrahlen, welche die Verdunstung der Gewässer auf der Erdoberfläche bewirkt, übertrifft bei weitem die Arbeitskraft aller arbeitsfähigen Menschen auf der Erde.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Erhaltung der lebendigen Kraft.

Wenn ein Stein irgendwo ruhig liegt, so übt er verfahrungsmäßig einen Druck auf seine Unterlage aus; es liegt also in ihm eine Kraft, aber diese Kraft erzeugt keine Bewegung oder Aenderung des Zustandes, es ist keine lebendige Kraft.

Wenn aber der Stein M sich ohne Wiederstand fortbewegen kann, so gibt ihm die Kraft eine gewisse Geschwindigkeit, die ihn durch einen gewissen Raum R treibt und er ist dann geeignet einen gewissen Widerstand m auf einem gewissen Raum r zu überwinden, bis er zur Ruhe gekommen ist, wobei dann die Produkte aus den durch die Massen angegebenen Widerständen und den Räumen einander gleich sind, nämlich $m.r = M.R$ ist.

Ist der bewegte Stein durch den Widerstand zur Ruhe gebracht, so hat er zwar die ihm mögliche Arbeit vollendet; aber seine lebendige Kraft ist nicht verloren gegangen, denn sie ist in der neuen Masse enthalten.

Ist eine Uhr mit Gewichten oder Federn aufgezogen worden, so gibt sie diese in kurzer Zeit verrichtete Arbeit während der ganzen Zeit ihres Gehens wieder.

Die beim Füllen einer Windbuche angewendete Arbeit erscheint als Kraft bei den abgeschossenen Kugeln.

Hat man eine Reihe gleichgroßer Elfenbeinkugeln so aufgehängt, daß ihre Mittelpunkte in derselben geraden Linie liegen und läßt man die erste in dieser Richtung auf die ruhende Reihe der übrigen fallen, so springt die letzte mit derselben Geschwindigkeit ab, mit welcher die erste auffiel (es könnten hierbei auch blos zwei Kugeln sein); läßt man zwei Kugeln auffallen, so springen auch zwei ab u. s. f. Hat von zwei solchen Kugeln die aufspringende 10 mal mehr Masse, als die getroffene, so geht diese mit der 10fachen Geschwindigkeit von jener fort.

Wenn auf eine recht leicht bewegliche Masse von 1 Zentner (3000 Lothen) eine Kugel von 1 Loth geschossen wird und jene Masse dadurch eine Geschwindigkeit von ½ Zoll erhielte, so würde die Geschwindigkeit der abgeschossenen Kugel müssen 1500 Fuß gewesen sein, weil $\frac{1}{2}.3000 = 1.1500$ ist.

Wird ein Körper von einem Punkte aus lothrecht aufwärts geworfen, so hat er in einem gewissen Höhepunkte seine ganze Kraft verloren, aber er hat sie genau wiedererlangt, wenn er zurück im Ausgangspunkte angekommen ist; die Kraft, welche den Körper warf, ist also nicht verloren gegangen.

Ist ein Körper auf eine recht elastische, mit ihrer Axe lothrecht gestellte Spiralfeder in der Richtung der Axe gefallen, und hat er dadurch seine Geschwindigkeit verloren, so erlangt er sie durch die Rück-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wirkung der Feder wieder und wird zum Ausgangspunkte zurückgeworfen.

Gleitet auf der Straße ein Lastwagen beim Fahren von einem Steine auf einen andern, so ist seine lebendige Kraft nicht verloren gegangen, denn die Bewegung der benachbarten Steine und Häuser zeigt sie.

Wenn ein Flußbett sich verengt, so wird das Wasser in der engen Stelle so schnell strömen, daß die lebendige Kraft des Wassers in den Querschnitten beider Stellen, der breiten mit langsamer Strömung und der schmalen mit schneller einander gleich ist.

Hat man zwei gleich weite Handspritzen mit ungleich weiten Springröhren und stößt man in beiden den Stempel mit gleicher Kraft auf das Wasser, so springt es aus der engeren Röhre weiter, als aus der weiteren, denn es muß zum kleineren Querschnitte der Röhre die größere Geschwindigkeit des Wassers gehören. Wäre z. B. 12 das Maß der stoßenden Kraft, und verhielten sich die Querschnitte wie 2 zu 3, so würden die Geschwindigkeiten der Wasserstrahle sich wie 6 : 4 verhalten. Die Arbeit der Kraft ist dieselbe, nämlich 2 . 6 oder 3 . 4.

Leitet man Elektrizität durch einen Eisendraht mit abwechselnd dicken und dünnen Stellen, so werden die dicken bei einer gewissen elektrischen Kraft nur warm, während die dünnen glühen; aber das Bewegungsmoment ist in beiden gleich.

Wenn eine Eisenstange durch die aus 1 Pfund Steinkohlen erhaltene Wärme um 0,03 Meter oder 0,095 rhl. Fuß ausgedehnt wird und dabei einen Widerstand von 8000 Kilogrammen oder 17104 Pfunden überwindet, so ist die Wirkung der Kohle 8000 . 0,03 = 240 Kilogrammeter oder 16249 Fußpfunde. Statt dessen hätte dieselbe Menge Kohle zur Verwandlung von Wasser in Dampf können verwendet werden, und dieser müßte dieselbe Arbeit geben.

Sowie Dampf eine gewisse Arbeit verrichtet hat, so enthält er genau so viele Wärme weniger, als der geleisteten Arbeit entspricht.

Fällt ein 10pfündiger Hammer 13500 mal 1 Fuß hoch auf einen Eisenkörper, so erzeugt er so viele Wärme, daß dadurch ein Pfund Wasser von 0^0 auf 100^0 (zum Kochen) erwärmt werden kann, oder: 1350 Pfund Wasser, welche 1′ herabfallen, können 1 Pfund Wasser von 0^0 auf 1^0 erwärmen und die zu dieser Temperaturerhöhung verbrauchte Wärme ist im Stande 1350 Pfund Wasser 1′ hoch zu heben, oder eine mit 1350 Pfund beschwerte Eisenstange so zu strecken, daß 1350 Pfund 1′ hoch durch sie gehoben werden, gerade als wenn sie durch Wärme erwärmt würde, die im Stande war, 1 Pfund Wasser von 0^0 auf 1^0 zu erwärmen.

Die Elektrizität, welche im Stande war, 1 Pfund Wasser um 1^0 wärmer zu machen, wird bei der Zerlegung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff gerade so viel Wasserstoff liefern, daß beim Ver-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

brennen oder Verbinden desselben mit dem Sauerstoffe gerade so viele Wärme entwickelt wird, um dadurch 1 Pfund Wasser um 1° zu erwärmen.

Ebenso wird die Elektrizität, welche durch den von ihr erwärmten Leitungsdraht 1 Pfund Wasser von 0° auf 1° erwärmt, einen Elektromagneten erzeugen, welcher 1350 Pfunde auf 1' hoch hebt.

Die in den Sonnenstrahlen vorhandene lebendige Kraft geht nicht verloren, denn wenn sie z. B. im Sommer den mit Bewegung verbundenen Stoffwechsel bei der Vegetation der Pflanzen erregt, so werden die Pflanzen dadurch eine Vorrathskammer der Sonnenwärme, die wir beim Verbrennen der Pflanzen erhalten und die wir wieder in lebendige Kraft verwandeln können, wie es bei einer Dampfmaschine geschieht.

Wenn wir uns an der durch die Steinkohlen erzeugten Wärme erfreuen, so nutzen wir die lebendige Kraft der Sonne, welche sie vor Millionen von Jahren auf die Erde übertrug.

Diese lebendige Kraft der Sonnenstrahlen ist es auch, welche die Landleute im Sommer während der Erndte ungeachtet der geringen für den Schlaf gegönnten Zeit so arbeitsfähig erhält.

Es ist ein durchaus falsches Vorurtheil zu glauben, daß die Sonnenstrahlen uns abschwächen. Gleichwie Pflanzen, welche im Dunkeln gewachsen sind, kränkeln, ja sogar eingehen, wenn sie einem stärkeren Lichtreize ausgesetzt werden, so ist es mit den Stubenmenschen, die sich nur zeitweise der Sonne allzusehr aussetzen. Die Neger haben ihre ungemein große körperliche Energie vorzüglich der Sonne zu danken.

Bei dem thierischen Körper sind die Muskeln das Kraftmagazin, welches durch den Stoffwechsel der genossenen Nahrung gespeist wird und von welchem wir sogar auch bei der Bewegung jedes Gliedes, selbst ohne eine Arbeit zu verrichten, zehren, natürlich aber um so mehr, je größer die geleistete Arbeit ist.

Daß dieser mit Atombewegung verbundene Stoffwechsel der aufgenommenen Nahrung auch zur Entwickelung des Körpers und zur Erzeugung der Wärme dient, darf wohl kaum erst erwähnt werden.

Ist der Kräftevorrath aufgezehrt, so müssen wir der Atombewegung beim Stoffwechsel der genossenen Nahrung Zeit gönnen und wohl auch neue Nahrung aufnehmen, ehe wir dem Körper neue Leistungen zumuthen können.

Es wäre, wie schon angedeutet worden, sehr wohl zu rechtfertigen, wenn wir, indem wir ein Pferd einen Wagen ziehen sehen, sagten: Hafer, Heu, Wasser und Luft ziehen den Wagen. Der Stoffwechsel füllt das Magazin der lebendigen Kraft.

Wenn die Puppen der Gliederthiere eine fortschreitende Bewegung haben, so wollen und müssen sie auch Nahrung genießen, weil durch die Bewegung Stoff verbraucht ist. Im Winterschlafe bedarf das Thier keiner Nahrung und nur die warmblütigen verzehren dabei von ihrem Körper-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

inhalte um so mehr, je geringer der Schlaf ist, indem dabei die Wärme an die Umgebung allmählig verloren geht. Daß Menschen, welche sich die nothwendige Bewegung nicht machen, einen Ueberfluß von Stoff ohne entsprechende lebendige Kraft ansetzen, ist ebenso bekannt, als natürlich.

Wenn eine eiserne Kanonenkugel von 12 Pfunden und 1000 Fuß Geschwindigkeit nicht dieselbe Wirkung auf einen von ihr getroffenen Körper hat, wie eine Eisenmasse von 1000 Pfunden und 12 Fuß Geschwindigkeit oder wie eine Lavine und ein Felsen ungeachtet gleicher Bewegungsmomente, so liegt dies daran, daß die Wirkungsfähigkeit, d. i. die lebendige Kraft, von dem Produkte der Masse und des Quadrates der Geschwindigkeit abhängig ist. Es können auch gleiche Bewegungsmomente durch ungleiche bewegende Kräfte entstanden sein, wenn diese nämlich ungleiche Massen während verschiedener Zeiten allmählig in Bewegung setzten.

So wenig wie der Stoff, kann die Kraft aus nichts erzeugt werden. Es ist in der Welt eine gewisse Summe von Kräften, wie von Stoffen vorhanden gewesen, noch vorhanden, wird vorhanden sein und kann durch nichts vermehrt werden. Ueberall in der ganzen Natur geschehen nur Umwandlungen von Stoffen und Bewegungsarten durch den ewigen Kampf der Kräfte, welche vereinen und trennen, anziehen und abstoßen wollen. Da aber die Trennung, welche als eine Abstoßung erscheint, nur aus der Neigung zur Verbindung oder Assimilation mit einem Zweiten hervorgeht, so können wir alle Erscheinungen auf das Bestreben nach Einheit zurückführen.

Wir können durch Anwendung mechanischer Mittel wohl die Wirkungsweise einer Kraft umformen, nie aber sie selbst erzeugen, vergrößern oder vernichten. In demselben Maße, in welchem wir z. B. an Muskelkraft sparen, müssen wir an Zeit aufwenden. Es ist natürlich, daß wir hierbei in Betreff der Maschinen nicht blos die wirkliche nutzbare Leistung, sondern auch die durch die Reibungswiderstände erzeugte Wärme, welche freilich für die meisten vorliegenden Zwecke nicht nur unbrauchbar, sondern sogar nachtheilig ist, als Wirkung in Anrechnung bringen müssen. Die nutzbare Leistung und die unnutzbare Wärme stehen im umgekehrten Verhältnisse, d. h. je größer die Reibung, desto größer die Wärme und desto kleiner die Leistung einer Arbeitsmaschine.

Ueberall steht der Verlust an lebendiger Kraft in gleichem Verhältnisse mit der ganzen geleisteten Arbeit.

Es war eine traurige Geistesverirrung, wenn sich Leute abquälten, Maschinen bauen zu wollen, welche Kraft aus sich selbst erzeugen sollten, was freilich ein großer Gewinn für die Menschheit wäre. Das Perpetuum mobile kann eben so wenig erfunden werden, als es möglich ist den Kreis zu quadriren. Es würde nicht heutzutage noch Menschen geben, die sich mit solchen unfruchtbaren Arbeiten um den Verstand

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

bringen, wenn sie sich etwas mehr bemühen wollten, die einfachsten Naturgesetze kennen zu lernen. Ich will beispielsweise anführen, auf welche Weise vor nicht gar langer Zeit ein polnischer Gutsbesitzer seinen See austrocknen wollte. Er ließ ein Wasserrad mit Schöpfern bauen und nebenan fast in der Höhe des Rades einen großen hölzernen Wasserbehälter. Nun glaubte er, daß er den Behälter durch Menschenhände nur einmal vollzupumpen brauche, um dann die Maschine für immer dadurch im Gange zu erhalten, daß das durch einen Theil dieses Wassers einmal in Bewegung gesetzte Rad theils das verbrauchte Wasser im Behälter ersetzen, theils einen anderen Theil des geschöpften Wassers durch eine noch etwas hoch gelegene Rinne aus dem See fortführen werde.

Daß das Prinzip der Erhaltung der lebendigen Kraft nicht nur für das ganze Maschinenwesen und praktische Leben überhaupt, sondern für die tieferen Forschungen in dem Naturleben von der größten Bedeutung ist, darf wohl kaum erst erwähnt werden.

So felsenfest das Prinzip auch steht, so schwierig ist es oft dasselbe bei der Umwandlung der Erscheinungsformen in Rechnung zu bringen und es wird noch für späte Zeiten den größten Geistern einen eben so anziehenden als dankbaren Stoff gewähren.

Wirkung auf die Entfernung.

Wenn wir in einen Saal kommen, in welchem Hunderte von Webestühlen in scheinbar selbstständiger Thätigkeit Zeuge anfertigen und bei jedem einen Knaben oder ein Mädchen nur damit beschäftigt sehen, von Zeit zu Zeit eine neue Spule einzulegen oder den zerrissenen Faden zusammenzuknüpfen; so übermannt uns, wenn wir den inneren Zusammenhang noch nicht kennen, ein mit einem heiligen Schauer und mit Bewunderung verbundenes Gefühl. Bei genauerer Prüfung finden wir, daß eine Kraftmaschine mittelst Riemen und Riemenscheiben auf die Entfernung wirkt. Es ist dies eine Uebertragung oder Transmission von Maschine zu Maschine, nämlich von der Kraftmaschine zur Arbeitsmaschine.

Sieht man, wie in einer Mühle ein Beutel, in welchen zerriebene Getraidekörner fallen, fortwährend geschüttelt wird, um Mehl durchfallen zu lassen, und forscht man der ersten bewegenden Ursache nach, so findet man sie in einem fließenden Gewässer, in einem wehenden Winde u. s. w. Es ist die lebendige Kraft des Wassers übergetragen durch die Maschinentheile selbst, welche unmittelbar in einander eingreifen.

In beiden Fällen sind also Zwischenkörper vorhanden, welche an der Bewegung theilnehmen, sie aber auf mannigfaltige Weise verändern.

Solche Wirkungen auf die Entfernungen mittelst bestimmt begränzter und wohl auch bestimmt geformter Zwischenkörper giebt es

unzählig viele: z. B. wenn man durch ein langes Zylinderrohr zu Jemandem spricht, durch einen Telegraphendraht telegraphirt.

In allen diesen Fällen findet eine Abschwächung der wirkenden Kraft statt, welche von der Natur des fortpflanzenden Körpers (Kupferdraht, Eisendraht) und von der während der Bewegung stattfindenden Reibung der einander berührenden Theile abhängig ist.

Es kann aber auch die wirkende Kraft mit einem Stoffe ringsum umgeben sein, welcher die Fortpflanzung der Bewegung nach allen Seiten vermittelt; also wenn z. B. im Wasser eines Sees oder in der freien Luft durch das Zusammenschlagen zweier Steine ein Schall erregt wird. Die Schallempfindung wird mit zunehmender Entfernung immer schwächer und schwächer. Wenn die Erleuchtungsfähigkeit einer bestimmten Flamme in verschiedenen Entfernungen beobachtet wird, oder wenn man die Stärke der Anziehung eines Magneten oder eines elektrischen Körpers untersucht, so findet man schon bei der oberflächlichsten Beobachtung ganz dasselbe.

Ohne Zwischenstoff ist die Uebertragung der Kraft von einem Körper zu einem anderen undenkbar. Für die Körper im Weltraume ist dieser Zwischenstoff der Weltäther. Ohne ihn würde das Licht der Sonne und der übrigen Himmelskörper und eben so wenig die erwärmende Kraft der ersteren gar nicht vorhanden sein; ohne ihn würden auch viele irdische Erscheinungen, die wir später werden genauer kennen lernen, gar nicht möglich sein, z. B. die Wirkung der Magnete auf die Entfernung.

Gesetz der Abnahme.

Es ist hier nur noch die Beantwortung der Frage übrig: in welchem Verhältnisse nimmt die Wirkung einer bestimmten Kraft ab, wenn man sich von ihrem bestimmten Sitze in einem sie umgebenden bestimmten Stoffe entfernt?

Der Sitz der Kraft kann als der Mittelpunkt einer Kugel angesehen werden, in deren Strahlen die Fortpflanzung der lebendigen Kraft stattfindet. Es vertheilt sich die Wirkung auf alle Punkte einer Kugelfläche mit bestimmtem Strahle gleichmäßig; wächst der Strahl, also auch die Oberfläche der zu ihm gehörigen Kugel, so muß wegen der größeren Vertheilung die Wirkung auf eine bestimmte Stelle im zweiten Falle kleiner sein, als im ersten.

Nehmen wir z. B. eine angezündete Wachskerze von bestimmter Leuchtkraft, so wird in der Entfernung von zwei Fuß ein Blatt Papier von einem Quadratzolle schwächer erleuchtet sein, als in der Entfernung von einem Fuße, wobei ich das Blatt in beiden Fällen in gleicher Lage gegen die Flamme halten muß, etwa so, daß der Strahl auf den Mittelpunkt des Blattes dasselbe lothrecht trifft; denn dieselbe erleuchtende Kraft

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

verbreitet sich in dem ersten Falle über eine Kugelfläche, die 4mal größer ist, als im zweiten Falle, und daher muß ein bestimmter Flächentheil (z. B. 1 Quadratzoll) eine 4mal geringere Erleuchtung zeigen. Bei 3 Fuß Entfernung würde die Erleuchtung dieser Fläche 9mal, bei 4 Fuß 16mal u. s. w. kleiner sein, da ja die Kugeloberflächen sich wie die Quadratzahlen der Strahlen verhalten. Die Gesammterleuchtung ist bei den verschiedenen Kugelflächen dieselbe; also auch hier eine Erhaltung der Kraft.

Um in der doppelten Entfernung dieselbe Erleuchtung einer bestimmten Fläche zu erhalten, wie in der einfachen, müßte man 4 Wachskerzen von derselben Lichtstärke aufstellen; in der dreifachen 9 u. s. w.

Diese Betrachtungen gelten in aller Strenge von jeder andern Kraft, die ihren Sitz in einem bestimmten Punkte hat und von da aus in einem bestimmten Stoffe nach allen Richtungen hin gleichmäßig wirkt, so daß wir das Gesetz aufstellen müssen:

die Wirkungen einer Kraft in einem bestimmten Punkte nehmen in einem bestimmten Stoffe ab, wie die Quadratzahlen der Entfernungen zunehmen.

Die Abschwächung der Wirkung auf die Entfernung ist eine ungesetzmäßige, wenn die Uebertragung der Kraft auf verschiedenartige, mit einander wechselnde Körper stattfindet, wie wenn z. B. der Schall genöthigt würde, nach einander durch Luft, Papier, Holz, Steine, Luft u. s. w. zu gehen, oder das Licht der Sonne durch trübe und heitere Schichten der Atmosphäre.

Zusammensetzung der Kräfte.

Es kommt in der Wirklichkeit nie vor, daß ein Körper dem Antriebe nur *einer* Kraft folgte. Selbst wenn ein Gegenstand ruhig auf dem ruhigen Tische in einem nicht schwankenden Hause läge, theilt er doch die Axendrehung der Erde, ihre Bewegung um die Sonne und die kleine schwankende Bewegung, welche man Nutation nennt und schreitet mit dem ganzen Sonnensysteme im Weltraume fort; er ist also relativ ruhend schon verschiedenen Kräften gleichzeitig unterworfen. Außerdem aber kann er noch der Einwirkung einer oder mehrer anderer Kräfte, die gleichzeitig auf ihn wirken, ausgesetzt sein; man kann ihn z. B. fallen lassen, im Kreise drehen, an einer Schnur schwingen lassen, einen Stoß auf ihn ausüben.

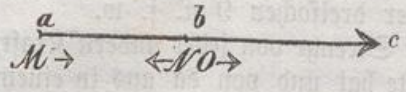
Wie vielen Kräften aber auch immer ein Körper ausgesetzt sein mag, so kann er, wenn sie ihn in Bewegung setzen, doch stets nur *einen* Weg einschlagen, als wenn er dem Antriebe nur *einer* Kraft folgte.

Es ist nun für die Praxis von der größten Wichtigkeit zu untersuchen, welchen Weg er einschlägt und welches sein Bewegungsmoment ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Punkt eines Körpers, auf welchen eine Kraft unmittelbar einwirkt, heißt der Angriffspunkt der Kraft.

Wenn eine einen Körper stoßende oder ziehende Kraft an einer geraden Stange oder, wenn es eine ziehende ist, an einer gerade gespannten Schnur (Kette, Tau, Riemen) in der graden Richtung wirksam ist; so kann der Angriffspunkt der Kraft, ohne eine Aenderung in der Wirksamkeit hervorzubringen, in jeden beliebigen Punkt der Schnur, Stange u. s. w. verlegt werden, wenn man zunächst von dem Gewichte der letzteren absieht.



(Fig. 18.)

Die Kraft, welche in a (Fig. 18) angreift und den Körper in der Richtung der ac bewegen soll, kann auch in b ihren Angriffspunkt haben, ohne den Erfolg zu stören. Denken wir uns in b zwei gleiche Kräfte N und O wirksam, welche einander, wie es die Pfeile andeuten, geradlinig entgegengesetzt wirken, so heben sie einander auf oder sie halten einander das Gleichgewicht, und der schwere Punkt b bleibt in Ruhe. Greift in a eine den vorigen gleiche Kraft M an, welche a, wie es der Pfeil andeutet, nach c hin bewegen will, und ist a mit b unveränderlich verbunden, so heben auch die beiden gleichen und einander geradlinig entgegengesetzt wirkenden Kräfte M und N einander auf und es bleibt nur noch die Wirkung der Kraft O in der Richtung nach c hin übrig. Ob also eine Kraft M in a angreift oder eine ihr gleiche O in einem anderen Punkte b der geraden Linie, in welcher die Kraft den Körper bewegen soll, ist gleichgiltig. Daraus folgt: Der Angriffspunkt einer Kraft kann verlegt werden.

Greifen zunächst zwei momentan oder fortwährend und beständig wirkende Kräfte einen ruhenden und schwer gedachten Punkt an, so können wir uns drei Fälle vorstellen:

1) die beiden Kräfte wirken in derselben Richtung mit einander,
2) in derselben Richtung gegen einander,
3) ihre Richtungen bilden einen Winkel.

Wir können uns in allen Fällen als Maße sowohl für die zusammensetzenden oder komponirenden, als auch für die als Ergebniß der Zusammenwirkung entstehenden resultirenden Kräfte verhältnißmäßige Linien annehmen.

Triebe im ersten Falle die eine Kraft den Körper in einer Sekunde durch 7, die andere durch 4 Fuß, so würde jene Kraft um diese vermehrt und das Resultat ist die Summe beider Kräfte, oder er würde durch beide Kräfte zugleich getrieben, thatsächlich in einer Sekunde durch 11 Fuß gehen.

Hat die Strömung des Wassers in einem Flusse eine Geschwindig-

keit von 2 Fuß, und ist die Kraft einer Dampfmaschine auch nur so groß, daß sie dem Schiffe dieselbe Geschwindigkeit geben kann, so wird es auf derselben Stelle stehen bleiben, wenn es stromaufwärts fahren will.

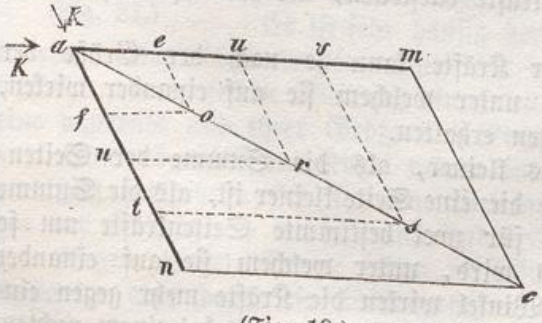
Wenn für den zweiten Fall als Beispiel dieselben beiden Kräfte von 7 und 4 Fuß beibehalten werden, und man zerlegt die größere (7) in zwei Theile, die in gleicher Richtung mit der ganzen wirken, und von denen der eine gleich der zweiten Kraft ist ($7 = 3 + 4$); so wird dieser Theil die zweite Kraft aufheben, weil er ihr gleich ist, und es bleibt somit als Resultat der andere Theil (3) der größeren Kraft mit Beibehaltung der Richtung übrig. Wirken also Kräfte geradlinig einander entgegengesetzt, so ist die Resultirende stets der Unterschied der beiden Komponirenden.

Hat die Strömung eines Flusses die Geschwindigkeit von 2 Fuß, ein Dampfboot aber 5 Fuß, so wird letzteres stromaufwärts mit 3 Fuß Geschwindigkeit fahren (stromabwärts mit 7 Fuß).

Schwieriger zu beurtheilen ist der so außerordentlich häufig vorkommende dritte Fall.

Hat man an der Decke eines hohen Zimmers an einem Faden einen Apfel u. dergl. angehängt und läßt denselben pendelartig in einem kleinen Bogen hin und her schwingen, so verändert er die Lage der Linie, in welcher er schwingt, während einer kurzen Beobachtungszeit nicht merklich. Wenn man den Apfel bei seiner Ankunft im tiefsten Punkte seiner Bahn mit dem Finger oder einem Stäbchen in einer auf dieser Bahn lothrechten Richtung stößt; so folgt er weder der Richtung des Stoßes, noch bleibt er in seiner alten Bahn, sondern schlägt einen Zwischenweg ein, welcher um so mehr in der Stoßrichtung liegt, je kräftiger der Stoß war. Wäre die Krafe des Stoßes gerade gleich dem Bewegungsmomente des Apfels in seinem tiefsten Punkte, so würde er gerade den Mittelweg zwischen den Richtungen beider Kräfte einschlagen; wäre die stoßende Kraft kleiner, so läge die neue Bahn der ursprünglichen näher.

Wird eine Kugel auf einem Billard von zwei geschickten Spielern gleichzeitig mit einem recht kurzen Stoße nach verschiedenen Richtungen gestoßen, so schlägt sie ebenfalls einen Zwischenweg ein.



(Fig. 19.)

Wir müssen nun in allen Fällen die Richtung und die Größe der resultirenden Kraft zu bestimmen suchen für zwei in demselben Augenblicke auf einen Körper a einwirkende momentane Kräfte K und K (Fig. 19).

Triebe die eine Kraft K den Körper in einer ge-

wissen Zeit von a bis m in der Richtung der am, die andere K in derselben Zeit von a bis n in der Richtung an, welche mit am den Winkel man bildet, so daß also am und an das Verhältniß der beiden Kräfte angeben; so folgt der Körper zwar keiner der beiden Kräfte einzeln und doch beiden, indem er durch die erste Kraft von der an weg unter dem Winkel man um die am fortgetrieben wird, durch die zweite Kraft von der am weg unter demselben Winkel um die an. Er muß also am Ende der Zeit in einem Punkte sein, der um die am von der an und um die an von der am unter demselben Winkel entfernt ist, und dies kann nur der Endpunkt der Diagonale ac des aus den Seitenkräften am, an und dem von ihnen gebildeten Winkel man gezeichneten Parallelogramms amcn sein, worin nc gleich und parallel der am und mc ∥ an ist.

Der Körper wird sich aber auch in jedem Momente der Zwischenzeit in irgend einem Punkte dieser Diagonale befinden müssen. Denken wir uns die ganze Zeit der Bewegung z. B. in vier gleiche Theile zerlegt, so haben auch die Wege für jede der beiden Kräfte vier gleiche Theile, weil die Bewegung, welche durch eine momentane Kraft erzeugt worden, eine gleichmäßige ist. Werden aus den Kräften (ae, af), für den ersten Zeittheil, für die beiden ersten (au, aw), für die drei ersten Zeittheile (av, at) und aus demselben Winkel man nach dem Vorigen die Parallelogramme gezeichnet, so liegen alle ihre Diagonalen, also auch alle ihre Endpunkte, in derselben Richtung mit der Diagonale ac für die ganze Zeit. Diese Betrachtung gilt für alle noch so klein gedachten Zeittheile und somit bewegt sich der Körper während der ganzen Zeit in der Diagonale des Parallelogramms der Kräfte.

Diese Diagonale gibt an

1) die Richtung der Mittelkraft (Resultirenden) gegen die Seitenkräfte,

2) das Maß für die Resultirende, indem man mit der Maßeinheit für die beiden Seitenkräfte die Diagonale nur zu messen braucht. Vertraten K und K z. B. 7 und 5 Menschenkräfte und wäre die eine Menschenkraft vertretende Maßlinie in am 7mal, in an 5mal enthalten, so wird ac so viele Menschenkräfte darstellen, als wie oft diese Maßeinheit in ac enthalten ist.

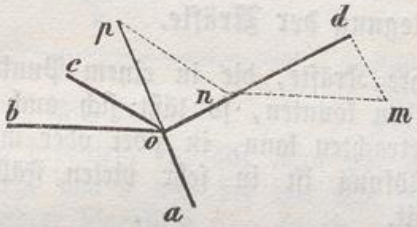
Das Parallelogramm der Kräfte kann je nach der Größe der Seitenkräfte und des Winkels, unter welchem sie auf einander wirken, jede der vier bekannten Gestalten erhalten.

Die Resultirende ist stets kleiner, als die Summe der Seitenkräfte, weil in einem Dreiseite die eine Seite kleiner ist, als die Summe der beiden anderen; sie wird für zwei bestimmte Seitenkräfte um so kleiner, je größer der Winkel wird, unter welchem sie auf einander wirken. Bei einem stumpfen Winkel wirken die Kräfte mehr gegen einander, bei einem spitzen Winkel mehr mit einander, als bei einem rechten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

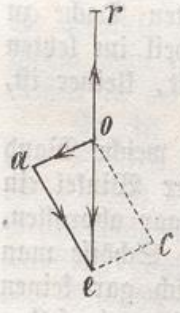
Wenn, wie bei einer Maschine zum Einrammen von Pfählen, an einer Stelle eines Haupttaues mehre Leinen angebracht sind, an welchen Menschen gleichzeitig ziehen sollen; so werden diese am wirksamsten arbeiten, wenn die Seile mit einander möglichst kleine Winkel bilden, die Menschen also einander möglichst nahe stehen, wobei die Richtung der Seile mit der des Taues ziemlich zusammenfällt.

Soll aus mehren Seitenkräften die Resultirende gefunden werden, so setzt man die beiden ersten Kräfte zusammen, verfährt mit der erhaltenen Mittelkraft und der dritten eben so u. s. w. so lange, als von den zusammenzusetzenden Kräften noch eine übrig ist. Die zuletzt erhaltene Mittelkraft kann dann für alle Seitenkräfte gesetzt werden.



(Fig. 20.)

Dafür kann ein abgekürztes Verfahren angewendet werden. Bedeuten (Fig. 20) oa, ob, oc, od vier Seitenkräfte, welche in o angreifen, so zeichnet man z. B. durch d die dm parallel und gleich der oa, durch m die mn parallel und gleich der ob, durch n die np parallel und gleich der oc und verbindet endlich p mit o, so ist die op die Resultirende aus allen Seitenkräften.



(Fig. 21.)

Um zwei oder mehre in einem Punkte angreifende Kräfte im Gleichgewichte zu halten oder den Punkt in Ruhe zu erhalten, muß man eine Kraft anwenden, welche der Resultirenden aus jenen Kräften gleich ist, ihr gradlinig entgegengesetzt wirkt und auch in diesem Punkte angreift. Zögen z. B. an o (Fig. 21) zwei Kräfte, die durch oc und oa dargestellt sein mögen, in diesen Richtungen an Tauen und wäre oe die Mittelkraft aus ihnen, so würde die in ihrer Richtung liegende, ihr gleiche und ihr entgegengesetzt wirkende or sie, folglich auch die Seitenkräfte aufheben.

Es ist sehr häufig der Fall, daß die Kräfte nicht blos in einem Augenblicke wirksam sind oder daß sie, fortwährend sich gleichbleibend, in derselben Richtung einwirken, sondern daß die Einwirkung eine dauernde und ihrer Größe und Richtung nach eine veränderliche ist.

Eine abgeschlossene Kugel würde in ihrer ursprünglichen Richtung gradlinig fortgehend sich in den Weltraum entfernen, wenn sie nicht von der fortwährend auf sie einwirkenden Erde zu fallen genöthigt würde.

Regen, Hagel, Schnee fallen bei Windstille lothrecht auf die Erde; je stärker aber dabei ein Wind geht, in desto längerer und schrägerer

Diagonale kommen sie herab und Schneeflocken werden manchmal sogar fast horizontal getrieben.

Läßt man vom Mastbaume eines schnell fahrenden Schiffes bei Windstille einen Strick herabfallen, so fällt er nicht etwa rückwärts auf's Schiff oder ins Wasser, sondern dicht am Mastbaume nieder, denn er macht auch während des Fallens gleichzeitig mit dem Schiffe die Bewegung vorwärts, wird also von zwei Kräften bewegt.

Man kann beim schnellen Reiten oder Fahren einen lothrecht aufwärts geworfenen Ball leicht fangen, weil er auch in der Luft die Bewegung vorwärts mit der früheren Geschwindigkeit beibehält, also schräge aufwärts steigt und schräge abwärts fällt.

Zerlegung der Kräfte.

So wie zwei oder mehre Kräfte, die in einem Punkte angreifen, durch eine Kraft ersetzt werden konnten, so läßt sich auch eine Kraft, die man als Resultirende betrachten kann, in zwei oder mehre Seitenkräfte auflösen. Diese Auflösung ist in sehr vielen Fällen von der größten praktischen Wichtigkeit.

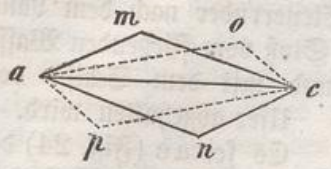
Eine mittelst eines Stoffes auf einen Körper ausgeübte Kraft wirkt nur dann vollständig, wenn sie auf die getroffenen Stellen des Körpers lothrecht wirkt; je spitzer der Winkel ist, unter welchem sie den Körper trifft, desto geringer ist der Erfolg.

Die im Winter niedrig am Horizonte stehende Sonne vermag wohl den Schnee auf einem schräge gegen sie gerichteten Dache zu schmelzen, nicht aber den auf dem horizontalen Felde, weil im letzten Falle der Winkel, unter welchem sie auf den Schnee wirkt, kleiner ist, als im ersten.

Wird eine Kugel mit einer gewissen Kraft auf eine weiche Wand lothrecht geschossen, so dringt sie tiefer ein, als wenn der Winkel ein spitzer ist. Wenn der Winkel allzu klein ist, so kann sie sogar abprallen. So ist es mit jeder anderen schief einwirkenden Kraft. Schösse man die Kugel parallel mit der Wand, so würde sie natürlich gar keinen Eindruck machen, wie wenn Wasser parallel mit einer Wand an derselben hinfließt, wobei ein Stoß auf sie nicht ausgeübt wird.

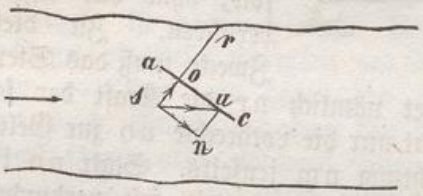
Soll der Wasserstrahl, welcher bei einer oberschlächtigen Mühle in einem kleinen Bogen auf die Kasten des Wasserrades fällt, recht wirksam sein, so müssen möglichst viele Wassertheile dieses Strahles auf das gegenüberstehende Brett des Kastens möglichst senkrecht stoßen, es muß also das Brett angemessen gekrümmt sein, damit das Wasser nach dem Stoße seine ganze Geschwindigkeit verloren habe.

Sowie eine bestimmte Linie ac (Fig. 22.) als Diagonale von sehr verschiedenen Parallelogrammen, z. B. von amcn und aocp angesehen werden kann, so läßt sich auch eine bestimmte Kraft in ver-



(Fig. 22.)

schiedene Paare von Seitenkräften auflösen; aber es sind nicht alle Auflösungen gleich zweckmäßig. Am meisten praktischen Werth hat die Zerlegung einer auf einen Körper schief wirkenden Kraft in zwei Seitenkräfte, von denen die eine senkrecht, also vollständig, die andere parallel, also gar nicht, auf den Körper wirkt.



(Fig. 23.)

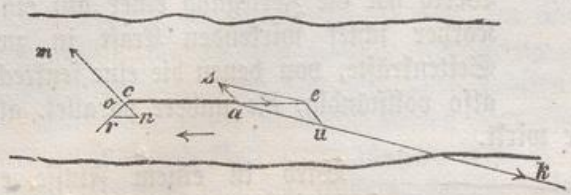
Wird in einem Flusse ein Fahrzeug ac (Fig. 23) in einer schiefen Lage gegen die Strömung erhalten, so wird es durch die Strömung allein unfehlbar nach dem einen Ufer hingetrieben. Wenn su das Maß für die Kraft des Wasserstoßes gegen das Fahrzeug bedeutet, so fällt man von s die Lothrechte so auf das Fahrzeug, zieht von s aus die mit ihm Parallele sn und von u aus zu so die andere Parallele un; so ist soun das Parallelogramm der Kräfte so und sn, welche gemeinschaftlich wirkend für su gesetzt werden können. Von diesen beiden Kräften geht sn für die Wirkung verloren, weil sie mit dem Fahrzeuge parallel geht; so dagegen kommt ganz zur Wirkung, weil sie lothrecht auf das Fahrzeug wirkt, und treibt es in der Richtung so nach dem Punkte r ans jenseitige Ufer. Weiß man die absolute Größe der Kraft su, so läßt sich auch die der so bestimmen, indem man nur ermitteln darf, wie oft die für su angenommene Maßeinheit in so enthalten ist.

Es ist zur Erreichung des vorliegenden Zweckes hinreichend das eine Dreiseit sou statt des ganzen Parallelogramms zu zeichnen, ou ist darin gleich sn. Kennt man die Größe der gestoßenen Fläche und die Geschwindigkeit der Strömung, so läßt sich leicht berechnen, wie viele Kubikfuß Wasser in einer Sekunde auf das Fahrzeug stoßen und aus dem Gewichte des Wassers, welches den Stoß ausgeübt hat, erkennt man dann die lebendige Kraft.

Will ein Mensch über einen Fluß schwimmen, so darf er nur seinem Körper eine richtige schiefe Lage gegen die Strömung geben und sich darin erhalten; weitere Bewegungen sind nicht nothwendig, können aber die Zeit des Hinüberschwimmens verkürzen. Will er auf das jenseitige Ufer kommen, so muß er den Kopf gegen die Strömung halten.

Häufig werden in Flüssen und Kanälen Fahrzeuge mittelst Leinen vom Ufer aus aufwärts gezogen. Wollte man weiter nichts thun, als blos ziehen, so würde das Fahrzeug gar bald ans Ufer kommen und sich daran schauern, wodurch es verletzt und die Arbeit sehr erschwert würde. Das Fahrzeug wird aber, während es gezogen wird, dadurch vom Lande

in einem Abstande erhalten, daß man das Steuerruder nach dem Lande hinwendet, wodurch es stehend einen schiefen Stoß vom fließenden Wasser und fahrend vom stehenden Wasser erhält und mit dem Schiffe vom Ufer abgehalten wird. — Es sei ac (Fig. 24) das Fahrzeug, welches von dem Taue ak stromaufwärts gezogen werden soll, ohne das Ufer zu berühren. Zu diesem Zwecke muß das Steuerruder die Lage cr haben. Bedeutet nämlich nr die Kraft der schief darauf wirkenden Strömung, so kommt nur die Lothrechte no zur Geltung und treibt das Fahrzeug in der Richtung nm jenseits. Statt no in o angreifen zu lassen, kann man es nach dem damit fest verbundenen Punkte a verlegen. Wenn nun as dem no gleich und mit ihm parallel ist, so darf man das as nur noch mit der am Taue angebrachten und durch au dargestellten Kraft zusammensetzen und man bekommt als Resultirende die ae, welche die Richtnng des Fahrzeuges bei seiner Bewegung angibt. Daß diese Richtung durch die Lage des Steuerruders bei einer bestimmten Geschwindigkeit des Wassers und der ziehenden Kraft bedingt ist, versteht sich wohl von selbst. Bei starker Strömung braucht der Winkel des Steuers gegen das Ufer nicht so groß zu sein, als bei schwacher.



(Fig. 24.)

Allen Schiffen kann man während des Fahrens durch die Lage des Steuerruders am Hintertheile eine bestimmte Richtung geben. Legt man es nach rechts, so geht das Hintertheil des Schiffes nach links und das Vordertheil nach rechts.

Allen Vögeln dient beim Fliegen und den Fischen beim Schwimmen der Schwanz als Steuer.

Die Windmühlflügel drehen die Welle, an welcher sie befestigt sind, nur deshalb, weil ihre Flächen eine schiefe Lage gegen den horizontal wehenden Wind haben. Sie müssen alle so gestellt sein, daß die Drehung des einen die des anderen unterstützt. Von den beiden Seitenkräften der schief auf die Flächen der Flügel stoßenden Kraft des Windes wird die lothrechte durch den Widerstand der Radwelle aufgehoben und es kommt nur die andere zur Geltung. Weil die von der Axe entfernteren Theile des Flügels eine größere Geschwindigkeit bei der Drehung haben, als die näheren, würden sie, wenn die Flügel eine Ebene bildeten, eher dem ankommenden Winde ausweichen und somit von ihm weniger bewegt werden, als die näher liegenden Theile, ja sie könnten sogar dieselbe Geschwindigkeit mit dem Winde haben und würden gar nicht gestoßen, oder eine größere und würden nachtheilig wirken. Aus diesem Grunde werden die Sprossenlöcher in der Ruthe in einer gewundenen

Linie gemacht, die ungefähr den zwölften Theil eines Schraubenganges ausmacht, so daß die Flächen der Flügel gebogen sind.

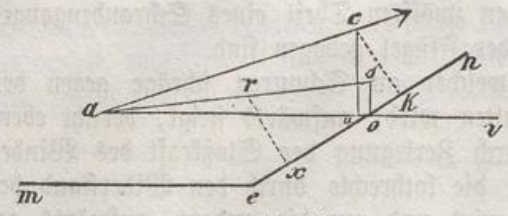
Daß ein Papierdrache, welcher an Schnuren schräge gegen den horizontal wehenden Wind gehalten wird, aufwärts steigt, beruht ebenfalls darauf, daß von den durch Zerlegung der Stoßkraft des Windes erhaltenen beiden Seitenkräften die lothrechte durch den Widerstand der gehaltenen Schnur aufgehoben wird und nur die andere, aufwärts gerichtete als wirksam übrig bleibt.

Die Benutzung des Windes als treibende Kraft für die Schiffe mit Segeln ist höchst wichtig. Ueberall muß man durch die Stellung der Segel die Geschwindigkeit des Windes möglichst auf sie überzutragen suchen. — Man kann gegen den Wind nur dann fahren, wenn man lavirt, d. h. abwechselnd nach den beiden Seiten der Kurslinie oder im Zickzack fährt, also jedesmal einen schiefen Stoß des Windes benutzt, wobei die Segel abwechselnd immer umgelegt werden müssen.

Bei den Schraubendampfschiffen ist es nur der schiefe Stoß der Fläche, der sogenannten Schraube, auf das Wasser, wodurch die Schiffe bewegt werden. Durch das Hintertheil des Schiffes geht wasserdicht unter dem Wasserspiegel eine Welle, welche durch die im Schiffsraume befindliche Kraftmaschine gedreht wird; an dieser Welle sind in einer schrägen Richtung nach hinten gewendete Schaufeln, welche aus demselben Grunde, wie bei den Windmühlen, nicht eben, sondern gekrümmt sind. Wenn diese Schaufeln nun bei der Drehung der Axe das ruhende Wasser nach hinten stoßen, so geht das bewegliche Schiff nach vorne; bewegte sich das Wasser dem Schiffe entgegen, so müßte die Drehungsgeschwindigkeit, wenn das Schiff vorwärts kommen soll, um so größer sein, je schneller die Strömung ist, damit die Geschwindigkeit der Schaufeln stets größer bleibe, als die des Wassers. Statt mehrer einzelner Schaufelflächen kann auch eine einzige schraubenförmige Fläche angewendet werden, ähnlich den spiralförmigen Papierstreifen, die am warmen Ofen wegen des aufsteigenden Luftstromes sich um eine lothrechte Axe drehen.

Thiere können mit dem möglich größesten Erfolge einen Wagen ziehen, wenn sie an Punkten angespannt sind, die mit den Axen der Räder in derselben horizontalen Ebene liegen und wenn sie selbst auf dieser Ebene den Wagen horizontal ziehen können. Sind die Thiere höher gestellt, als der Wagen, wie es auf Gebirgswegen vorkommt, so geht ein Theil ihrer wirkenden Kraft verloren, und zwar um so mehr, je größer der Winkel der beiden Flächen ist, auf denen sich Wagen und Thiere befinden. Um diesen Verlust zu vermindern, muß man die Thiere so kurz als möglich an den Wagen spannen.

Steigt die horizontale Fläche me (Fig. 25) von e an nach n, befindet sich über dem horizontalen Theile in a der Widerstand, in c über dem aufwärts steigenden Theile die Kraft, deren Maß ac sein mag



(Fig. 25.)

und ist av horizontal; so zeigt sich, daß bei der Zerlegung der Kraft ac in die Seitenkräfte au und cu nur der durch au ausgedrückte Antheil zur Geltung kommt. Wird nun das Thier, welches um ck von dem Erdboden entfernt war, kürzer an den Wagen gespannt z. B. in r, wobei rx = ck seine Entfernung vom Erdboden ist und zerlegt man seine Kraft as, welche die vorige, also ac gleich ist, in die Seitenkräfte ao und so, so ist klar, daß das Thier jetzt besser wirken kann, als vorhin, weil der zur Wirksamkeit gelangende Antheil ao größer ist, als au.

Andere Fälle, in welchen Kräfte nicht an demselben Punkte, sondernt an verschiedenen Punkten eines starren Körpers angreifen, wenn sie nich in derselben Ebene, sondern in verschiedenen wirksam und wenn sie veränderlich sind, werden bei späteren Untersuchungen zur Sprache kommen.

Zweite Abtheilung.

Von den physikalischen Kräften insbesondere.

Physikalische Kräfte sind solche, welche nur die Zustände der Körper, nicht aber ihr Wesen und ihre innerste Natur zu verändern im Stande sind. Die letzteren gehören in die Chemie und beziehen sich nur auf die Atome der Körper, die ersteren lassen uns die Einflüsse der Atomgruppen oder Molekel und der Gruppen von Molekeln oder der Körper erkennen. Die Untersuchungen der neueren Zeit haben aber die früher so schroffe Scheidewand zwischen Chemie und Physik mehr und mehr beseitigt, so daß es gegenwärtig nicht mehr möglich ist, gewisse Zweige der Physik genauer kennen zu lernen, ohne wenigstens einigermaßen in das Gebiet der Chemie überzugreifen, wovon wir hier freilich einen möglichst sparsamen Gebrauch machen wollen, theils weil es Werke gibt, die in leicht faßlicher Darstellung die Hauptlehren der Chemie entwickeln, theils weil wir uns nicht allzuweit vom Zwecke dieses Werkes entfernen dürfen.

Wir können bei den physikalischen Kräften uns auf zwei beschränken, die in manchen Beziehungen sich sogar auf einander zurückführen lassen, nämlich auf das Beharrungsvermögen und die allgemeine Stoffanziehung.

Erster Abschnitt.

Das Beharrungs-Vermögen.

Ruhe und Bewegung.

Der Stoff kann aus sich selbst an sich weder Bewegung erzeugen, noch sie vernichten und wir können als durchgreifenden Grundsatz sofort an die Spitze setzen: jeder Körper als Ganzes will in dem Zustande, in welchen er sich gerade befindet, in alle Ewigkeit bleiben; d. h. ein ruhender Körper will in Ruhe bleiben, ein bewegter aber in Bewegung mit derselben stets sich gleichbleibenden Kraft. Jeder

Körper widerstrebt der Veränderung seines Zustandes, und es ist eine gewisse Kraft nothwendig, um ihn in den neuen Zustand zu versetzen; also besitzt er selbst, er mag in Ruhe oder in Bewegung sein, eine Kraft, die der äußerlich auf ihn angewendeten entgegenwirkt.

Es gibt keine Erscheinung, welche diesen Betrachtungen widerspräche und wenn die Bewegungen irdischer Körper, welche ihnen durch eine momentan wirkende Kraft ertheilt worden ist, allmählig aufhören, so läßt sich dies stets aus dem Entgegenwirken einer neuen Kraft erklären, wie z. B. wenn eine auf ebenem Boden hingerollte Kegelkugel allmählig zur Ruhe kommt. Wir wollen nun beide Fälle des obigen Gesetzes einzeln an einer Reihe von Beispielen betrachten.

Liegt ein Gegenstand ruhig an einem Orte, so muß man eine Kraft anwenden, die seinem Widerstreben gegen die Bewegung entgegen wirkt, und er kann nur allmählig zu der Geschwindigkeit gebracht werden, deren die angewendete Kraft fähig ist. Ein Pferd z. B. gibt dem Wagen nicht sofort die seiner Kraft entsprechende Bewegung, sondern erst nach und nach. — Wenn bei einem langen Eisenbahnzuge die Lokomotive mit den vorderen Wagen plötzlich zu kräftig anzieht, so reißen sich die letzten noch stehenden oder viel langsamer fahrenden Wagen trotz der stärksten Verbindungsketten ab, weil sie in ihrem alten Zustande mit einer um so größeren Kraft verharren, je gewichtiger sie sind. — Das Räderwerk einer Maschine, z. B. einer Wind-, Wasser- oder Dampfmühle geräth nicht sofort in die der Triebkraft entsprechende Bewegung, sondern erst allmählig. — Diese Verspätung in der Mittheilung der Bewegung ist es auch, weshalb eine Kugel, welche man durch eine Glasscheibe geschossen hat, nur ein so großes Loch gemacht hat, daß sie durchfliegen konnte, ohne die Umgebung des Glases zu zertrümmern, wie es unfehlbar bei einem langsamen Schlage mit der Kugel geschehen würde. — Liegt auf dem Halse einer Flasche ein glattes Kartenblatt, auf ihm lothrecht über der Mündung des Halses ein kleines Geldstück, so kann man durch einen horizontal und schnell ausgeführten Schlag das Kartenblatt wegschnellen und das Geldstück fällt in die Flasche. — Wenn die Maurer mit dem Hammer auf die Ziegelsteine, die sie in der einen Hand halten, so kräftige Schläge ausüben, daß dadurch die Steine getheilt und bearbeitet werden, so fühlen sie nur eine geringe Erschütterung. Es ist also auch nichts so sehr Erstaunliches, wenn Leute auf einem Ambos, den sie liegend auf der Brust tragen, stark hämmern lassen; wenn nur die Schläge in recht kurzer Zeit ausgeführt werden und der Hammer immer schnell zurück bewegt wird. — Ziehen Pferde einen ruhenden Wagen plötzlich an, so fährt der Darinsitzende nach rückwärts, weil er an dem Orte bleiben will, an welchem er war. — Ist ein oben offenes Gefäß mit Flüssigkeit erfüllt, so fließt sie über, wenn man das Gefäß schnell seitwärts zieht. — Hängt an einer Feder ein Tropfen Dinte, so fällt er ab, wenn man die Feder rasch aufwärts bewegt. —

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wenn man Bäume mit reifem Obste schüttelt, so fällt es ab, weil es der Bewegung der Aeste nicht oder zu langsam folgt und sich von ihnen abreißt. — Der von einem Geschosse auf einem Baume getödtete Vogel wird nicht mit fortgerissen, sondern fällt lothrecht zur Erde. — Felsen werden gesprengt, wenn in das Bohrloch, in welchem ganz unten der explodirende Körper (das Pulver) sich befindet, Sand, wenn auch ziemlich lose, gethan wird; weil die Ausdehnung des sich entwickelnden Gases schneller erfolgt, als daß sich die Bewegung der untersten Sandtheile den nach oben folgenden mittheilen könnte. — Man darf daher bei Schießgewehren vor dem Losschießen in den Lauf Sand oder Schnee nicht gelangen lassen. — Sind glatte Scheibchen (auch Kartenblätter) aufeinander geschichtet, so kann man durch einen schnellen und geschickten Schlag mittelst eines glatten schmalen Gegenstandes eines aus der Mitte herausschlagen. ohne daß die anderen auseinander fallen.

Aus allen diesen Betrachtungen ergibt sich, daß ein ruhender Körper durch eine auf ihn einwirkende Kraft nicht sofort und augenblicklich die der Kraft entsprechende Bewegung annimmt, sondern daß es dazu einer, wenn auch nur kurzen Zeit bedarf. So wie bei einem einzelnen bestimmten Körper die Bewegung sich von Theilchen zu Theilchen mittheilt, so ist es auch bei einander berührenden, wobei die vermehrte Menge der Berührungspunkte, also die vermehrte Reibung auch die Mittheilung der Bewegung befördert. Wir würden, indem wir auf einem Schiffe stehen, beim Abfahren desselben nicht mitfahren, wenn die Bewegung uns durch die Reibung an unseren Fußsohlen nicht mitgetheilt würde. Nach geschehener Mittheilung haben die Körper, wenn sie auch nicht ein ungetrenntes Ganzes bilden, doch dieselbe Geschwindigkeit. Dies ist u. a. besonders wichtig bei den Schrapnelgeschossen, denn die im Hauptgeschosse eingeschlossenen Flintenkugeln haben die Geschwindigkeit des ersteren und bekommen dazu noch die bei der Explosion ihnen besonders ertheilte, so daß die Wirkung sehr zerstörend sein kann.

Eben so ist es mit dem anderen Falle des Beharrungsgesetzes. Stößt ein fahrender Kahn, in welchem man steht, plötzlich ans Ufer oder einen anderen Gegenstand, so fährt man selbst noch vorwärts, weil man die frühere Bewegung beibehalten will. — Eben so ist es, wenn ein Eisenbahnzug beim Fahren plötzlich auf ein festes Hinderniß stößt. Je größer die Geschwindigkeit des Zuges ist, desto größer ist auch die Gefahr für die Darinsitzenden, weil die Kraft, mit welcher die Körper sich bewegen, ein Produkt aus ihrer Masse und Geschwindigkeit ist. Nicht nur die Menschen, sondern auch der Zug selbst ist dieser Gefahr ausgesetzt. — Hört bei einem in Bewegung begriffenen Zuge auf horizontaler Bahn die Wirksamkeit der Lokomotive plötzlich auf, so bleibt der Zug doch nicht stehen, sondern wird sich um so weiter vorwärts bewegen, je massiger er und je größer seine Geschwindigkeit ist. — Ein Pferd ist um so weniger im Stande, den von ihm gezogenen Wagen anzuhalten,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

je größer die Geschwindigkeit und die Masse des Wagens war. — Das Räderwerk von Maschinen, z. B. einer Mahlmühle, bleibt nicht sofort stehen, wenn auch die bewegende Kraft zu wirken aufhört. — Ein Reiter fällt leicht ab, wenn das Pferd rasch einen Seitensprung macht oder stehen bleibt. — Bewegt man eine Feder, woran ein Tropfen Dinte hängt, schnell nach unten und hält in dieser Bewegung plötzlich inne, so fällt der Tropfen ab, weil er die angefangene Bewegung fortsetzen will. — Ist der Holm eines Hammers, einer Axt oder eines ähnlichen Instrumentes lose geworden, so kann man ihn befestigen entweder durch umgekehrtes Aufstampfen auf einen harten Gegenstand, durch welchen seine, aber nicht des losen Eisenstückes Bewegung plötzlich gehemmt wird, oder dadurch, daß man auf ihn mit einem Hammer schlägt, während man ihn in der Luft hält, wobei das Eisenstück an seinem Orte bleiben will und der Holm somit tiefer in dasselbe eindringt. — Hat man eine angespannte Seite seitwärts gezogen und dann losgelassen, so bleibt sie auf dem Rückwege in ihrer ursprünglichen Ruhelage nicht stehen, sondern geht nach dem Beharrungsgesetze darüber hinaus. Ebenso ist es, wenn das Pendel einer Uhr die tiefste Stelle der Schwingung erreicht hat. — Ist ein Nagel mit seinem Kopfe an einen Hammer geklebt, so dringt er durch einen Schlag des Hammers tiefer ein, als sonst durch mehre gleich starke Schläge. — Um die Gefahr beim Herabspringen von einem schnell fahrenden Wagen möglichst zu vermindern, muß man seitwärts möglichst in der früheren Bewegungsrichtung springen und nicht auf dem Erdboden stehen zu bleiben suchen, sondern sofort möglichst rasch nach vorwärts laufen, um die alte Geschwindigkeit anfänglich noch beizubehalten, und nicht durch das vorwärts treibende Beharrungsvermögen umgerissen zu werden, was geschehen würde, wenn man mit den Füßen feststände. Ist man genöthigt hinten abzuspringen, so muß es wenigstens rückwärts geschehen, so daß man das Gesicht nach der Richtung hält, in welcher der Wagen sich bewegt, dem man noch etwas nachlaufen kann.

Lösen sich von einem bewegten Körper Theile ab, so behalten sie nach der Ablösung die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung des Punktes, von welchem sie sich abgelöst haben. Hat der Körper eine drehende Bewegung, wie wenn sich ein Rad um seine Axe bewegt; so geht der abgelöste Theil in der Berührungslinie des betreffenden Punktes der Kreisbahn fort, wie es u. a. geschieht, wenn Schmutz von Rädern abspritzt.

Aber wenn auch das Ablösen von Theilen gehindert ist, so liegt doch in jedem Theilchen das Bestreben immerfort in der Richtung der Tangente sich weiter zu bewegen, sich also von der Drehungsaxe zu entfernen und von ihr zu fliehen. Die Kraft, mit welcher dieses geschieht, heißt die Fliehkraft und sie ist im graden Verhältnisse abhängig von der Geschwindigkeit und der Masse des Theiles. Ist das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit groß, so ist auch das Bestreben zu fliehen

und somit auch die Bewegung gleichmäßig zu erhalten dem entsprechend groß. Will man daher bei Maschinen, deren einzelne Theile eine ungleichmäßige Bewegung zu veranlassen geeignet sind, eine recht gleichmäßige und auch anhaltend wirksame erhalten; so bringt man sogenannte Schwungräder an, welche einen größeren Durchmesser und an ihrem Umfange, wo die größte Geschwindigkeit bei der Drehung stattfindet, eine größere Masse besitzen.

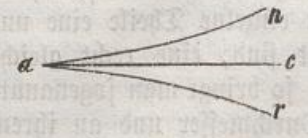
Einen wichtigen und interessanten Fall des Beharrungsgesetzes bietet ein Versuch dar, welchen man in sehr tiefen Schachten von Bergwerken angestellt hat. Zuerst läßt man von einem sehr genau bestimmten Punkte der Erdoberfläche ein kegelförmiges Loth mit einer feinen Spitze in den Schacht hinab und bemerkt sich genau den Punkt, in welchem es bei absoluter Ruhe unten am Boden desselben eintrifft. Sodann läßt man genau von demselben oberen Punkte aus eine Metallkugel herabfallen und dann bemerkt man, daß sie mit ihrer Mitte nicht den bezeichneten unteren Punkt trifft, sondern einen von ihm aus nach Osten gelegenen. Aus dieser Beobachtung muß man schließen, daß die Erde eine Axendrehung von Westen nach Osten besitzt; denn die Kugel kann nur dann nach Osten abweichen, wenn sie von Punkten herabkommt, die eine größere Geschwindigkeit nach Osten haben, als die unteren, zu denen sie gelangt. In der That kommt den oberen Punkten eine größere Geschwindigkeit zu, als den unteren, weil jene weiter von der Drehungsaxe entfernt sind, als diese.

Elastizität.

Die Körper wollen nicht blos als Ganzes ihren Zustand beibehalten, sondern auch ihre einzelnen Theile widerstreben einer Veränderung ihrer Lage und einem Entfernen von ihr. Wenn man einen graden Rohrstock mit den beiden Händen an den Enden fasset und ihn gewaltsam krümmt, so kommen die Körpertheile an der inneren Seite der Krümmung einander näher, an der äußeren aber entfernen sie sich von einander. Dieser unnatürlichen Lage der Theile widerstrebt der Körper und sie kehren von selbst in die ursprüngliche zurück, wenn der Zwang aufgehört hat. Dasselbe geschieht, wenn man eine angespannte Saite nach der einen Seite gezogen und dann losgelassen hat.

Die Rückkehr der Theilchen und des ganzen Körpers in die alte Lage geschieht aber nicht blos durch einen einfachen Rückweg, sondern durch eine Reihe von Schwingungen, deren Weite immer mehr kleiner wird. Es ist wegen späterer Betrachtungen sehr wichtig, den Vorgang etwas genauer zu untersuchen.

Es sei ac (Fig. 25) z. B. eine in a eingeklemmte Stricknadel, sie werde mit dem Finger in die Lage an gebracht und dann losgelassen; so geht sie, weil jedes Theilchen fortwährend in die alte Lage zurück



(Fig. 26.)

will, mit beschleunigter Geschwindigkeit in die ursprüngliche ac zurück, bleibt daselbst aber nicht stehen, sondern muß nach dem Beharrungsvermögen weiter fortgehen. Dies geschieht mit verzögerter Geschwindigkeit, wieder weil jedes Theilchen fortwährend in die alte Lage will, wobei aber jetzt die beiden Kräfte gegen einander wirken, während sie in dem ersten Theile der Bahn mit einander wirkten.

Nach dem Gesetze der Erhaltung der Kraft müßte jeder Punkt der Nadel ebenso weite diesseits der Gleichgewichts-Lage kommen, als er beim Loslassen jenseits war; aber der zweite Theil des Weges ist etwas kleiner, als der erste, theils wegen des äußeren Widerstandes der Luft, theils wegen der inneren Verschiebung und Reibung der Theilchen an einander.

Der Rückweg der Nadel aus der Lage ar nach ac geschieht wieder mit beschleunigter, von da nach an aber mit verzögerter Geschwindigkeit und einiger Verkürzung der Bahn.

Nun hat die Nadel, nachdem sie von an aus hin, und bis an wieder zurück sich bewegt hat, eine Schwingung oder einen Stoß vollendet.

Jede Schwingung besteht aus zwei Haupttheilen: Hinweg und Rückweg und aus vier einzelnen Theilen, von denen der erste und dritte mit beschleunigter, der zweite und vierte mit verzögerter Geschwindigkeit zurückgelegt wird. Es ist also die Bewegung nach der Gleichgewichtslage hin eine beschleunigte, die von ihr fort aber eine verzögerte.

Hängt man an einen Gummischlauch ein Gewicht, so wird dieses die Theilchen des Schlauches etwas auseinander ziehen, bis Gleichgewicht eingetreten ist. Zieht man nun das Gewicht noch etwas abwärts und läßt es los, so wird sich der Schlauch wieder verkürzen und das Gewicht anziehen, was ebenfalls mit Schwingungen verbunden ist.

Ist der Schlauch mit dem Gewichte wieder zur Ruhe gekommen und man dreht das Gewicht und zugleich den Schlauch um seine Axe und läßt los, so kehrt der Schlauch ebenfalls durch Schwingungen in seine frühere Lage zurück und der beim Drehen sich äußernde Widerstand steht in gleichem Verhältnisse mit dem Drehungswinkel. Wird ein Draht in gleicher Weise angebracht und um seine Axe gedreht, so kehrt er mit einer der gedrehten Kraft verhältnißmäßigen Geschwindigkeit durch eine Reihe von Schwingungen in seine alte Lage zurück.

Wenn Wasser in einem Metallzylinder einem nur unbedeutenden Drucke ausgesetzt wird, so verändert es sein Volumen nicht merklich; wenn aber der Druck bedeutend wird, so verkleinert sich der von ihm eingenommene Raum etwas; aber es nimmt, wenn die drückende Kraft aufhört, wieder seinen alten Raum ein, oder seine Theilchen treten wieder in ihre alte Lage zurück, in welcher sie bleiben wollen; das Wasser ist also, wie auch die anderen tropfbaren Flüssigkeiten, elastisch. Wenn

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

der Druck auf das Wasser 100mal größer ist, als der gewöhnliche Atmosphärendruck, oder wenn wir uns das Wasser im Meere in einer Tiefe von 3000 englischen Fußen denken, so wird es um 0,0047 seines ursprünglichen Raumes zusammengedrückt. Die Größe der Volumenverminderung des Wassers steht mit dem wirkenden Drucke in gleichem Verhältnisse und daher vermindert das Gewicht einer Atmosphäre den Raum des Wassers um 0,000047 oder fast um $^1/_{20000}$.

Diese Eigenschaft des Wassers ist in der Technik von ungeheurem Nutzen namentlich bei den hydraulischen Pressen, den wirksamsten aller Maschinen und wenn auch hier durch den ungeheuren Druck des Wassers die Metallzylinder Risse bekommen, so ist dies mit keinen Explosionen verbunden, weil das Wasser, ohne sich merklich auszudehnen, ruhig herausströmt und die Gefäßtheile nicht fortschleudert.

Ist eine thierische Blase, welche mit Luft erfüllt ist, gut verschlossen und drückt man sie irgendwie ein; so nimmt die Luft in der Blase wieder den alten Raum ein, wenn die drückende Kraft aufhört. Die Luft widerstrebt ebenso, wie das Wasser, der Verminderung des Volumens und sie sucht sich wieder auszudehnen und wieder den alten Raum einzunehmen, wenn die zwingende Kraft zu wirken aufhört, wie auch der Rohrstab seine alte Gestalt herstellte.

Außer diesen und anderen Körpern, welche der Veränderung ihrer Form und ihres Volumens nicht nur widerstreben, sondern beide von selbst wieder herstellen, weil ihre Theile in der ursprünglichen Lage und Entfernung verharren wollen, gibt es noch andere, welche entweder diese Formveränderungen erdulden, wie z. B. ein Körper aus weichem Thone, oder sich bleibend zertheilen wie ein Körper aus gebranntem Thone, ohne daß eine weitere Veränderung der Lage ihrer Theile einträte. Die ersteren Körper heißen elastische, die letzteren unelastische und die Ursache für die Erscheinung an jenen die Elastizität oder Spannkraft.

Wir können also sagen, daß ein Körper elastisch ist, wenn durch Pressen oder Ausdehnen, durch Biegen oder Drehen, durch Stoßen oder überhaupt durch eine die Form des Ganzen verändernde Kraft, die einzelnen von einander nicht getrennten Theile desselben gewaltsam aus ihrer natürlichen Lage gebracht worden sind, und wenn sie nach dem Aufhören dieser äußeren Einwirkung von selbst durch eine Reihe von Schwingungen in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, so daß der Körper seine ursprüngliche Form und sein Volumen wieder erlangt.

Man kann der rückwirkenden Kraft der Elastizität noch verschiedene Benennungen geben, jenachdem die Formveränderung bewirkt worden ist: hat man einen Körper gedrückt, so heißt sie expansive (ausdehnende) Elastizität; hat man ihn ausgedehnt, attraktive (anziehende); hat man ihn gedreht, Torsionselastizität (Drehungselastizität).

Wäre ein Körper vollkommen elastisch, so würde keine noch so

bedeutende Kraft im Stande sein die Lage seiner Theile auf die Dauer zu verändern. Bei den meisten Körpern aber gibt es eine bestimmte Gränze, die Elastizitätsgränze, bis zu welcher sie zwar vollkommen elastisch sind, wie Drähte und Stäbe von Metall, welche man durch Spannung ohne Aenderung ihrer Elastizität verlängert; über welche hinaus aber die geringste Vermehrung der angewendeten Kraft den Zusammenhang der Theilchen stört; es findet ein Zerdrücken, Zerreißen, Zerbrechen, Zerdrehen, ein Zerstoßen statt. Es kommt hierbei durchaus nicht auf den sonstigen Grad der Festigkeit an; denn obwohl z. B. die absolute Festigkeit eines Eisendrahtes nur 1,7mal größer ist, als die eines Drahtes von Messing mit gleichen Abmessungen; so leistet doch der Eisendraht einen 3,3mal größeren Drehungswiderstand, oder hat eine 3mal größere Torsionsfestigkeit, als der Messingdraht. Wird die Drehung zu weit fortgesetzt, so werden die Theilchen auch im Innern auseinander gerissen.

Wenn Drähte von verschiedenen Metallen bei ihrer Anfertigung auch durch dieselbe Oeffnung gezogen worden sind, so haben sie doch nicht einerlei Dicke, sondern werden zufolge des Grades ihrer Elastizität noch wochenlang nach dem Ziehen in verschiedenem Maße dicker.

Einen höheren Grad von Elastizität besitzen Darmseiten, Sehnen von Thieren, Haare, zusammengedrehte Pflanzenfasern, Stahlstreifen, Stahlstäbe, Glasfäden, Holzstäbe (wie sie zu Armbrüsten, von den Wilden zu Bogen, in früheren Zeiten zu Ballisten und Katapulten gebraucht wurden); Scheiben von Metall, Glas, Holz, Leder (wie bei den Trommeln und Pauken); die Nägel der Hände und Zehen, die Federn der Vögel, Fischbein, Horn, Knochen, Zähne, besonders die das Elfenbein benannten Stoßzähne des Elephanten, Kautschuk und Guttapercha, Marmor, Gußeisen, gehämmertes Messing, die verschiedenen Luftarten, die Dämpfe u. s. w.

Recht auffallend zeigt sich die Wirkung der Elastizität, wenn man eine trockene Elfenbeinkugel auf eine mit Lampenruß geschwärzte Platte von polirtem Marmor oder Granit aus verschiedenen Höhen fallen läßt; denn je größer die Fallhöhe, also auch die Geschwindigkeit und Kraft ist, mit welcher die Kugel an der Platte ankommt, desto größer zeigt sich an der Kugel, die man nach einmaligem Aufspringen aufgefangen hat, der schwarze Fleck, welcher nur dadurch möglich wird, daß die Kugel beim Zusammentreffen mit der ebenen Platte einen Augenblick sich abplattet und desto größer ist dann die rückwirkende Kraft der Elastizität, mit welcher der Körper seine frühere Kugelgestalt herstellt, so daß er, wenn die Platte fest und unbeweglich gedacht wird, bei der größeren Fallhöhe auch weiter zurückspringt. — Läßt man dagegen eine Bleikugel oder eine Kugel aus gebranntem Thone auffallen, so springen sie nicht in die Höhe, sondern bleiben liegen; sind also nicht oder kaum merklich elastisch.

Wir benutzen die Elastizität theils zu unserer Bequemlichkeit, theils als bewegende, theils als messende Kraft.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wenn ein Personenwagen entweder in elastischen Metallfedern hängt oder auf solchen ruht, so werden die durch die Unebenheiten des Bodens beim Fahren erzeugten Stöße gemäßigt, weil die kurze Einwirkung des Stoßes auf eine längere Zeit vertheilt wird, indem die Feder einen längeren Weg zurücklegt, als das Rad beim Stoße. — Polsterstühle, Sophas, Matratzen werden mit spiralförmigen Federn versehen, theils um die durch den Gebrauch gemachten Eindrücke sofort zu beseitigen, theils um die Sitze und Lagerstätten trotz der Anwendung von weniger elastischen Körpern beim Polstern, weicher und nachgibiger zu erhalten. Vollständiger wird natürlich der Zweck erreicht, wenn man zum Polstern selbst sich möglichst elastischer Körper, wie der Vögelfedern, der Wolle, Roßhaare bedient.

Als bewegende und regulirende Kraft dient die Elastizität bei den Uhren, bei den Federn zum Zumachen der Hausthüren, an den Klappen verschiedener Blasinstrumente, bei den Schlössern an den Gewehren und Thüren, zu Bolzenbüchsen u. s. w.

Zum Messen von Kräften beim Kraftmesser oder Dynamometer sowohl für Menschen, als auch für Thiere (z. B. beim Ziehen und Pflügen), bei der Federwage zum Abwägen von Lasten, bei der coulombschen Drehwage für die Elektrizität u. s. w.

Die Expansivkraft der atmosphärischen Luft wird für Maschinen als bewegende Kraft für feste und tropfbare Körper benutzt. Die späteren Betrachtungen werden uns noch vielseitige Anwendungen der in der Elastizität liegenden Kraft kennen lehren.

Man hat die Körper in Beziehung auf die Elastizität, welche sie nach verschiedenen Richtungen zeigen, untersucht, um für das praktische Leben daraus Resultate zu ziehen. Hierbei kann die Elastizität beim Zerdrücken mit der beim Zerreißen als gleich betrachtet werden, weil sie beide in derselben Richtung gegen den inneren Widerstand der Elastizität wirken.

1) Bei der Elastizität des Zuges zeigt sich sofort, daß kein Körper vollkommen elastisch ist, weil die geringste Belastung schon eine, wenn auch bisweilen höchst unbedeutende bleibende Veränderung der Gestalt bewirkt. Man nimmt als untere Gränze an, daß die im Inneren wirkende elastische Kraft des Körpers beginnt, wenn er sich einer bleibenden Verlängerung widersetzt, die mehr als den 20000sten Theil seiner Länge beträgt. In Betreff der obersten Elastizitätsgränze muß festgesetzt werden, auf den wievielsten Theil ihrer Länge die Körper sich höchstens ausdehnen lassen, um nach dem Aufhören der Belastung ihre frühere Länge wieder anzunehmen.

Zur Anstellung vergleichender Versuche fertigt man aus den verschiedenen Körpern dünne Prismen oder Zylinder von gleichen Abmessungen, belastet sie mit gleichen Gewichten und untersucht, um den wievielsten Theil der Länge sie dadurch ausgedehnt werden; die Zahl,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

welche dieses angibt, heißt der Elastizitätskoeffizient. Je größer die innere Kraft des Körpers, desto kleiner ist der Koeffizient, so daß dieser nur ein indirektes Maß von jener ist.

Statt dessen kann man untersuchen, welche Belastung erforderlich ist, um die verschiedenen Körper um gleich viel auszudehnen. Die Zahl, welche die Menge der für einen Körper nothwendige Menge der Gewichtseinheiten angibt, heißt der Elastizitätsmodulus. Welche Verlängerung verlangt wird, ist gleichgiltig und die Belastung braucht nicht für jeden einzelnen Körper bis zu der angenommenen Verlängerung getrieben zu werden, indem man für unsere Gränzen festhält, daß die Verlängerungen in gleichem Verhältnisse mit den Belastungen wachsen, wodurch aus der zu einer kleineren Verlängerung gehörigen Belastung die zu der Normalverlängerung nothwendige leicht berechnet werden kann.

Man findet den Modulus aus dem Koeffizienten, wenn man diesen in 1 dividirt. Ist dieser z. B. 0,0005, so ist jener 2000. In der folgenden Tabelle geben die Zahlen an, wie viele Kilogramme nothwendig sind, um einen Zylinder von 1 Quadratmillimeter Querschnitt auf die doppelte Länge auszudehnen.

Metalle.		Hölzer.		Verschiedene Körper.	
Blei	1803	Pappel	517	Kautschuk	0,17
Silber	7357	Fichte	564	Gyps	630
Gold	8131	Eiche	921	Eis	541
Zink	8734	Buche	980	Fischbein	603
Palladium	11795	Birke	997	Sandstein	631
Kupfer	12449	Ahorn	1021	Kokonseide	861
Platin	17044	Erle	1108	Knochen	1635
Stahldraht	18809	Tanne	1113	Kalkstein	1887
Gußstahl	19549	Esche	1121	Marmor	2609
Eisen	20869	Ulme	1165	Krystallglas	5477
		Akazie	1261	Spiegelglas	7015
				Fensterglas	7917
				Schiefer	11034

Bei den Hölzern bezieht sich der Modulus auf die Elastizität, welche sie nach der Längenrichtung der Fasern oder Jahrgänge zeigen; der für die Querrichtung ist oft bedeutend kleiner; z. B. für Ahorn beträgt er 157, für Tanne nur 94,5, also noch nicht die Hälfte von jenen.

2) Die elastische Biegung ist bei einem bestimmten Körper sehr verschieden nach den Stellen, in denen er befestigt und in denen er belastet ist und hängt ferner von dem Verhältnisse der Länge, Breite und Höhe eines Körpers von bestimmtem Gewichte ab.

Ist ein Prisma an dem einen Ende festgeklemmt und an dem anderen noch nicht bis zur Elastizitätsgränze belastet, so steht die Senkung in gradem Verhältnisse mit dem Kubus der Länge, dagegen im

umgekehrten mit dem Kubus der Höhe und dem Quadrate der Breite. Ist also ein Prisma 2, 3, 4mal so lang, als ein anderes mit demselben Querschnitte, so ist bei derselben Belastung die Biegung 2^3, 3^3, 4^3 oder 8, 27, 64mal so stark; ist er aber bei derselben Länge und Breite 2, 3, 4mal so hoch, so ist die Biegung 2^3, 3^3, 4^3 oder 8, 27, 64mal so gering; ist er bei derselben Länge und Höhe 2, 3, 4mal so breit, so ist die Biegung 2^2, 3^2, 4^2 oder 4, 9, 16mal so gering.

In Betreff des inneren Widerstandes gegen die Biegung eines bestimmten Körpers sind die Verhältnißzahlen 64, 16, 1, jenachdem der Körper nur an dem einen Ende befestigt, an den beiden Enden unterstützt oder an den beiden Enden befestigt ist.

3) Die elastische Drehung steht innerhalb der Elastizitätsgränze bei einem gewissen Zylinder in gradem Verhältnisse der angewendeten Kraft. Mit zunehmender Dicke aber nimmt die im Innern rückwirkende Torsionskraft sehr bedeutend zu, denn sie wächst wie die vierten Potenzen, der Durchmesser ist also bei einem 2, 3, 4mal größeren Durchmesser 2^4, 3^4, 4^4 oder 16, 81, 256mal größer, als beim einfachen Durchmesser; daher die Größe der Bewegung bei Anwendung derselben Kraft auch in diesen Verhältnissen abnimmt. — In Betreff der Länge wächst die Erleichterung der Drehung im umgekehrten Verhältnisse mit ihr; also wird eine bestimmte Kraft bei doppelter Länge auch eine doppelte Drehung bewirken.

Die Undurchdringlichkeit.

Das Beharrungsvermögen bezieht sich ferner noch auf das Recht des Stoffes, den eingenommenen Raum gegen das Eindringen eines anderen Stoffes in denselben zu vertheidigen und nicht zu dulden, daß der andere Stoff denselben Raum gleichzeitig einnehme.

Gießt man in einen engen Trichter, welcher sich an den Hals einer Flasche recht gut anschließt, eine Flüssigkeit, so kann dieselbe in einem Strahle nicht einfließen, weil es die in der Flasche befindliche Luft nicht duldet. Erst wenn einzelne Luftblasen die Flüssigkeit stoßweise durchdringen oder wenn man den Trichter durch Emporheben lüftet, so daß die Luft zwischen ihm und dem Flaschenhalse entweichen kann, geht ein entsprechender Theil in die Flasche. — Ist in einem nach Kubikzollen und dergleichen eingetheilten Glaszylinder Wasser bis zu einer gewissen Höhe und thut man in das Wasser einen unregelmäßig geformten Stein oder anderen Gegenstand, welchen das Wasser oder überhaupt die angewendete Flüssigkeit nicht verändert, so steigt das Wasser im Zylinder um das Volumen des hineingethanen Körpers, so daß man auf diese Weise ein höchst einfaches Mittel hat, das Volumen oder den Rauminhalt eines unregelmäßig gestalteten Körpers zu finden.

Wenn eine Taucherglocke auch tief in das Wasser hinabgelassen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wird, so verschwindet die Luft in ihr nicht oder das Wasser kann ihren Raum nicht vollständig einnehmen.

Wenn Wasser in einen feuchten Waschschwamm eindringt, so verdrängt es nicht die Massentheile des Schwammes aus ihren Räumen, sondern dringt nur in die von ihm frei gelassenen Zwischenräume oder Poren, und so ist es in allen anderen Fällen, so daß wir allgemein die Behauptung aufstellen können: wo sich die Stofftheile eines Körpers befinden, können die eines anderen gleichzeitig nicht sein, oder der Stoff ist undurchdringlich.

Zweiter Abschnitt.

Die Stoffanziehung.

Allgemeine Erscheinungen.

Wir unterscheiden einfache Stoffe oder Elemente, welche durch kein bis jetzt bekanntes Mittel in andere Stoffe mit neuen Eigenschaften sich zerlegen oder auflösen ließen und zusammengesetzte Stoffe. Die Urstoffe bestehen aus Atomen, welche für verschiedene Stoffe eine verschiedene Gestalt besitzen; die Atome bilden Gruppen von ebenfalls verschiedenen Gestalten für die einzelnen Stoffe, welche Molekel genannt werden; die Molekel vereinen sich wieder zu Gruppen nach höherer Ordnung und geben die Körper. Ein einzelner Weltkörper wird gebildet durch zusammengehörige und ein Ganzes bildende Körpergruppen. Aber es gibt auch noch Weltkörpergruppen verschiedener Ordnungen. Unsere Sonne bildet mit einer ganzen Schaar von Planeten (bis jetzt 87 entdeckt), Nebenplaneten oder Monden (12) und Kometen ein unzertrennliches Ganzes, welches man ein Planetensystem nennen kann. Dieses zu unserer Sonne gehörige Planetensystem gehört aber mit der Sonne als Theil zu dem Systeme von Sonnen, welche wir als Fixsterne an der scheinbaren Himmelskugel erkennen und von denen etwa 7000 schon dem bloßen Auge sichtbar sind, deren Anzahl aber ungeheuer ist, da man zwischen denen der ersten und neunten Größe mehr als 70000 gezählt hat. Dieses Sonnensystem im eigentlichen Wortsinne steht nicht vereinzelt da, denn die in einem großen Gürtel an der Himmelskugel sich hinziehende sogenannte Milchstraße löst sich durch gute Fernröhre in Fixsterne auf, bildet also für sich einen Sonnenhaufen. Solcher Sonnenhaufen hat man aber im Weltraume schon gegen 2000 entdeckt, von denen sich viele trotz der besten Fernröhre nicht mehr in Sterne auflösen ließen, weil sie allzuentfernt sind. Wegen ihres nebelartigen Aussehens hat man sie Nebelflecken genannt, so daß wir Nebelfleckensysteme haben und so geht es wohl in's Unendliche fort, indem kleinere Gruppen von Nebelfleckensystemen sich zu immer größeren verbinden. Unsere beschränkten irdischen Vorstellungen

zerfallen in Nichts vor der Unendlichkeit des Weltalls, welches zu erforschen uns unmöglich ist. Wir können nur meinen, daß die von uns erforschten und an allen uns zugänglichen Erscheinungen in der Natur als durchgreifend herrschend erkannten Gesetze auch für das unendliche Weltall gelten.

In allen diesen Erscheinungen von dem unendlich Kleinen bis zu dem unendlich Großen, welche beide für unsere irdischen Vorstellungen unfaßbar sind, waltet eine physikalische Kraft, welche sich in dem Bestreben des Materiellen zeigt, ein Ganzes mit möglichst kleiner Umgränzung, d. i. die Kugelgestalt, zu bilden. Wir erkennen dies an jeder kleinen Menge irgend einer Flüssigkeit, an jedem geschmolzenen festen Körper, ja an den großen frei im Weltraume schwebenden Tropfen, den kugelförmigen Weltkörpern.

Ueberall zeigen Stofftheilchen das Bestreben einander anzuziehen und festzuhalten. Haben sich z. B. aus frisch geschöpftem Wasser kleine Luftblasen gebildet, so hängen sie sich an die Seitenwand des Gefäßes oder an ein hineingehaltenes Stäbchen; bringt man eine derselben mit einer zweiten in Berührung, so verschmelzen sie sich in eine, wie es auch mit zwei einander berührenden Quecksilberkügelchen geschieht; berühren einander zwei Körper mit recht glatten Flächen, so suchen sie einander festzuhalten wie z. B. wenn man eine Spiegelglasscheibe mit der Oberfläche von Wasser oder einer anderen Scheibe der Art in Berührung gebracht hat und von ihr entfernen will; legt man auf ruhiges Wasser zwei schwimmende Körper, z. B. zwei Zündhölzchen, in einiger Entfernung von einander, so sieht man sie mit wachsender Geschwindigkeit einander sich nähern, der leichtere rascher, als der andere und sie legen sich so an einander, daß die Berührung in möglichst vielen Stellen stattfindet.

Diese scheinbar so unscheinbare Kraftäußerung ist durch den ganzen Weltraum verbreitet und regiert mit der absolutesten Strenge, aber auch ohne alle Willkühr, sondern nach absolut bestimmten Gesetzen die ganze Welt. Daß die verschiedenen Stoffe je nach ihren Atomgewichten und Urgestalten darin ein verschiedenes Bestreben zeigen, ist vollkommen naturgemäß. Daher kommt es auch, daß es uns bisweilen scheint, als gäbe es Ausnahmen von Gesetzen, die sonst eine große Allgemeinheit haben. Wenn z. B. der Körper b zwischen a und c sich befindet und von a mehr angezogen wird, als von c; so wird er sich zu dem a hinbewegen und es wird scheinen, als ob er von c abgestoßen würde. Wenn man hierbei also von dem Vorhandensein der in a wirksamen Kraft absieht, wozu man leicht veranlaßt werden könnte, wenn a sich unserer sinnlichen Wahrnehmung entzöge; so scheinen die Körper b und c einander abzustoßen, also gegen das obige Gesetz, daß alles Stofflige einander anzieht, zu verstoßen. Solche scheinbare Ausnahmen sind viele vorhanden. Hält man z. B. ein reines Glasrohr, wie man zu Barometern nimmt, nach einander in reines Wasser und in Quecksilber,

so zieht sich das Wasser an den inneren Röhrenwänden in die Höhe und bildet eine ausgehöhlte (konkave) Fläche; das Quecksilber aber steht am Glase tiefer, als in der Mitte, als ob es vom Glase abgestoßen würde, und bildet eine erhabene (konvexe) Fläche und dennoch findet zwischen dem Quecksilber und dem Glase als Gesammtmassen nur Anziehung statt, wie es sich recht auffällig schon zeigt, wenn man eine Glastafel mit der Oberfläche von ruhendem Quecksilber in Berührung bringt und dann die Glastafel vom Quecksilber trennen will. — Ein Wasser- und ein Oeltropfen haben durchaus keine Neigung sich als Ganzes zu zeigen und einen neuen einzigen Tropfen zu bilden, und so zeigt sich eine Verschiedenheit in dem Grade der Anziehung verschiedener Stoffe bis zurück in die Atome.

Wir können, was die allgemeine Stoffanziehung anlangt, nach den bereits gegebenen Andeutungen leicht vier Fälle unterscheiden:

1) die sich in den Stoffatomen äußernde Anziehung, welche man gewöhnlich chemische Anziehung nennt, und welche die Erscheinungen der vorhandenen und mangelnden Verwandtschaft und Wahlverwandtschaft zeigt;

2) die das Vorhandensein der Körper bewirkende Anziehung der Atomgruppen, welche man Kohäsion nennt;

3) die bei der Berührung aller Körper sich äußernde Anziehung, welche mit dem allgemeinen Namen Adhäsion bezeichnet wird und

4) die auf jede Entfernung, selbst bis in den unendlichen Weltraum, sich erstreckende Massenanziehung, welche Gravitation oder Schwere genannt wird.

Die drei Aggregatzustände.

Die Neigung der Theile von Stoffen sich zu einem Körper zusammen zu scharen ist eine sehr verschiedene und hängt auch bei jedem bestimmten Stoffe noch von äußeren Umständen, wie von dem Zustande der Wärme und der Größe des auf den Stoff ausgeübten Druckes ab.

Wenn die Anziehung der Stofftheile eines Körpers so groß ist, daß der Körper allein durch sie eine bestimmte Gestalt hat und behält; so heißt der Körper ein fester.

Ist bei einem festen Körper eine Zerlegung in Theile vorgenommen worden, so ist die Trennung eine bleibende. Ist z. B. aus einem Stücke Zucker durch ein Messer eine Anzahl kleinerer gemacht worden, so vereinigen die Theile sich nicht wieder zu einem Ganzen ohne besondere Mittel. Bei einem festen Körper, z. B. einem in der Hand gehaltenen Stabe, ist die Schwere der Theile, wodurch sie nach der mächtigen Erde hingezogen werden, nicht im Stande eine Trennung derselben zu bewirken.

Wenn die Anziehung der Theile eines Stoffes so geringe ist, daß

er nur durch feste Körper zu einer bestimmten Form gebracht werden kann, und wenn sich dann nach einer vorgenommenen Trennung jede Spur derselben sofort von selbst verwischt, so heißt der Körper ein flüssiger. Hat man z. B. Wasser oder Luft in einem Glase und fährt man mit einem Messer durch sie, so fließen die Massentheilchen nach der Schnittfläche so zusammen, daß jede Spur der Trennung verwischt wird. Es ist nicht möglich einen flüssigen Körper in einer beliebigen Gestalt, z. B. in der eines Stabes frei zu halten, weil das Bestreben der Theile zu fallen, oder die Gravitation nach der Erde hin größer ist, als die Neigung des Zusammenhanges unter einander.

Unter den flüssigen Körpern müssen wir noch einen wesentlichen Unterschied machen, denn die einen wollen, wenn sie sich selbst überlassen sind, sich kugelförmig gestalten, bilden daher in geringen Mengen Tropfen und heißen deshalb tropfbare Flüssigkeiten; die anderen haben das Bestreben sich allseitig auszudehnen, vergrößern ihr Volumen, wenn jeder äußere Druck auf sie aufhört und heißen luftige Flüssigkeiten. Die Kraft, mit welcher die letzteren sich auszudehnen streben, heißt ihre Expansivkraft.

Die Molekulargestalt der tropfbaren Flüssigkeiten ist wohl die Kugel, was darin eine Bestätigung findet, daß die tropfbaren Flüssigkeiten außerordentlich schwer sich zusammen drücken lassen, wie es in der That der Fall sein muß, wenn wir in einem Gefäße uns Schichten von Kugeln denken, die in den Reihen einander berühren, indem ein oberes Kügelchen auf vier unter ihm befindlichen ruht, und die zwischen einander nur so viel Raum leer lassen, als es die Kugelgestalt mit sich bringt.

Die Molekulargestalt der luftigen Körper wird zwar wohl auch die Kugel sein, aber ohne Berührung, so daß wir uns zwischen den Molekeln nur den absolut elastischen Weltäther denken können, der ihnen die Expansivkraft ertheilt und es auch gestattet, daß das Volumen der luftigen Körper auffallend verkleinert werden kann.

Jeder Körper erscheint unter bestimmten Umständen stets in einem der drei Zustände. Das Quecksilber erscheint bei einer Kälte von 39 Graden C. so fest, daß es sich hämmern läßt; bei höherer Temperatur ist es tropfbar flüssig und zwar bis zu 360 °C. oder 288 °R. Wärme und nimmt von da ab den luftigen Zustand an, indem es sich in Dämpfe verwandelt. — Die kohlensaure Luft wird bei 78 °C. Kälte oder kann durch Vermehrung des Druckes flüssig und dann durch gleichzeitige Abkühlung fest werden. — Schweflige Säure, welche sich beim Verbrennen des Schwefels in freier Luft bildet, wird schon bei — 10 °C. flüssig oder wenn man sie einem Drucke unterwirft, welcher das Vierfache von dem der Atmosphäre ist. — Eis, Wasser und Wasserdampf sind ebenfalls derselbe Körper (zusammengesetzt aus zwei Maß Wasserstoff und ein Maß Sauerstoff). — Die meisten festen Körper gehen bei der Erwärmung durch den Zustand des Tropfbaren in den des Luftigen über;

manche aber, wie z. B. die Holzarten (auch die vorweltlichen, wie die Steinkohlen), überspringen den flüssigen Zustand und gehen beim Verbrennen sogleich in den luftigen über.

Wenn wir bei den gewöhnlichen Temperaturverhältnissen einen bestimmten Körper nur in einem bestimmten Aggregatzustande, verschiedene Körper aber in verschiedenen Zuständen erscheinen sehen, so sind das ganz relative Verhältnisse. Für keinen Stoff ist der Aggregatzustand, in welchem er grade erscheint, ein nothwendiger.

Es gibt verschiedene Grade der Festigkeit und Flüssigkeit: wird siedend heißer Schwefel in kaltes Wasser gegossen, so bleibt er längere Zeit weich; Gemische sind oft dickflüssig wie Terpentin aus einem leicht flüssigen ätherischen Oele und einem festen Harze; der dickflüssige Syrup u. s. w.

Erste Stufe:

Die Atomen-Anziehung.

Das Verhalten der Stoffatome verschiedener Urstoffe zu einander gehört, wie bekannt, eigentlich in die Chemie, aber es sind die hier thätigen Kräfte wesentlich dieselben, wie wir sie in der Physik kennen lernen, und die chemischen Erscheinungen gehen ebensowohl in physikalische über, wie auch der umgekehrte Fall stattfindet. Nehmen wir beispielsweise das Telegraphiren! In dem Apparate, welcher die Elektrizität erzeugt oder welcher die Elektromotoren enthält, findet eine Atombewegung statt, diese wird verwandelt in eine Molekularbewegung des Kupferdrahtes, und letztere bringt die Körperbewegung des Eisenankers am Elektromagneten hervor. Nur die erste, mit einer Umwandlung der Elektrizitätserreger verbundene Bewegung ist eine chemische, die letzten beiden sind physikalische. Es sind dieses nichts anderes, als Umwandlungen der Bewegungsarten bei der Uebertragung der Bewegungen.

Umgekehrt bringt die physikalische Bewegungserscheinung des Lichtes eine chemische hervor, wenn es Wasserstoff und Chlorgas unter einer heftigen Explosion zu Salzsäuregas verbindet, oder wenn es auf angemessen zubereiteten Platten Bilder von Gegenständen und Personen darstellt.

Wenn wir nun auch in der Physik der chemischen Untersuchungen nicht entbehren können, so müssen wir doch hier, wo wir uns die Physik als wesentlichen Stoff für die Betrachtung gesetzt haben, jene Darstellungen auf ein bescheidenes Maß zurückführen, wollen indeß später bei den physikalischen Erscheinungen auf Einzelnes noch zurückkommen.

Die Stoffatome verschiedener Urstoffe sind nur dann im Stande ihrer gegenseitigen Anziehung zu folgen, wenn von den beiden Stoffen wenigstens der eine bereits flüssig ist oder flüssig gemacht wird.

Wir können unter dieser Voraussetzung uns die Verbindungen von

einfachen Körpern aller drei Aggregatzustände, theils eines jeden mit sich, theils mit jedem der beiden anderen, denken und bekämen somit sechs einzelne Fälle. Diese Verbindungen sind oft mit einer Veränderung des Aggregatzustandes verknüpft. Die mit einander sich verbindenden Stoffe bilden vorher immer einen Gegensatz, der sich in der Verbindung ausgeglichen hat, gerade wie bei der Elektrizität und dem Magnetismus.

Sind die mit einander sich verbindenden Stoffe einfach, so heißt die Neigung zur Verbindung einfache Verwandtschaft; ist von den beiden Stoffen der eine ein einfacher, der andere ein zusammengesetzter und sucht sich der erste einen Bestandtheil des zusammengesetzten heraus, um sich mit ihm zu verbinden, so daß der andere Bestandtheil frei wird; so heißt diese Neigung zur Verbindung eine Wahlverwandtschaft; sind beide Stoffe zusammengesetzte, und verbinden sich die beiden Elemente des ersten einzeln mit je einem des anderen, so ist dies die doppelte Wahlverwandtschaft.

1) Die meisten Metalle verbinden sich unter dem Einflusse der Wärme, welche sie in den flüssigen Zustand versetzt, zu einem zusammengesetzten Metalle, dessen Farbe, Glanz, Dichtigkeit, inneres Gefüge, Härte und Schmelzbarkeit ganz anders ist. Ist das eine Metall ein edles, wie Gold oder Silber, so heißt das zusammengesetzte eine Legirung, sind die Metalle aber unedle, so heißt die Zusammensetzung eine Komposition und die Verbindungen mit Quecksilber werden Amalgame genannt.

Der Werth der Goldlegirungen, welche entweder rothe oder weiße sein können, jenachdem man dem Golde Kupfer oder ein weißes Metall zugesetzt hat, wird nach Karaten bis zu 24 Gewichtstheilen beurtheilt: 8karatiges Gold ist also solches, bei welchem unter 24 Gewichtstheilen der Legirung nur 8 Thlr. Gold, also die übrigen 16 ein unedles Metall sind; man nennt dies häufig Kronengold.

Die Silberlegirungen werden nach den Gewichtsantheilen des reinen Silbers, welche in 16 Lothen des Metalles enthalten ist, bestimmt: 12löthiges Silber enthält also ¼ seines Gewichtes von einem unedlen Metalle, wozu hier auch das Kupfer gerechnet wird oder in 16 Lothen dieses Metalles sind nur 12 Loth reines Silber; 16löthiges Silber ist also reines Silber (eine feine kölnische Mark gibt 15 Thaler).

Die Kompositionen sind oft fester, als die einfachen Metalle, z. B. das Messing aus Kupfer und Zink im Verhältnisse 70 zu 30 das gelbe Messing, aber 92 bis 82 zu 8 bis 18 das rothe Messing oder Tomback und 8 zu 3 der Messingdraht; mit Zinn gibt es das gelbliche Kanonenmetall, worin 100 Theile Kupfer und 10 Theile Zinn sind. Es ist hart, elastisch und zähe genug, um einen aus dem Pulver entwickelten Druck von 4300 Athmosphären auszuhalten.

Gutes Glockengut enthält in 100 Gewichtstheilen 21,5 Zinn,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

2 Blei, 2,5 Nickel, 74 Kupfer. Manche halten das Blei für schädlich und nehmen blos zu 78 Theilen Kupfer 22 Theile Zinn.

Genau 90 Theile Kupfer und 10 Theile Zink geben eine dem Golde sehr ähnliche Legirung; 4 Theile Kupfer und 1 Theil Zinn das chinesische Tam-Tam, welches bei langsamer Abkühlung spröde wie Glas, bei schneller aber dehnbar wird. Eine Scheibe aus harten und weichen Stellen von diesem Metalle giebt einen sehr rauschenden, lange anhaltenden und in auffälligster Weise in seiner Stärke wechselnden Schall.

Eisen wird durch 1 Prozent Silber sehr hart und gibt Silberstahl.

Blei mit Spießglanz giebt die Typen für die Druckereien.

Neusilber von dem Aussehen des 12½löthigen Silbers besteht aus Kupfer, Zink und Nickel in den Verhältnissen 55, 30, 18 oder 60, 20, 20 (zu Eßgeräthen) oder 30, 10, 10 (zu Argentanblech) oder 54, 25, 18 mit 3 Blei zu Gußsachen, weil diese Zusammensetzung leicht schmelzbar ist. Auf dem Probirsteine ist Neusilber vom Silber schwer zu unterscheiden, aber ein Tropfen Salpetersäure löst die dünne Metallhaut von jenem sehr schnell zu einer grünlichen Flüssigkeit, welche durch Salzsäure nicht wie die Silberlösung getrübt wird.

Unter den Metallkompositionen nimmt die Bronze eine der wichtigsten Stellen in der Technik ein. Die Hauptbestandtheile sind Kupfer, Zinn, Zink in verschiedenen Verhältnissen je nach den Zwecken. Kupfer wird durch Zusatz von Zinn härter, elastischer (klingender), schmelzbarer und für Politur sehr geeignet.

Die Farbe geht mit dem zunehmenden Gehalte an Zinn durch Röthlichgelb und Röthlichgrau in's Stahlgraue über, wenn im letzteren Falle Zinn mindestens ein Drittel der Mischung beträgt.

Die Kohäsion ändert sich auch nach dem Mischungsverhältnisse: sind weniger als 15 Prozent Zinn genommen, so ist die Legirung sehr zähe und etwas hämmerbar; beim allmähligen Zusatze steigt die Sprödigkeit und bei 65 Kupfer mit 35 Zinn erreicht sie den höchsten Grad, so daß die Legirung von der Feile kaum noch angegriffen wird, von 50 Prozent Zinn an wird sie wieder weicher.

Alle Zinkkupferlegirungen, selbst die härtesten, erlangen, wenn sie nach dem Erhitzen durch Ablöschen in kaltem Wasser plötzlich abgekühlt werden, eine solche Dehnbarkeit, daß sie sich leicht hämmern lassen. Werden sie dann wiederholt erhitzt und langsam abgekühlt, so erlangen sie ihre frühere Härte.

Aus Legirungen mit mehr als 60 Prozent Kupfer scheidet sich nach dem Schmelzen beim langsamen Erkalten eine kupferreiche, schwerflüssige und gelbe Legirung von einer zinnreichen, leichtflüssigen und weißen Legirung aus. Dieser Uebelstand wird durch einen Zusatz von Zink gemildert und zugleich die Schmelzbarkeit erhöht. Je nach den verschiedenen Zwecken sind die Zusammensetzungen verschieden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zu Statuen nahmen die Griechen in der Blüthezeit der Kunst nie Zink, sondern Kupfer 75 bis 92 Theile, Zinn 6,5 bis 25 Theile und bis 6 Prozent Blei. An ihnen zeigt sich die schön grüne Patina, welche an den neueren Monumenten sich nicht recht bilden will. Die berühmte Reiterstatue Ludwigs XIV. enthält 91,4 Kupfer 5,53 Zink, 1,7 Zinn und 1,37 Blei. In anderen wechselt das Zink zwischen 4 und 10, das Zinn zwischen 2 und 6 Prozent, während der Antheil von Blei geringer ist.

Zu Metallspiegeln ist am besten die feinkörnige, silberweiße Mischung aus 31,5 Theilen Zinn und 68,5 Theilen Kupfer; etwas Arsenik erhöht den Glanz.

Die meisten Legirungen schmelzen leichter, als die einfachen Metalle, werden daher zum Löthen gebraucht. Auffallend ist dies bei dem Metallgemisch von H. Rose, welches aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Zinn und 1 Theil Blei besteht, bei 93¾ °C. schmilzt und daher im kochenden Wasser zerfließt, so daß es leicht zur Anfertigung von Abdrücken angewendet werden kann. Am merkwürdigsten ist eine Komposition von Lippowitz aus 15 Theilen Wismuth, 8 Theilen Blei, 4 Theilen Zinn und 3 Theilen Kadmium, welche schon bei 60 — 65 °C. schmilzt, obwohl Zinn erst bei 229°, Wismuth bei 256°, Kadmium bei 320° und Blei bei 334° schmilzt.

Anwendung finden solche Gemische beim Plombiren der Zähne, zur Anfertigung von Matrizen, zu Modellen für die Galvanoplastik, namentlich für Sicherheitsventile bei Dampfmaschinen, indem dergleichen Pfropfen in den Dampfkesseln schmelzen, wenn der Dampf bei erhöhter Temperatur eine gewisse Spannung erreicht hat.

2) Wird Gold oder Silber mit Quecksilber in Berührung gesetzt, so verbindet sich dieses mit jenen zu einem Amalgame. Man muß sich daher sehr hüten, goldene Ringe und dergleichen mit Quecksilber zu berühren. Das Amalgam zum Einreiben des Reibzeuges an Elektrisirmaschinen besteht aus 2 oder auch allenfalls 1¾ Gewichtstheilen Quecksilber; 1 Theile Zinn und 1 Theile Zink. — Wenn man Zinnfolie mit Quecksilber benetzt und die Amalgamirung durch Einreiben mit einem Hasenfuße und dergleichen befördert, darauf zunächst Fließpapier und dann eine reine und trockene Spiegelglasplatte legt; so wird man nach dem vorsichtigen Wegziehen des Papiers, wodurch der Schmutz vom Quecksilber entfernt wird, und dem Festdrücken des Glases an's Amalgama die Folie des Spiegels haben, die am Glase gut haftet, während dies vom Quecksilber und Zinn einzeln nicht gilt.

3) Feste Körper ziehen auch luftige Körper an und bilden chemische Verbindungen, welches, wenn Sauerstoff mit Heftigkeit angezogen wird, Verbrennungsprozesse und gefährliche Selbstentzündungen gibt. Verbindet sich ein Metall langsam mit Sauerstoff, so bildet sich nur Rost, der bei verschiedenen Metallen eine verschiedene Farbe hat, bei Eisen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gelbbraun, bei Silber grün, bei Zink weißlich. Im Allgemeinen heißen diese Verbindungen Oxyde.

Hat man aus Bergwerken frisch geförderte Steinkohlen zu großen Haufen aufgeschichtet, so werden sie durch den aus der atmosphärischen Luft angezogenen Sauerstoff nicht nur heiß, sondern entzünden sich. Um dieses zu vermeiden, muß man dafür sorgen, daß die im Innern der Haufen entstehende Wärme einen Abzug findet, was geschieht, wenn man vom Erdboden aus lose Reisigbündel oder neben einander gestellte Latten durch sie gehen läßt. Aeußerlich können sich die Kohlen nicht so stark erhitzen, weil stets ein Abzug von Wärme und eine Abkühlung durch die umgebende Luft stattfindet. Je größer die Poren und Zwischenräume, also je geringer die Masse, desto schwächer ist die Verschluckung oder Absorption von Luft.

In Kohlenbergwerken entstehen daher nicht selten Erdbrände, welche abgemauert werden müssen, um ihre zerstörenden und nachtheiligen Wirkungen zu hemmen. — Frisch bereitete und fein zertheilte Holzkohle erhitzt sich ebenfalls, besonders, wenn sie noch glühend in Quecksilber vorher abgelöscht worden ist. — So manche Selbstentzündungen sind auch in Pulverfabriken vorgekommen.

Ein Raumtheil Buchsbaumkohle verschluckt 9¼ Sauerstoff, 35 kohlensaures Gas, 65 schwefligsaures, 85 salzsaures und 90 Ammoniakgas.

In Betreff der Selbstentzündungen ist auch noch in anderen Fällen die größte Vorsicht zu empfehlen: so darf man es nicht wagen, feuchtes Heu und Stroh in größeren Mengen zusammen zu packen oder gefirnißte und geölte Zeuge, oder rohe Baumwolle und Watte.

Platinschwamm zieht Sauerstoffgas heftig an und verdichtet es; wenn nun noch ein Strahl von Wasserstoffgas darauf strömt, so wird er selbst glühend und zündet nun das brennbare Gas in der atmosphärischen Luft an. Darauf gründet sich die von Döbereiner angegebene Zündmaschine. — Die sogenannten Pyrophore, wie z. B. mit Kohle mäßig geglühtes Kalialaun oder schwefelsaures Kali mit Kienruß, ziehen den Sauerstoff der atmosphärischen Luft so heftig an, daß sie in ihr erglühen, daß man also einen ungefährlichen Feuerregen, z. B. für Theater, erzeugen kann.

Feines Arsenik- oder Antimonpulver entzündet sich, wenn es in ein Gefäß mit Chlorgas gestreut wird. — Kaliummetall verbrennt auf Wasser mit Flammen, indem es das Wasser zersetzt, wobei der Wasserstoff entweicht. — Ein Stahlstreifen verbrennt in reinem Sauerstoff mit einer fast unerträglich hellen Flamme, indem glühende Stahlkügelchen abgeschleudert werden, welche sich zum Theil sogar in's Glas einschmelzen.

Je mehr man die Ackererde lockert, desto eher zieht sie aus der Atmosphäre Gase und Dünste an und desto eher erwärmt sich sogenannter kalter Boden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Viele Körper haben gegen riechende Stoffe eine große Anziehung und riechen dann selbst sehr stark.

4) Auch tropfbare Flüssigkeiten besitzen das Vermögen luftige zu verschlucken oder zu absorbiren, ohne daß letztere einem vermehrten Drucke ausgesetzt werden, oft in einem sehr hohen Grade und erwärmen sich dabei. Ein Maß Wasser verschluckt 670 Maß salzsaures Gas, wodurch Salzsäure entsteht und gar 670 Maß Ammoniakgas.

Soll Wasser möglichst viel von einem gewissen Gase aufnehmen, so muß letzteres einem möglichst großen Drucke ausgesetzt und mit dem möglichst kalten Wasser an recht vielen Stellen in Berührung gesetzt werden. Dieses Verfahren wird bei der Anfertigung der künstlichen Mineralwasser angewendet, wobei verdichtetes kohlensaures Gas in's abgesperrte Wasser gepreßt und beim Auffüllen auf Flaschen dafür gesorgt wird, daß es mit der äußeren Luft möglichst wenig in Berührung kommt.

Das Wasser ist bei abnehmender Temperatur im Allgemeinen für die Absorption der Gase empfänglicher, und daher darf die Anfertigung der künstlichen Mineralbrunnen mit Kohlensäure durchaus nicht in warmen Räumen vorgenommen werden. Es gibt für jede Flüssigkeit bei einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten auf das Gas ausgeübten Drucke einen gewissen Sättigungspunkt, über welchen hinaus die Flüssigkeit noch mehr Gas aufzunehmen nicht im Stande ist.

5) Die Verbindung tropfbarer Flüssigkeiten mit einander ist bisweilen auch so heftig, daß sie mit namhafter Wärmeentwickelung verbunden ist, wie wenn Schwefelsäure und Wasser zu einander gethan werden. Erstere zieht daher sogar das in der Luft als Dampf oder Dunst schwebendee Wasser begierig an und trocknet somit die Luft aus.

Schwefelsäure, bestehend aus 16 Schwefel und 24 Sauerstoff, zieht aus feuchter Luft das 15fache ihres eigenen Gewichtes von Wasser an.

Alkohol und Wasser verbinden sich mit einer Raumverengung auch, und zwar in beliebigen Verhältnissen, recht lebhaft mit einander, so daß sie selbst Hindernisse durchdringen. Hat man nämlich ein mit reinem oder absolutem Alkohol (Weingeist) gefülltes Gläschen mit weicher Rindsblase recht gut verbunden und legt man es in Wasser, so dringt letzteres durch die Blase in's Gläschen, wodurch die Blase so stark aufgetrieben wird, daß ein hoher Strahl von Flüssigkeit erscheint, wenn man eine kleine Oeffnung in sie sticht. — Ist daher eine offene Glasröhre an der einen Seite mit einer thierischen Blase verbunden und zum Theil mit Alkohol gefüllt, so muß, wenn man diese Röhre so weit in's Wasser taucht, bis die beiden Niveaus zusammenfallen, die Flüssigkeit in der Röhre bald höher stehen. Hat man die Röhre mit einer ganz dünnen Kautschukplatte verbunden und Spiritus darin, so geht er durch die Blase zum Wasser; während Wasser ebenso wenig durch Kautschuk, als Spiritus durch eine thierische Blase dringt. — Dasselbe ist der Fall, wenn in der

Röhre eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol ist oder wenn in ihr eine Zuckerlösung und außerhalb statt des reinen Wassers eine schwache Gummilösung angebracht ist.

Wird in die mit Blase gut verbundene Röhre Wasser gethan und dieselbe in eine gesättigte Kupfervitriollösung gestellt, so steht das Wasser bald tiefer als vorher. In beiden Fällen dringt von dem Kupfervitriole auch etwas in's Wasser, was sich an seiner Färbung verräth.

Ist eine zugebundene Blase mit dem Eiweiß von einem Hühnerei lose gefüllt, so schwillt sie im Wasser so bedeutend an, daß sie zerplatzt. — Ist eine solche Blase mit einem Gemisch aus Wasser und Weingeist der warmen Luft ausgesetzt, so verdunstet nur das Wasser und es bleibt endlich absoluter Alkohol zurück, so daß man schwachen Spiritus auf diese Weise konzentriren kann. — Aber durch ein dünnes Blättchen von Kautschuk dringt Wasser nicht, wohl aber Alkohol und man behält in ihr das Wasser.

Diese Erscheinungen nennt man Endosmose und Exosmose, jenachdem von einem Stoffe, z. B. dem Kupfervitriole, durch die Blase mehr herein oder mehr hinaus dringt. Der Grad der Endosmose und Exosmose hängt von der Stärke der chemischen Verwandtschaft der beiden Flüssigkeiten und der Verwandtschaft des Stoffes der Blase zu der eingeschlossenen Flüssigkeit ab. Der ungleich hohe durch die Feinheit der Poren ermöglichte Stand derselben läßt auf diese Stärke schließen. Im Wesentlichen sind Endosmose und Exosmose von einander nicht verschieden und man hätte für beide einen Namen einführen können. Es sind immer auf den beiden Seiten eines durchdringlichen Häutchens zwei Lösungen von verschiedener Konzentration und es dringt der aufgelöste Körper stets von der Seite der stärkeren Konzentration auf die andere, während das Wasser den entgegengesetzten Weg einschlägt, bis gleich starke Lösungen vorhanden sind.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß die Endosmose und Exosmose bei dem Stoffwechsel im Thier- und Pflanzen-Körper durch die mannigfachen häutigen Gebilde eine sehr bedeutende Rolle spielen.

Alle organischen Körper sind nämlich aus Zellen zusammengesetzt, welches geschlossene Bläschen sind, ohne irgend eine sichtbare Oeffnung nach außen. Sollen Pflanzen und Thiere sich ernähren, so müssen die Nahrungsstoffe sich in einer Lösung befinden. Die Pflanzen gehen in absolut trockenem Erdboden ein; wenn aber die äußersten Zellen der Pflanzenwurzel in Berührung mit einer Lösung des Nahrungsstoffes sind, so geht dieser durch Endosmose in diese Zellen und so von Zelle zu Zelle fort, bis er im Körper durch dieselben Vorgänge solche Verwandlungen erleidet, daß endlich die einzelnen Pflanzengebilde daraus hervorgehen.

Wenn nun auch der thierische Körper durch den Mund feste Nahrungsstoffe in sich aufnimmt, so werden sie doch mit den anderweitig

genossenen Flüssigkeiten im Magen in einen Brei verwandelt; geschähe dies nicht, so würden sie unverdaut wieder abgehen, wie es wohl bei weniger zermalmten oder nicht leicht auflöslichen Nahrungsmitteln vorkommt. Das weitere Geschäft übernehmen nun zunächst die Darmzellen, welche mit den Wurzelzellen der Pflanzen zu vergleichen sind; die veränderten Stoffe werden dann durch andere Gefäße (Chylusgefäße) dem Adersysteme zugeführt, um in den feinsten Verzweigungen als Blut den ganzen Körper zu durchwandern und durch die Wandungen den Stoff für die Entwickelung und Ernährung der Muskeln und Nerven abzugeben. Daß auch die Luftarten, namentlich in den Zellen des Lungengewebes, ähnliche Durchdringungen vornehmen und Verwandlungen erleiden, wird später bei der Diffusion der Gase während des Athmens erwähnt werden.

Statt thierischer Häute können für manche Zwecke, namentlich bei galvanischen Ketten, poröse Thongefäße angewendet werden.

6) Da die Luftarten nur eine geringe Dichtigkeit haben, so kann ihre Verbindung schneller geschehen und ist bisweilen sehr heftig. So geben 2 Maß Wasserstoff und 1 Maß Sauerstoff, wenn sie angezündet werden, unter einer sehr heftigen Explosion etwas Wasserdampf. — Ein Gemenge von Chlor und Wasserstoff (Chlorknallgas) verbindet sich nicht nur durch das Anzünden mit einem brennenden Hölzchen, sondern selbst schon unter dem Einflusse des direkten Sonnenlichtes unter einer Explosion zu Chlorwasserstoffsäure oder Salzsäure. Bei der bloßen Tageshelle und namentlich in dunkel gefärbten Flaschen geschieht die Verbindung nur allmählig. Was man gewöhnlich Salzsäure nennt, ist eine Auflösung von Chlorwasserstoffsäure in Wasser. 2 Theile mit 1 Theil Salpetersäure gibt das Königswasser, in welchem sich Gold, Platina und andere Metalle auflösen.

Wasserstoff und Stickstoff, welche beide geruchlos sind, geben das starkriechende Ammoniak.

Wenn in der oberen von zwei mit einander durch einen engen, zunächst abgesperrten Kanal verbundenen Kugeln das leichte Wasserstoffgas, in der unteren das schwere Kohlensauregas sich befindet; so bleiben sie nach der Herstellung der Verbindung nicht jedes in seiner Kugel, sondern jedes verbreitet sich auch in der andern so, als wäre sie luftleer, und nach kurzer Zeit haben sich beide in den verbundenen Räumen gleichmäßig vertheilt. — Ist Wasserstoffgas in einer thierischen Blase eingeschlossen und in der atmosphärischen Luft aufgehängt, so ist nach kurzer Zeit alles Gas aus der Blase entwichen und atmosphärische Luft dafür eingetreten. Ja man kann statt der Blase sogar einen Glasballon nehmen und findet, freilich nach viel längerer Zeit, nach 1 bis 2 Jahren, dasselbe. Diese Erscheinung, welche wir später unter dem Namen Diffusion noch genauer werden kennen lernen, ist aber nicht eigentlich eine chemische Verbindung, sondern nur die Folge der Spannkraft der Gase, welche aber für den Haushalt der Natur im höchsten Grade wichtig ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wie viel nämlich auch in einem menschenerfüllten Raume von dem Sauerstoffe der atmospärischen Luft verzehrt und wie viel auch kohlensaures Gas ausgeathmet werden mag, immer bleibt dasselbe Mischungsverhältniß, indem der ungeheure Vorrath von Sauerstoff in der ganzen Atmosphäre den Abgang sofort ersetzt und das kohlensaure Gas in sie entweicht, um den Pflanzen als Nahrung zu dienen, welche Sauerstoff abgeben.

Die ausgeathmete Kohlensäure läßt sich durch einen sehr einfachen Versuch leicht erkennen. Man löscht ein Stückchen frisch gebrannten Kalkes in Wasser ab; nachdem sich der Kalk gesetzt, gießt man das ganz klare Wasser ab und bläs't man in dasselbe durch ein Röhrchen Luft aus den Lungen; so verbindet sich die ausgeathmete Kohlensäure mit dem Kalke zu kohlensaurem Kalke und das vorher ganz klare Wasser trübt sich zu einem milchigen Aussehen.

Daß das Mischungsverhältniß in der atmosphärischen Luft ein ungeändertes bleibt, hat man nicht nur von der auf bedeutenden Höhen, sondern auch von der über den Köpfen der Zuschauer in der pariser Oper aufgesammelten Luft mit Bestimmtheit ermittelt. Wenn die Gegenwart vieler Menschen in einem verhältnißmäßig engen Raume die Luft für das Athmen mit der Zeit unangenehm macht, so liegt es in den andern ausgeathmeten und ausgedünsteten Stoffen.

In Betreff der chemischen einfachen und doppelten Wahlverwandtschaft ist noch zu bemerken, daß manche Stoffe zwar die Neigung haben, sich mit einander zu einem neuen Körper zu verbinden, wie z. B. Kalk und Kohlensäure, was kohlensauren Kalk (Kreide) gibt, daß aber ein dritter Körper, z. B. Schwefelsäure, zu dem einen Bestandtheile, hier nämlich dem Kalke, eine größere Neigung haben kann, als es mit der Kohlensäure der Fall war. Gießt man daher Schwefelsäure auf Kreide, so entweicht aus ihr die Kohlensäure unter heftigem Aufbrausen, und wir haben eine neue Verbindung, nämlich schwefelsauren Kalk oder Gyps. Dies ist natürlich ein sehr einfaches Mittel, um zu untersuchen, ob irgend ein Gestein kohlensauren Kalk enthält.

Werden zwei zusammengesetzte Körper zu einander gethan, so kann jeder Bestandtheil des einen mit dem einen Bestandtheile des anderen sich verbinden, so daß zwei neue Verbindungen entstehen, oder es kann nur der eine des ersten mit einem des zweiten einen neuen Körper bilden und die beiden anderen Bestandtheile werden aus den Zusammensetzungen einzeln ausgeschieden. Wird z. B. eine wässerige Lösung von kohlensaurem Kali zu einer solchen von schwefelsaurem Natron gemischt und dann die Mischung über einer mäßigen Flamme abgedampft, so erhält man beim Erkalten Krystalle von schwefelsaurem Kali und dann auch von kohlensaurem Natron. — Werden Terpentin und Weingeist sowie Salpeter mit Wasser verbunden und diese beiden Mischungen zusammengegossen, so verbinden sich Wasser und Weingeist, der Terpentin schwimmt oben und der Salpeter sinkt zu Boden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zweite Stufe:
Die Molekular-Anziehung.

Auch die Gruppen von Atomen oder die Molekel sowohl desselben Grundstoffes (Molekel des Schwefels), als auch verbundener Atome aus verschiedenen Elementen (Molekel des Wassers) haben das Bestreben nicht nur einander anzuziehen, sondern auch einander festzuhalten. Das gibt die drei Erscheinungen a. der Körpergestaltung, b. der Kohäsion, c. der Adhäsion.

a. Die Körpergestaltung.

Erscheint ein Körper im tropfbaren Zustande, so muß er sich, wenn nicht andere Kräfte auf ihn einwirken, und angenommen wird, daß jedes seiner Molekel jedes der anderen anzieht, kugelförmig gestalten und umgekehrt ist die Gestaltung zur Kugel ein unwiderleglicher Beweis von dem Bestreben eines jeden Massentheiles, jedes andere anzuziehen, wobei natürlich die anziehende Kraft eines bestimmten Theiles gegen einen anderen nach dem allgemeinen Gesetze abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen.

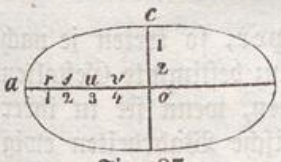


Fig. 27.

Denken wir uns, daß eine gewisse Menge einer Flüssigkeit eine länglichrunde Gestalt habe, wie in Fig. 27, und es lägen in der von o ausgehenden Linie oa fünf, in der oc nur drei Molekel in gleichen Entfernungen von einander, so wird a stärker nach o gezogen, als c; denn nehmen wir an, daß die Stärke der Anziehung von r gegen das a 1 sei, so ist die von s $^1/_4$, von u $^1/_9$, von v $^1/_{16}$, von o $^1/_{25}$; also die Gesammtanziehung des a nach dem o hin gleich $1 + {}^1/_4 + {}^1/_9 + {}^1/_{16} + {}^1/_{25}$. Dagegen ist die Gesammtanziehung des c nach dem o hin nur $1 + {}^1/_4 + {}^1/_9$; es ist also klar, daß sich a nach o hin bewegen muß und auch bewegen kann, weil die Molekel der Flüssigkeit unter einander absolut verschiebbar sind. Diese Bewegung wird für eine ruhend gedachte und durch eine andere Kraft nicht gestörte Menge irgend einer Flüssigkeit von irgend einer Gestalt nicht eher aufhören, als bis die Kugelgestalt hergestellt ist, bei welcher die Anziehung von der Mitte aus wegen der gleichen Vertheilung der Masse nach allen Richtungen gleich stark wirkt und somit Ruhe oder Gleichgewicht hergestellt ist.

Die Summe der hier wirkenden Molekularkräfte ist eine so bedeutende, daß sie nicht nur beim Aufspringen eines Tropfens auf einen festen Körper durch ihre Rückwirkung bei dem Bestreben, die während der Berührung gestörte Kugelgestalt wieder herzustellen, sondern sich auch in dem großen Widerstande äußert, welchen Flüssigkeiten dem

Zusammendrücken entgegensetzen. Wir werden uns nämlich naturgemäß, wie schon angedeutet worden ist, jede Menge einer Flüssigkeit aus einer unendlichen Anzahl von Molekularkügelchen denken müssen, die einander berühren und nur so viel Zwischenraum haben, als es ihre Kugelgestalt mit sich bringt. Da nun jedes einzelne seine Kugelgestalt festhalten will und jeder Kraft, welche sie ändern will, einen Widerstand entgegensetzt, so ist die Summe dieser Widerstände natürlich sehr groß, und selbst eine verhältnißmäßig außerordentlich bedeutende Kraft vermag das Volumen einer abgesperrten Flüssigkeit doch nur um eine Kleinigkeit zu vermindern, wobei jedes Kügelchen ein wenig abgeplattet und seine Masse in die Zwischenräume gedrückt wird. Hört die drückende Kraft auf, so nimmt die Flüssigkeit wieder ihr altes Volumen mit einer der drückenden Kraft gleichen rückwirkenden ein, was man nach dem früher gegebenen Begriffe als eine Aeußerung der Elastizität ansehen kann, während das Auffspringen, z. B. eines Wasserkügelchens von einem fein bestaubten Tische, nur aus der Neigung die Kugelgestalt herzustellen, entsteht.

Wird bei den tropfbaren Körpern die Kugelgestalt als Grundform der Molekel angenommen, so erklärt sich nicht nur die außerordentlich leichte Verschiebbarkeit der Massentheilchen, sondern auch das so außerordentlich wichtige Prinzip, daß der auf eine abgesperrte Flüssigkeit irgendwo ausgeübte Druck sich ungeschwächt durch die ganze Flüssigkeit fortpflanzt.

Gestaltet sich ein Stoff zu einem festen Körper, so treten je nach den verschiedenen Stoffen und Stoffverbindungen ganz bestimmte Gestalten hervor, von denen die Naturkräfte niemals abweichen, wenn sie in ihrer Wirksamkeit nicht gestört werden. Da mathematische Wahrheiten ewig unumstößlich sind und unwandelbare Prinzipien enthalten, so kann man sagen, daß die Natur hierbei mathematische Formen bildet, wie sie es in den Krystallen zeigt. Es zeichnen sich in dieser Beziehung die unorganisirten Körper besonders aus. Die Möglichkeit zur Bildung so bestimmter krystallinischer Gestalten ist aber nur dann gegeben, wenn sich der Stoff fein zertheilt entweder in einer tropfbaren oder luftigen Flüssigkeit, in letzterem Falle als Dampf, sich befindet und dann heißt die Krystallbildung Sublimation.

Die Erde hat uns aus ihren früheren Bildungsepochen eine Menge von diesen Formen hinterlassen. Der Basalt, dieses vulkanische Gestein, hat sich aus seiner geschmolzenen Masse oft in sehr mächtigen sechsseitigen Säulen krystallisirt, wie z. B. an dem (Wallenstein'schen) Schloßberge bei Böhmisch-Friedland.

Bei der Entstehung der Gebirge durch Erhebung von unten mußten die bereits abgekühlten und erhärteten oberen Schichten Risse bekommen, weil sie einen größeren Flächenraum einzunehmen hatten; in diese Gänge drangen die aus der Tiefe der Erde wegen noch fortdauernder Gluth aufsteigenden Dämpfe von Metallen und anderen Fossilien und setzten

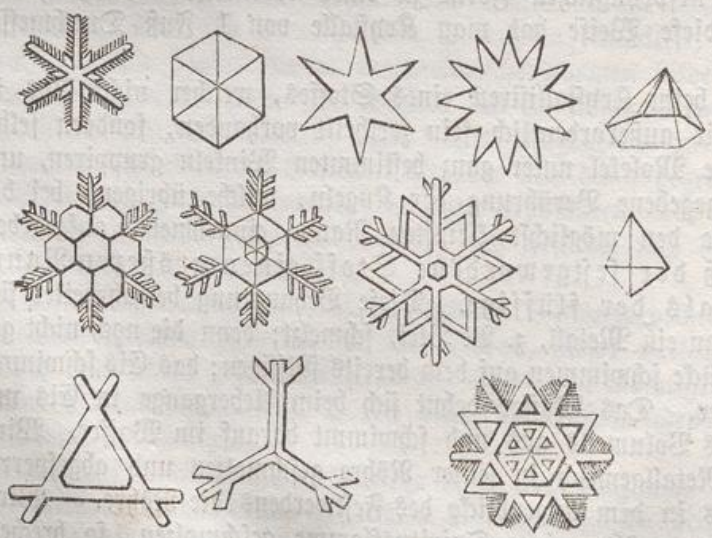
sich bei der Abkühlung als oft recht große und herrliche Krystalle an, wie wir z. B. in der Schweiz vorzügliche säulenförmige Bergkrystalle finden. — Auf ähnliche Weise bilden sich in den hohlkugelförmigen Drusen prächtige Krystalle. — Es krystallisirt das Kochsalz in Würfeln, der Zucker in Säulen, der Kalkspath in verschobenen Würfeln oder Rhomboedern und so jeder bestimmte Edelstein in einer bestimmten Gestalt, was der Juvelier berücksichtigen muß, wenn er Krystalle zertheilen will, ohne viele unbrauchbare Stücke zu bekommen, denn auch im Innern eines Krystalles findet sich die Lage der äußeren Begränzungsebenen wieder, was man den Blätterdurchgang nennt.

Wenn ein zum Krystallisiren geneigter Körper in einer Flüssigkeit vorhanden ist, und man thut zu ihr einen Stoff mit chemischer Verwandtschaft, so scheiden sich die Krystalle bald aus, wie wenn z. B. Weingeist zu einer wässerigen Auflösung von schwefelsaurem Kupferoxyd gethan wird. — Auch durch einen starken auf die Flüssigkeit ausgeübten Druck geschieht die Krystallbildung, wie z. B. bei flüssiger Essigsäure.

Herrliche Alaunkrystalle, welche bei vollkommen ungestörter Entwickelung die Gestalt von Oktaëdern annehmen, kann man auf folgende Weise erhalten. Man löst in kaltem Wasser so viel Alaun auf, als das Wasser aufnehmen will, sucht sich einen kleinen, recht hübschen Alaunkrystall von dieser Form aus, bindet ihn an einen dünnen Faden und hängt ihn, in die gesättigte Alaunlösung. Da nun das Wasser allmählig verdunstet und das übrige nicht mehr so viel Alaun, als früher, gelöst in sich tragen kann, so setzt sich der Ueberschuß an den kleinen Krystall, welcher, wenn hinreichend viele Lösung vorhanden, mit Beibehaltung der ursprünglichen Form zu einer bedeutenden Größe heranwächst. Auf diese Weise hat man Krystalle von 1 Fuß Durchmesser gezogen.

Da sich beim Krystallisiren eines Stoffes, welcher nicht blos in einer Flüssigkeit außerordentlich fein zertheilt vorhanden, sondern selbst flüssig ist, seine Molekel unter ganz bestimmten Winkeln gruppiren, und die vorhin angegebene Berührung der Kugeln, welche übrigens bei bestimmter Masse den möglichst kleinsten Raum einnehmen, aufgegeben wird; so muß der festgewordene Stoff einen größeren Raum einnehmen, als der flüssige. Diese Behauptung bewahrheitet sich schon, wenn man ein Metall, z. B. Blei, schmelzt; denn die noch nicht geschmolzenen Stücke schwimmen auf dem bereits flüssigen; das Eis schwimmt auf dem Wasser. Das Wasser dehnt sich beim Uebergange in Eis um etwa $1/10$ seines Volumens aus und schwimmt darauf im Wasser. Wird das Rosesche Metallgemisch in einer Röhre geschmolzen und abgesperrt, so zersprengt es in dem Augenblicke des Festwerdens die Röhre. — Wird essigsaures Natrum über einer Spiritusflamme geschmolzen, so brechen bei der Abkühlung durch die bereits fest gewordene obere Haut aus dem

Inneren der Flüssigkeit Krystalle hervor. — Ist Wasser in einer Bombe von 18 Zoll Durchmesser abgesperrt und erfüllt es dieselbe, so sprengt es beim Gefrieren das $2^3/_4$ Zoll starke Metall und schleudert 150 Pfund schwere Stücke bis auf 10 Schritte. Ein in sie getriebener Eisenstöpsel von $2^1/_2$ Pfunden wurde bei — 23 °R. unter einem Winkel von 45° auf 415 Fuß weit getrieben. — Eine Messingkugel von 2,9 Zoll Durchmesser und 1,6 Zoll Metallstärke borst, wozu eine Kraft von 27720 Pfunden gehört. — Reicht Wasser in einer Flasche bis obenhin, so gefriert ein Eistropfen aus ihr. Wasserleitungsröhren müssen im Freien so tief gelegt werden, daß sie der Winterfrost nicht mehr erreicht, welches für bestimmte Oertlichkeiten durch die Erfahrung angegeben wird; in den Gebäuden aber muß man anderweitig für ihren Schutz gegen Frost sorgen. — Ebenso muß man mit Wassergefäßen vorsichtig sein. Wenn die Dachsteine auf einem Gebäude nicht aus gutem Materiale sind, sondern das Wasser leicht in sich aufnehmen, so zerfrieren sie im Winter oder splittern wie auch der Kalkputz nach und nach ganz ab. — Der Winterfrost ist für die Aecker wohlthätig, indem er festeren Boden lockert und ihn so für die atmosphärischen, befruchtenden Einflüsse empfänglich macht. — Ja selbst Felsen werden unter Krachen durch das gefrierende Wasser auseinander gesprengt, verwittern auf diese Weise rascher und tragen so zur Befruchtung der Erdoberfläche bei. Daher die Felsentrümmer in Gletscherthälern. — Absichtliche Absprengung angebohrter Felsblöcke. — Starker Winterfrost zerstört die Gefäße der Pflanzen, namentlich älterer Bäume, deren Zellengewebe weniger elastisch ist; Frühlingsnachfröste sind auch jüngeren, wenn der Saft bereits in sie getreten war, nachtheilig.



(Fig. 28.)

Die schönsten und oft wunderbar regelmäßig gestalteten Eiskrystalle entstehen, wenn es recht kalt und heiter ist, sich also nur sehr wenige Wasserdünste in der Atmosphäre befinden, so daß sie sich recht langsam

ordnen können, ohne eine Störung durch die Bildung sehr benachbarter zu erfahren. Man kann sie gut beobachten, wenn man sie mit einer kalten Schiefertafel auffängt. Fig. 29 enthält von den mehr als 100 Gestalten einige Proben.

b. Die Kohäsion.

Zufolge der Anziehung der Molekel eines bestimmten einfachen oder zusammengesetzten Stoffes entstanden also Körper; folglich müssen bei jedem Körper die Massentheile ein gewisses Bestreben haben mit einander verbunden bleiben zu wollen. Diese Neigung des Zusammenbleibens, d. i. die Kohäsion, welche sich in dem Widerstande bei der Trennung äußert, ist im Inneren eines bestimmten flüssigen Körpers nach allen Richtungen dieselbe, bei einem festen aber nach verschiedenen Richtungen oft sehr verschieden.

1) Die tropfbaren Körper. Hat man Alkohol, Wasser und Quecksilber in drei einzelnen Gefäßen und fährt man mit demselben schmalen Brettchen auf gleiche Weise und mit gleicher Geschwindigkeit nach einander durch diese Flüssigkeiten; so ist der Widerstand bei der Trennung im Alkohol am kleinsten, im Quecksilber am größten. Der Grad der Kohäsion ist schon nach dieser Wahrnehmung bei verschiedenen Flüssigkeiten verschieden. Wenn daher aus verschiedenen Flüssigkeiten unter einerlei Umständen Tropfen gebildet werden, so sind sie nicht gleich groß; z. B. für Weingeist und Aether sind sie kleiner, als für Wasser. Hat man einen Tropfen Wasser zwischen den Spitzen zweier Finger, so läßt er sich, wenn man die Finger von einander entfernt, dehnen, ehe er zerreißt. Es wird also auch diese vom Grade des Flüssigseins abhängige Dehnbarkeit bei verschiedenen Flüssigkeiten verschieden sein.

An der Oberfläche einer Flüssigkeit haben die Molekel ein stärkeres Bestreben einander festzuhalten, als in ihrem Inneren; denn die letzteren werden nach allen Richtungen von anderen angezogen, die ersteren aber blos nach unten und von der Seite, so daß sie unter einander einen innigeren Zusammenhang haben und eine Art von Flüssigkeitshaut bilden, welche sich bei verschiedenen Erscheinungen zeigt. Ist z. B. ein engeres Trinkglas mit trockenem Rande vorsichtig gefüllt, so kann man über einen Papierstreifen immer noch etwas nachgießen und es überfüllen, so daß eine runde Kappe entsteht. — Auf die ruhige Oberfläche des Wassers in einem Glase läßt sich eine gebrauchte, also etwas fettige Nähnadel legen, ohne daß sie untersinkt. — Viele Insekten, namentlich die Wasserspinnen, können auf dem Wasserhäutchen laufen, ohne daß sie untersinken; sie machen mit ihren Füßen blos kleine runde Vertiefungen. — Wenn das Wasser aus dem kreisförmigen Spalte eines pilzförmigen Metallkörpers strömt, so hält es die Kohäsion so zusammen, daß eine förmliche Wasserglocke entsteht. — Bei Stürmen hindert es vorzüglich

die Kohäsion, daß die Wassertheilchen in die Höhe und fortgeführt werden. — Sie ist wirksam bei den Seifenblasen, welche sich deshalb verkleinern, wenn sie an einer offenen Röhre, die mit ihrem Inneren in Verbindung ist, sich befinden. Ebenso bei den schönen Figuren, welche an und zwischen mannigfach geformten dünnen Drähten entstehen. — In einem Flusse ist die Geschwindigkeit des Wassers in einiger Entfernung von der Oberfläche etwas größer, als an dieser.

Durch größere Erwärmung einer Flüssigkeit wird ihre Kohäsion vermindert, da die zunehmende Wärme die Molekel von einander entfernt, die anziehende Kraft benachbarter also abnimmt. Es ist also auch natürlich, daß die Kohäsion des Wassers abnimmt, wenn man Salz in ihm auflöst, weil dadurch die als Kügelchen zu denkenden Wassermolekel von einander auch entfernt werden.

2) Die festen Körper. Die Molekularanziehung ist bei festen Körpern zwar kräftiger, als bei flüssigen; ist aber eine Zerlegung in Theile vorgenommen worden, so bilden dieselben durch Aneinanderlegen doch nicht wieder ein Ganzes mit Verwischung der Spuren der früheren Trennung. Bei ihnen ist also die Lagerung der bei verschiedenen Stoffen verschieden geformten und verschieden angeordneten Molekel der Art, daß sie nach der Trennung nicht mehr einander so nahe und in dieselbe Lage gebracht werden können, um durch ihre Anziehung wieder das frühere Ganze zu geben.

Der Widerstand oder die Kraft, welche in dem einen Körper bildenden Stoffe liegt, ist nicht nur bei verschiedenen Körpern verschieden, sondern auch bei demselben Körper, z. B. dem Holze, nach verschiedenen Richtungen nicht derselbe.

Es gibt demnach verschiedene Grade der Festigkeit. Hart heißt ein Körper, wenn eine Trennung ohne, weich aber, wenn sie mit Verschiebung der kleinsten Theilchen stattfindet, wie bei Stahl und Wachs. Spröde und zähe heißen sie unter denselben Bedingungen, aber die Trennung und Verschiebung verbreitet sich entweder leicht über bestimmte Gränzen oder schwer, wie bei Glas und Leder. Noch andere Körper sind dehnbar, geschmeidig, biegsam u. dergl. — Die härtesten Körper sind Diamant und Iridium.

Manche Körper verbinden in sich mehre Eigenschaften; warmer Kautschuk z. B. ist weich und zähe, Stahl und Glas sind nach dem schnellen Abkühlen sehr hart und spröde, so daß sie sehr leicht in viele Stücken zerbrochen werden können; sie ertragen zwar eine große ruhige Belastung, aber ein Schlag oder Stoß zerstört sie, ja bisweilen eine ganz geringe Verletzung an nur einer Stelle. Wenn in ein sogenanntes Bologneser-Fläschchen aus Glas mit dickem Boden, welches sehr schnell abgekühlt worden ist, auch nur ein ganz kleiner scharfer Splitter eines Feuersteines oder Achates fallen gelassen wird, so zerspringt es sofort in mehre Theile. — Wenn man von einem Glastropfen, den man hat

in kaltes Wasser fallen lassen, auch nur die Spitze des daran befindlichen Glasfadens abbricht, so zerfällt der ganze Tropfen mit einem kleinen Knalle in Pulver. Die Molekel des Glases haben sich wegen allzuraſcher Abkühlung nicht naturgemäß anordnen und ablagern können; die an der äußeren Gränze sind bei der schnellen Abkühlung einander nicht so nahe gekommen, als es die inneren bei dem längeren Zustande des Flüssigseins konnten und daher ist eine unnatürliche Spannung zwischen den äußeren und inneren eingetreten. — Man kann dem Glase die Sprödigkeit dadurch zum Theil nehmen, daß man es in Oel oder Wasser einige Zeit kocht. — Da es sich nach dem Festwerden noch wochenlang zusammenzieht, so darf man die zu Thermometern bestimmten Röhren mit den angeblasenen Kugeln nicht sogleich verwenden.

Auch glühender Stahl wird durch schnelles Abkühlen in der Luft, in Oel, Talg, Wasser, Quecksilber gehärtet und spröde, wie auch die Hufeisen durch Ablöschen in Wasser hart werden. Um dem Stahle die beim Härten erlangte allzugroße Sprödigkeit zu nehmen, wird er nachträglich angelassen, d. h. er wird gelinde erwärmt und dann langsam abgekühlt, wobei er nach dem verschiedenen Wärmegrade verschiedene Farben bekommt, die ein Kennzeichen für seine Brauchbarkeit zu verschiedenen Zwecken sind: bei 177 °R. ist er blaßgelb, bei 185° strohgelb, bei 194° goldgelb, bei 203° braun, bei 222° purpurroth, bei 230° hellblau, bei 234 vollblau und bei 253 dunkelblau.

Da Eisen bei großer Kälte spröder wird, so ist es gut nach kalten Nächten eiserne Wagenaxen mit einem Hammer kräftig zu schlagen, wodurch die Gefahr, daß sie beim Gebrauche brechen, vermindert wird. Es mögen dadurch die Massentheilchen sich besser ordnen und inniger berühren. — Wenn in kalten Wintern die Schindelnägel auf Dächern platzen, so ist dies nicht blos eine Folge größerer Sprödigkeit, sondern auch, weil sie sich, da sie eingerostet sind, nicht gehörig verkürzen können. — Durch häufiges Telegraphiren werden Metalldrähte spröder und also weniger haltbar.

Chemische Verbindungen ändern die Kohäsion oft bedeutend. Stahl wird durch 1 Prozent Silber sehr hart, und er heißt Silberstahl, Eisen wird durch 1 bis 2 Prozent Kohle zu Stahl. — Messing ist weniger haltbar, wenn zu 3 Theilen Kupfer nur 1 Theil Zink genommen wird, als wenn man mehr Zink verwendet; es ist aber haltbarer, als seine Bestandtheile.

Wir müssen im Allgemeinen die Behauptung aufstellen, daß die Festigkeit eines bestimmten Körpers zunimmt, wenn seine Massentheilchen einander näher treten. Da beim Drahtziehen das Metall durch engere Oeffnungen zu gehen gezwungen wird, so treten namentlich an der Oberfläche die Massentheilchen einander näher, und der Draht ist fester, als ein Metallfaden, welcher in gleicher Stärke gegossen worden ist. Auch durch das Hämmern gewinnen die Metalle an

Festigkeit. — Ebenso hat das Bestreichen der Fäden mit Wachs nicht blos zum Zwecke das Abfasern beim Nähen zu verhindern, sondern auch die Haltbarkeit zu vergrößern. — Die Metalle werden durch das Schmieden im glühenden oder heißen Zustande und durch Hämmern (Kupfer) oder Walzen im kalten bedeutend fester: geschlagenes Silber ist wohl doppelt, gewalztes Blei wohl viermal so stark, als anderes im gewöhnlichen Zustande. — Durch das Walken und Pressen erlangen gestrickte (wollene Strümpfe), gewebte oder auch anders zubereitete Stoffe, wie Leder, Papier (zu Pappdeckeln) eine oft bedeutend größere Haltbarkeit und Festigkeit.

Man kann die Haltbarkeit der Körper oder die Kraft, mit welcher sie einer Trennung ihrer Theile widerstehen, wesentlich nach vier verschiedenen Rücksichten untersuchen:

1) welchen Widerstand ein Körper dem Zerreißen beim Ziehen entgegensetzt, was man die absolute Festigkeit nennt;

2) welches der Widerstand beim Zerbrechen ist oder die relative Festigkeit;

3) mit welcher Kraft er dem Zerdrücken, unter Umständen dem Zerstoßen widersteht, d. i. die rückwirkende Festigkeit und

4) die Festigkeit beim Drehen um eine bestimmte Axe oder die Torsionsfestigkeit.

Es ist praktisch z. B. für den Bau von Maschinen, von Häusern höchst wichtig darüber genauere Untersuchungen anzustellen und festzusetzen, was die Erfahrung in diesen Fällen bei denselben Körpern an die Hand gibt. Wir wollen das Wichtigste anführen. Da die bisher erlangten Resultate häufig von einander noch ziemlich stark abweichen, so wäre es wünschenswerth, immer noch Versuche anzustellen.

1) Die absolute Festigkeit.

Wenn man eine dicke und also ziemlich schwere Kreuzspinne an dem von ihr gesponnenen zarten Faden ganz sicher hängen sieht, so verwundert man sich wohl über die Haltbarkeit des Fadens; aber er würde sicher diese Festigkeit nicht haben, wenn er nicht aus einer ungeheuren Anzahl von äußerst dünnen Fäden zusammengesetzt wäre, welche die Spinne, indem sie dieselben aus ihren Spinnwarzen herauszieht, mit ihren Hinterfüßen zusammenklebt.

Um die absolute Festigkeit zu bestimmen, wird der Körper an dem einen Ende befestigt und an dem anderen nach und nach mit immer mehr Gewicht beschwert, bis er reißt.

Unter übrigens gleichen Umständen wächst die Festigkeit eines bestimmten Körpers mit der Vergrößerung seines Querschnittes in gradem Verhältnisse.

Stricke aus Hanf sind bei einer bestimmten Dicke und bei bestimmter

Drehung um so haltbarer, je feiner die Hanffäden sind, also aus je mehr Fäden der Strick besteht. Werden Stricke getheert, so widerstehen sie zwar länger der Witterung, aber sie sind weniger fest, weil die einzelnen Fäden wegen des dazwischen befindlichen Theeres einander nicht mehr so nahe, als früher sind. Wäre etwas Wasser dazwischen, also der Strick feucht, so würde er haltbarer sein, als der getheerte, weil Wasser zu seinen Massentheilchen eine größtere Verwandtschaft hat, als Theer, aber immer noch weniger haltbar, als der trockene. Nicht nur die Art der Bearbeitung der Pflanzenfasern, sondern auch die Beschaffenheit des Bodens, auf welchem sie gewachsen sind, ist auf ihre Haltbarkeit von Einfluß.

Beim Anfertigen der Leinwand kann man entweder das Garn bleichen und es verweben, wodurch man Kreasleinwand bekommt, oder ungebleichtes Garn verweben, was rohe Leinwand gibt, oder man kann die fertige Leinwand bleichen. Die Haltbarkeit ist in diesen Fällen in der Art verschieden, daß die Kreasleinwand zwar weniger haltbar, als die rohe, aber fester, als die gebleichte ist. Der Grund davon liegt darin, daß durch das Bleichen die färbenden Bestandtheile entfernt werden, also die Fäden einander nicht mehr so nahe als früher liegen und die gegenseitige Anziehung der Massentheilchen vermindert ist.

Ein Kokonfaden trägt 80, ein Menschenhaar 1500 bis 2000 Gran. Wenn also die patriotischen Frauen von Karthago in ihrem Verzweiflungskampfe gegen die Tyrannei der Alles verschlingenden Römer ihr Haupthaar dem Vaterlande opferten, um daraus Seile für ihre Wurfgeschosse zu machen, so war dies ebenso sehr ein seltenes als brauchbares Material.

Ein Eisendraht von nur 1/10 Zoll Dicke wird durch 450 Pfunde, ein Stahldraht von derselben Dicke durch 490 Pfunde und ein Stab englisches Eisen von 1 Quadratzoll Durchmesser durch 60000 Pfunde zerrissen; aber ein Bund von jenen Eisendrähten im Mittel erst von 130000 Pfunden. — Die feineren Drahtsorten haben eine auffallend größere Tragkraft als starke; weil jene beim Ziehen durch engere Oeffnungen dichter geworden sind, als diese und daher gilt von ihnen das obige Gesetz nicht. Durch das Ausglühen verlieren sie etwa die Hälfte der Kraft.

Die Festigkeit desselben Stoffes ist also nach seiner Behandlungsweise verschieden, es ist z. B. nicht gleichgiltig, ob Kupfer gegossen, zu Drähten gezogen oder gehämmert worden ist, indem hierbei die Lagerung der kleinsten Massentheilchen und somit die Dichtigkeit eine verschiedene wird.

Diese Erfahrung haben die im Bau- und Maschinenwesen ebenso geistreichen als kühnen Amerikaner benutzt, um unterhalb der Niagarafälle in einer Höhe von 150 Fuß über den durch Felsen dahinschäumenden Strom eine 822 Fuß lange, 30 Fuß breite Etagenbrücke, unten 20 Fuß hoch für gewöhnliches Fuhrwerk und Fußgänger, oben für die Eisenbahnzüge, zu bauen, welche mit ihrem ganzen kolossalen Gebälke und den

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eisenstangen zu dessen festerer Verbindung nur von vier, kaum einen Fuß dicken Drahtseilen getragen wird. Es sind hierbei zuerst wenige dünne Drähte zu einem dünnen Seile, mehre solche dünne Seile zu einem dickeren u. s. f. zusammengedreht, bis die Dicke des Ganzen erhalten wurde. Letzteres ist dann noch mit einem Drahte spiralförmig umwunden und wird auf das sorgfältigste durch Oelfarbe vor Rost geschützt. Die Verankerung der Enden an den beiden Ufern ist in natürlichen Felsen bewirkt, und die Oeffnungen sind mit großen Quadern vermauert, die Leitung der Seile geschieht über je zwei thurmähnliche Pyramiden von 72 Fuß Höhe auf der nördlichen (kanadischen) und von 82 Fuß auf der südlichen Seite, so daß jedes Seil drei Bogen, einen sehr großen über den Fluß zwischen den Thürmen und zwei sehr flache an den Ufern bildet. Auf letzteren sind Anfang und Ende der Eisenbahn abgesteift.

Will man die aus den Versuchen ermittelte Tragfähigkeit der Metalle zu praktischen Zwecken benutzen, so ist es rathsam bei Vorrichtungen, in denen das Metall keiner Bewegung ausgesetzt ist, von jener Tragkraft nur den vierten, höchstens den dritten Theil zu benutzen; bei Bewegungsmaschinen aber und überhaupt bei Bewegungen noch einen geringeren Theil, weil durch langdauernde, wenn auch kleine Erschütterungen das innere Gefüge der Körper sich zum Nachtheile der Haltbarkeit ändert. — Für Hölzer kann man den dritten Theil verwerthen.

Wird die absolute Festigkeit eines Eisendrahtes von $^1/_{10}$ Zoll Dicke oder gegen 0,0314 Q.-Zoll Querschnitt zu 450 Pfd. die praktische Verwerthung zu $\frac{450}{4} = 112{,}4$ Pfunden, also für 1 Quadratzoll Querschnitt zu 3583 Pfunden (aus der Proportion $0{,}0314 : 1 = 112{,}5 : y$) angenommen und wollte man berechnen, welches der Durchmesser X eines Drahtes ist, der 200000 Pfunde Tragfähigkeit besitzt; so müßte man aus der Formel $\frac{3{,}14\,X^2}{4} . 3583 = 200000$, den Durchmesser X bestimmen, welcher 8,4 Zoll beträgt.

Statt dessen könnte man aus der Proportion $3583 : 200000 = 1\,\square'' : z\,\square''$ den Querschnitt für die Tragfähigkeit von 200000 Pfunden bestimmen, den man gleich 55,822 Quadratzollen findet und daraus den Durchmesser d aus $\frac{3{,}14}{4} . X^2 = 55{,}822$ berechnen, was auch 8,4 Zolle gibt.

Beim Holze haben nicht nur die verschiedenen Arten einen verschiedenen Grad von Festigkeit, sondern selbst bei einem bestimmten Baumstamme ist sie in verschiedenen Theilen verschieden. Das Holz unmittelbar am Marke ist, namentlich bei alten Bäumen, das schwächste; der Splint unterhalb der Rinde ist wohl stärker, aber das in der Mitte

dazwischen ist am stärksten; das in der Nähe der Astknoten, so wie in den Aesten selbst und an der Wurzel ist auch schwächer. In unseren geographischen Breiten ist die Südseite des Stammes fester, weil sie vollkommener ausgebildet ist, als die Nordseite, wo die Jahrringe dünner werden. Grünes Holz ist fester, als solches, in welchem die inneren Kanäle vertrocknet sind.

Die folgende Tabelle gibt an, wie viele preußische Pfunde nöthig sind, um ein Zerreißen eines Zylinders aus dem betreffenden Körper von 1 Quadratzoll Querschnitt zu bewirken.

Metalle.

Stahl zu feinen Rasirmessern	158200
„ „ gewöhnlichen Rasirmessern	142380
„ guter englischer	133764
„ mittelmäßig biegsamer	130780
„ bester biegsamer	125510
„ „ gehärteter	118120
„ gemeiner biegsamer	113900
Eisen, schlesisches } geschmiedet	78140
„ schwedisches } geschmiedet	76570
„ anderes } geschmiedet	71300
„ in dicken Stangen	32922
„ in dünnen „	62710
„ französische Stangen	62710
„ englisches	61737
„ deutsches gegossenes	70433
„ englisches gegossenes	95692
Eisendraht	60433
„ „ mittlere Dicke	94064
„ „ stärker	77319
Klavierdraht, französischer	136360
Golddraht	67129
Gold, gegossen	21093
„ geschlagen	22000
Silberdraht	49690
Silber, gegossen	42186
„ geschlagen	41500
Messingdraht	48480
Messing	18531
Kupfer, schwedisches, geschmiedet	38865
„ „ geschlagen	37000
„ „ gegossen	38463
„ ungarisches	32661

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kupfer, ungarisches, geschlagenes . . .	31000
„ spanisches, gegossenes	21785
„ japanesisches	20910
Kupferdraht, rother schwedischer	40205
Kupfer, geschmiedetes	33956
Zinndraht	6609
Zinn, englisches, gegossenes	6167
„ geschlagenes aus Banka	3600
„ „ „ Malakka . . .	3100
Blockzinn, geschlagenes	3800
Bleidraht	3934
Blei, englisches, gegossenes	913
„ geschlagenes	860
Zink, gegossenes	2903
Wismut, gegossener	3228
Spießglanz, gegossener	1093

Legirungen.

2 Thl. Gold und 1 Thl. Silber . . .	28000
5 „ „ „ 1 „ Kupfer . .	50000
5 „ Silber und 1 Thl. Kupfer . .	48500
4 „ „ „ 1 „ Zinn . .	41000
5 „ Kupfer „ 1 „ „ . . .	41000
6 „ schwed. Kupfer und 1 Thl. Zinn aus Malakka	64000
Messing im mittel	51000
3 Thl. Blockzinn und 1 Thl. Blei . .	10200
8 „ „ „ 1 „ Zink . .	10000
6 „ Blei und 1 Thl. Zink . . .	4500
4 „ Zinn, 1 Thl. Blei, 1 Thl. Zink	13000

Hölzer.

Eiche, vom Kern	26600
„ „ Splint	14760
„ englische	10296
„ indische	15090
Erle	24740
Rothbuche	22360
Esche	21488
Kiefer, das stärkste	21400
„ „ schwächste, harzig	12500
Weißbuche	20400

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zuckerkistenholz	18832
Weißdorn	18350
Buchsbaum	15790
Weide	15709
Ulme	14857
Guajak	14432
Nußbaum	14261
Weißtanne	14036
Kirschbaum	13978
Linden	13870
Ebenholz	13504
Olivenholz	12614
Mispelbaum	12028
Birnbaum	11158
Pflaumenbaum	11099
Hollunder	10547
Sandelholz, rothes	10128
Apfelbaum	10018
Mahagoni	8800

Andere Körper.

Glas, weißes	2812
Hanfseil	9000
" englisches	5571
Maurerziegel	290
Marmor, weißer	1863
Schiefer, italienischer	11833
" englischer	8098
" schottischer	9878

2) Die relative Festigkeit.

Um den Widerstand der Körper, welchen sie dem Zerbrechen entgegensetzen, zu ermitteln, formt man aus ihnen vierkantige und andere Stäbe von genau gleichen Abmessungen und belastet sie an verschiedenen Stellen, nachdem man ihnen eine horizontale Lage gegeben und sie dabei entweder an den beiden Enden befestigt oder an den beiden Enden blos aufgelegt oder nur an dem einen Ende befestigt hat.

Die Belastung wird bei einem bestimmten Stabe oder Balken das Zerbrechen am leichtesten bewirken, wenn sie im ersten und zweiten Falle in seiner Mitte, im dritten Falle am Ende angebracht ist; es geschieht im ersten Falle an drei Stellen, nämlich in der Mitte und gegen die

beiden Enden, im zweiten Falle nur in der Mitte, im dritten Falle nur an dem befestigten Ende. Die relative Festigkeit ist im ersten Falle größer, im dritten kleiner als im zweiten. Im dritten Falle beträgt sie bei der Belastung an dem freien Ende nur den achten Theil von der im ersten und den vierten Theil von der im zweiten Falle. Ist die Last aber gleichmäßig über die ganze Länge vertheilt, so ist die Tragfähigkeit überhaupt das Doppelte.

Spröde Körper brechen an allen Stellen gleichzeitig quer durch, zähe und elastische biegen sich zunächst und brechen zuerst an der konvexen Seite. In der Anwendung darf ein Körper nur so stark belastet werden, daß er seine Form nicht bleibend verändert, oder daß er nach Beseitigung der Last seine frühere Gestalt wieder annimmt.

Da das Zerbrechen um so eher stattfindet, je weiter die Belastung vom Befestigungspunkte angebracht ist, so muß man in den Stuben die schweren Gegenstände, u. a. auch Repositorien mit vielen Büchern dicht an die Wände stellen.

Hat ein gleichmäßig geformter Balken einen rechtwinkligen Querschnitt und ist er an den beiden Enden unterstützt, so steht die Tragfähigkeit bei einer Belastung in seiner Mitte im graden Verhältnisse der Breite b, dem quadratischen der Höhe h und im umgekehrten der Länge l (Abstand der Belastung vom Unterstützungspunkte), ist also $\frac{b\,h^2}{l}$.

Hätte man z. B. zwei Balken, jeden von 20 Fuß Länge und 60 Quadratzoll Querschnitt; die Breite des einen sei 6 Zoll, des anderen aber 4 Zoll, die Höhe des ersten 10, des zweiten 15 Zolle; so würde der Zähler der Bruches für den ersten Fall $6.10^2 = 600$, für den zweiten Fall $4.15^2 = 900$, also die Tragfähigkeit des letzteren größer, als die des ersten sein.

Nimmt man zwei Stangen, von denen der Querschnitt 4 Quadratzolle beträgt, ist aber der eine quadratisch, so daß jede Seite 2 Zoll lang ist, der andere ein Oblongum mit Seiten von 1 und 4 Zoll; so verhält sich die Tragfähigkeit wie 2×2^2 zu 1×4^2 oder wie 8 zu 16.

Sind die Querschnitte zweier Balken quadratisch, so verhält sich ihre Tragfähigkeit wie die Würfelzahlen ihrer Seiten; also ein solcher Balken von 2 Zoll Seite trägt $2.2.2 = 8$ mal, einer von 3 Zoll Seite $3.3.3. = 27$ mal mehr, als einer von 1 Zoll Seite. Bei zylindrischen steht die Tragfähigkeit mit den Würfelzahlen der Durchmesser in gleichem Verhältnisse. Hat der zylindrische einen Durchmesser, welcher gleich ist einer Quadratseite, so verhält sich die Festigkeit derselben wie 3 zu 5.

Es ist also bei den Bauten wichtig, daß die Balken, wie man zu sagen pflegt, auf die hohe Kante gelegt werden, d. h. daß die schmalen Seiten des Querschnittes unten und oben zu liegen kommen. Deshalb wendet man in Amerika bei den Häusern statt der Balken etwa vier-

zöllige Bohlen an, die man aber etwas näher aneinander legt, als wenn es Balken wären und zur Vermeidung von Schwankungen gegen einander durch ähnliche Bohlenstücke schräge absteift. Mit geringerer Last erreicht man eine größere Festigkeit.

Da Holz nicht nach allen Richtungen gleiche Festigkeit besitzt, so müßte noch berücksichtigt werden, wie man aus dickeren Baumstämmen die Bohlen oder Balken zu schneiden hat, damit die sogenannten Jahrgänge (Jahresringe) möglichst lothrecht zu stehen kommen, wenn der Balken auf die schmale Seite gelegt wird. Liegen die Jahrgänge horizontal, so hat der Balken unter übrigens gleichen Umständen eine geringere Tragfähigkeit.

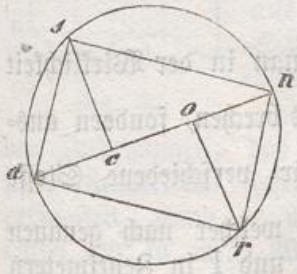


Fig. 29.

Will man aus einem zylindrischen Baumstamme, dessen Querschnitt also ein Kreis ist, (Fig. 29) den stärksten Balken schneiden, so theilt man sich den Durchmesser an in drei gleiche Theile, legt durch die beiden Theilungspunkte c und o die Lothrechten cs und or auf den entgegengesetzten Seiten des Durchmessers bis an die Kreislinie und verbindet die Treffungspunkte s und r mit den beiden Endpunkten des Durchmessers. Das Oblongum snra ist der Querschnitt des verlangten Balkens; seine Seiten verhalten sich etwa wie 5 zu 7.

Die Form und die sie mitbedingende Massenvertheilung ist für die Tragfähigkeit noch von der größten Bedeutung. Ein massiver Zylinder leistet mehr Widerstand, als ein vierkantiger Balken mit quadratischem Querschnitte von demselben Durchmesser. Ein spitz zulaufender und am dickeren Ende befestigter (wie bei Altanen) trägt mehr als einer von gleichmäßiger Dicke und demselben Volumen; hohle Körper aus einem bestimmten Stoffe haben bei gleichem Gewichte, gleicher Länge und gleicher Form eine größere Haltbarkeit, als massive. Daher sind die hohlen Stempel und Halme der Pflanzen, die hohlen Knochen der Vögel und überhaupt die röhrenförmigen Knochen haltbarer, als wenn sie massiv wären und dieselbe Masse besäßen.

Ebenso wendet man hohle Wagebalken und Balanciers bei Maschinen an.

In allen Fällen ist zur Beurtheilung der Festigkeit zu dem Gewichte der Belastung noch das des belasteten Materials zuzurechnen.

Diese Betrachtungen sind bei Bauten von der größten Wichtigkeit, da durch hohles Gebälk die Leichtigkeit und Haltbarkeit gewinnt. Daher wenden vorzüglich die Amerikaner bei ihren Eisenbahn- und anderen Brücken, z. B. in Buffalo über die Kanäle in der Stadt, fast durchgängig hohle und unten offene Streben von Eisen an, welche sich gegen die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Pfeiler an den beiden oft mehr als 80 Fuß von einander entfernten Ufern stemmen, und die dann das Gebälk zur Fahrbahn mit der allergrößten Sicherheit schwebend tragen, so daß man mit schwer belasteten Wagen im Trabe darüber fährt.

Bei Eisen ist erfahrungsmäßig das beste Verhältniß des inneren zum äußeren Durchmesser 3 zu 4 (höchstens 5 zu 6) wie z. B. zu Wellen von Mühlenrädern.

Bei Hohlzylindern von derselben Metallstärke verhalten sich die Tragfähigkeiten wie die Quadrate (nicht wie die Kubi) der Durchmesser. Um massive Träger zu vermeiden und dabei der Masse mehr Oberfläche zu geben und so den hohlen näher zu kommen, verfertigt man sie T förmig und verwendet sie auch in dieser Stellung.

Wenn $\frac{bh^2}{l}$ die Tragfähigkeit war, so darf man in der Wirklichkeit davon etwa nur $^2/_3$ rechnen, wenn der Körper nicht brechen, sondern ausdauern soll und dieser Werth $^2/_3 . \frac{bh^2}{l}$ wird für verschiedene Stoffe noch einen besonderen Faktor bekommen müssen, welcher nach genauen Versuchen in Kilogrammen ausgedrückt, wenn bh und l in Zentimetern angegeben sind, folgender ist und zwar für

Schmiedeeisen	1252	Rothtannenholz	302
Gußeisen	1076	Weißtannen	255
Messing	471	Buchenholz	166
Eichenholz	272		

In der folgenden Tabelle bedeuten die den Stoffen beigesetzten Zahlen die Menge von Berliner Pfunden, welcher ein rheinländischer Kubikzoll zu tragen fähig ist, ohne seine Form bleibend zu ändern.

Schmiedeeisen	18315	Rothtanne (Pechtanne) .	4414
Gußeisen	15743	Eiche (gradfasrig) . . .	4074
Glockenspeise	10289	Fichte (gelbe)	4013
Messing	6894	Mahagoni von Honduras .	3910
Zink	5865	Weißtanne	3735
Zinn	2963	Esche	3643
Blei	1511	Ulme	3334
Fischbein	5762	Buche	2428
		Lerche	2125

3. Die rückwirkende Festigkeit.

Die rückwirkende Festigkeit läßt sich nicht nach der absoluten bestimmen, obwohl sie grade im entgegengesetzten Sinne wirkt, weil die Trennung nicht durch bloßes Losreißen über einander befindlicher Theile,

sondern zugleich durch Trennung von den seitwärts liegenden geschieht. In diesem Falle ist es noch wichtiger, als in den früheren, zu unterscheiden, ob ein Körper in seinem Innern nach allen Richtungen dasselbe Gefüge habe, wie z. B. ein feinkörniger Sandstein, oder ob er schichtenförmig gebildet ist, wie etwa Schiefer und alle Steine mit krystallinischem Gefüge oder wie die Holzarten.

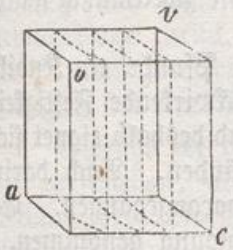


Fig. 30.

Hat man in beiden Fällen aus den Stoffen Würfel gemacht, so ist es im ersten Falle gleichgiltig, auf welche Seite der Würfel gelegt wird, um ihn von der entgegengesetzten zu belasten, im anderen Falle aber nicht. Hat man nämlich den Würfel (Fig. 30) aus einem Baumstamme so geschnitten, daß zwei Schnittflächen ac und ov horizontal und die beiden anderen Paare zwar lothrecht gelegt sind, aber das eine von ihnen oc und av so ziemlich lothrecht auf den Jahrgängen, das andere ao und vc in ihrer Richtung; so ist seine rückwirkende Festigkeit am größten, wenn er auf ac und ov, am geringsten, wenn er auf ao oder vc gelegt wird, denn die Kohäsion leistet um so mehr Widerstand, je mehr Massentheile in der Richtung der drückenden Kraft liegen. Dies war auch schon bei der relativen Festigkeit zu berücksichtigen. — Das Zertheilen des Holzes geschieht am leichtesten durch eine in der Richtung der Jahrgänge wirkende Kraft.

In gleicher Weise haben Krystalle, Fischbein, Federposen und viele andere Körper nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Kohäsion oder Festigkeit. Will man also z. B. Felsen sprengen oder Steine in Stücke zerschlagen, so ist es nicht gleichgiltig, in welcher Richtung man das Sprengloch bohrt, oder auf welcher Stelle man den Stein schlägt.

Auch ist die Gestalt des Körpers, welcher zum Tragen bestimmt ist, abgesehen von dem Stoffe, bei einem bestimmten Volumen wichtig. Eine Pyramide und ein Kegel tragen mehr, als ein Zylinder und dieser mehr, als ein Prisma und letzteres dann am meisten, wenn seine Grundfläche ein Quadrat ist. Wenn die Länge das Dreifache von der Dicke ist, so zerknicken manche bis zur großen Belastung.

Die rückwirkende Festigkeit wächst unter übrigens gleichen Umständen in gradem Verhältnisse mit der Größe des Querschnittes, ist um so größer, je kleiner der Umfang desselben ist und nimmt mit der Höhe des Körpers im umgekehrten quadratischen Verhältnisse derselben ab, wenn in ihrer Richtung die drückende Kraft wirkt.

Für die praktische Anwendung ist es also besonders wichtig zu wissen, welche Belastung eine zylindrische oder prismatische Säule erträgt, ohne sich zu biegen und dann zu brechen. — Hohle Körper übertreffen auch hier massive von gleichem Gewichte und gleicher Höhe. Es haben z. B. hohle Zylinder von recht steifem Pappdeckel eine sehr auffallende Tragfähigkeit.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Von zwei gleichgeformten Körpern, welche aus Stücken desselben Stoffes zusammengesetzt sind, hat derjenige eine größere rückwirkende Kraft, dessen Bestandtheile größer sind. Von zwei Häusern wird also das eine größere Dauerhaftigkeit besitzen, dessen Mauersteine bei derselben Güte größer sind. — Aus diesem Grunde legt man in Amerika bei den aus gebrannten und ziemlich kleinen Steinen aufgeführten Pfeilern der untersten Stockwerke in kleineren Zwischenräumen höchst zweckmäßig ganze Steinplatten von den Dimensionen der Pfeiler.

Die folgende Uebersicht gibt an, durch wie viele Pfunde ein Kubikzoll der betreffenden Stoffe zerdrückt wird. Die rückwirkende Festigkeit des Gußeisens ist fast das doppelte von der absoluten, und deshalb eignet sich dieses Material ganz besonders zum Tragen bei Gebäuden. Auch darin sind die Nordamerikaner uns mit gutem Beispiele vorangegangen. Es hat dort die Eisenindustrie einen unglaublichen Aufschwung genommen.

Gußeisen	140000	Pappel	4927
Porphyr	23730	Birke	6147
Granit, im Mittel . .	18000	Rothtanne	6293
Marmor, im Mittel .	12600	Fichte	6515
Kalkstein, dichter schwarzer	17758	Erle	6693
„ erdiger . . .	4167	Weißtanne	6964
„ weicher . . .	1407	Nußbaum	6966
Sandstein, fester . . .	2512	Esche	9088
„ weicher . .	1206	Buche	9090
Backstein, gut . . .	2349	Eiche, englische	9695
„ schwach . .	938		

Im Allgemeinen leisten die Körper gegen das Zerbrechen (relative Festigkeit) einen etwas größeren Widerstand, als gegen das Zerreißen (absolute F.), aber einen kleineren, als gegen das Zerdrücken (rückwirkende F.).

4. Torsionsfestigkeit.

Wird ein Draht an dem einen Ende befestigt, an dem anderen beschwert, etwas um seine Axe gedreht und dann losgelassen, so kehrt er mit einer der drehenden Kraft verhältnißmäßigen Geschwindigkeit durch eine Reihe von drehenden Schwingungen in seine frühere Ruhelage zurück, wobei der Widerstand dem Drehungswinkel verhältnißmäßig ist. — Ein Körper von doppelter Länge leistet bei der Drehung um denselben Winkel nur den halben, aber bei doppeltem Querschnitte einen viermal so großen Widerstand, als ein anderer aus demselben Stoffe von einfacher Länge und einfachem Querschnitte; also der Widerstand nimmt im graden Verhältnisse mit dem Quadrate des Querschnittes und im umgekehrten der Länge zu.

Dieser Drehungswiderstand steht für verschiedene Stoffe nicht in

gleichem Verhältnisse mit der Festigkeit der betreffenden Stoffe. Es ist z. B. die absolute Festigkeit des Eisendrahtes nur 1,7mal größer, als die des Messings; aber jener leistet einen 3,3mal größeren Drehungswiderstand, als dieses.

Wird die Drehung bei einem gewissen Stoffe und bestimmten Dimensionen über eine bestimmte Gränze fortgesetzt, so wird der Körper zerdreht und seine Theile können nicht mehr in ihre ursprüngliche Gleichgewichtslage zurück. Messing läßt sich mehr drehen, ehe es zerbricht, als Eisen, und so überhaupt wächst mit dem Drehungswiderstande auch die Fähigkeit bei einer Drehung um einem gewissen Winkel zerdreht zu werden.

Obwohl bei der Drehung eines Körpers seine Theilchen im Inneren sich verschieben, also an einander sich reiben müssen, was bei der Herstellung der ursprünglichen Lage einen Kraftaufwand erfordert, wodurch eine vollkommene Rückkehr in dieselbe verhindert werden sollte; so gelangen dennoch alle Theilchen in ihre Gleichgewichtslage dann zurück, wenn die sie verändernde Kraft das Maß der Elastizität, die Elastizitätsgränze des betreffenden Körpers nicht übersteigt. Geschieht dies aber, so kommen sie nicht wieder in ihre alte Stellung zurück, wenn auch die wirkende Kraft aufhört, sondern zerbrechen, wenn die Wirkung fortdauert, und zwar zunächst an den von der Axe entfernteren Stellen, weil dort die Wege am größten waren. Die äußeren Theile verlängern sich zwar, weil sie zugleich aber wegen des dabei stattfindenden Widerstandes auf die inneren drücken, so findet im Allgemeinen beim Zerdrehen eine Verkürzung des Körpers statt.

Die Torsionsfestigkeit ist bei den Drehungsaxen an verschiedenen Maschinen von großer Wichtigkeit, wie bei den Wellen der Räder, bei den Winden, Schrauben.

Wenn f die relative Festigkeit eines Körpers bis zur Gränze der Ueberwindung seiner Elastizität in Pfunden ist (womit ein Prisma von 1 Quadratzoll Querschnitt belastet werden darf), wenn ferner d der Durchmesser einer zylindrischen Walze, r der Hebelarm bis zur Drehungsaxe, an welchem die Last den Körper zu winden strebt, und w das Gewicht in Pfunden ist, welches ohne eine bleibende Formveränderung herbeizuführen, in diesem Abstande auf denselben wirken darf; so findet man nach der Erfahrung für eine massive Walze, bei welcher die Länge den Durchmesser übertrifft, den Ausdruck:

$$w = \frac{f d^3}{122{,}8\ r}.$$

Ist aber der Zylinder hohl und der innere Durchmesser o, 6. d, (d. h. $^6/_{10}$ von dem Durchmesser der ganzen Walze), was am zweckmäßigsten ist; so gilt die Formel

$$w = \frac{f d^3}{141{,}7\ r}.$$

Diese Ausdrücke sind für das Praktische von Wichtigkeit.

Wenn man z. B. den Durchmesser einer massiven Mühlenwelle aus Gußeisen zu wissen verlangte, an welcher ein Wasserrad von 9 Fuß Radius angebracht werden sollte, wobei auf seinen Umfang eine Wasserkraft von 2000 Pfunden als höchstes Maß wirkte; so wäre $w = 2000$ Pfunde, $r = 9$ Fuß, $f = 15300$ Pfunde (Alles nach englischen Maßen), und aus $2000 = \frac{15300 \cdot d^3}{122{,}8 \cdot 9}$ würde $d^3 = 144{,}477$ und d selbst nahe gleich $5^1/_4$ Zoll als Durchmesser der Welle sich ergeben.

Sollte aber die Welle hohl sein, so wäre aus $2000 = \frac{15300 \cdot d^3}{141{,}7 \cdot 9}$ der Werth von $d^3 = \frac{2000, 141{,}7 \cdot 9}{15300}$ und d nahe gleich $5^1/_2$ Zoll.

Wenn man beim Baue von der Sicherheit des angewendeten Materiales spricht, und z. B. sagt, es biete die sechsfache Sicherheit dar, so meint man, es verträgt eine sechsfache Last bis zur Gränze der Haltbarkeit, es ist also davon nur ein Sechstel in Anspruch genommen. Im Allgemeinen nimmt man für Schmiedeeisen beim Zuge die 6 bis 10fache, beim Biegen die 4 bis 6fache, für Gußeisen beim Drucke die 4 bis 6fache, für Holz beim Drucke die 4 bis 8fache, beim Zuge die 10fache, für Stein beim Drucke die 15 bis 20fache Sicherheit und geht bei ruhiger und gleichmäßiger Kraftwirkung nicht leicht unter die untere Gränze.

c. Die Auflösungen.

Eine sehr häufig vorkommende Molekularanziehung zeigt sich selbst zwischen Körpern verschiedener Aggregatzustände und zwar einerseits der tropfbaren gegen feste und andererseits der festen gegen tropfbare, welches die Erscheinungen von den Auflösungen und Kapillar- oder Haarröhrchen-Anziehungen sind.

Wird zu Wasser Kochsalz in zunehmender Menge gethan, so verschwindet letzteres nach und nach in ihm, bis endlich der Fall eintritt, daß das neu hinzugekommene Salz von dem Wasser nicht mehr aufgenommen wird und dann ist die Auflösung gesättigt. 100 Gewichtstheile Salz sind im Stande höchstens 27 Theile trockenen Salzes aufzunehmen. Ebenso löst sich Zucker in dem Wasser auf, nicht aber ein Harz. Für letzter muß man Alkohol anwenden. Die Flüssigkeit, welche einen festen Körper in sich auflöst, heißt das Auflösungsmittel. Wird zu einer gesättigten Auflösung von dem Auflösungsmittel zugethan, so wird die Auflösung verdünnt und wir haben eine Verdünnung. Die homöopathischen Heilmittel sind meistens sehr bedeutende Verdünnungen, weil jede neue Verdünnung in dem zehnfachen Verdünnungsmittel aufgelöst ist. Bei den gesättigten Auflösungen sowohl, als auch bei den

Verdünnungen findet eine vollkommen gleichmäßige Vertheilung der beiden Stoffe statt, welche in der Auflösung wieder zu erkennen sind: man schmeckt es, daß man Wasser mit Zucker oder Zuckerwasser, Wasser mit Salz oder Salzwasser trinkt und es sind die Auflösungen durchaus nicht chemische Mischungen, welches Körper von wesentlich neuen Eigenschaften sind, die in den Mischungsantheilen gar nicht vorhanden waren. Da wir uns die Molekel der Flüssigkeiten als Kügelchen gedacht haben, welche zwischen sich Räume ohne den betreffenden Stoff enthalten, so wird es gestattet sein anzunehmen, daß die Molekel des aufzulösenden Stoffes sich in diese Zwischenräume begeben und dieselben um so mehr erfüllen, je mehr der Sättigungsgrad erreicht ist. Ist letzteres der Fall, so werden neu hinzukommende Theile des aufzulösenden Körpers zwischen den Kugelatomen des Auflösungsmittels herabfallen, ohne von ihnen angezogen und zurückgehalten zu werden.

Es ist natürlich, daß durch das Pulverisiren des aufzulösenden Körpers und durch das Umrühren des Auflösungsmittels das Auflösen befördert wird; die Erwärmung des letzteren aber erhöht oder vermindert die Fähigkeit aufzulösen, je nach Verschiedenheit der Stoffe, welche durch die Wärme ausgedehnt werden. Wird das Auflösungsmittel durch die Wärme weniger ausgedehnt, als der aufzulösende Stoff, so vermindert die Erhöhung der Temperatur die Auflösungsfähigkeit. Diese Erscheinungen stimmen sehr gut zu der Vorstellung, welche wir uns von dem Wesen der tropfbar flüssigen Körper gemacht haben.

Der aufgelöste Körper kann durch Verdunsten oder Abdampfen aus der Auflösung geschieden werden. Das ziemlich eingeschlossene mittelländische Meer hat wegen seiner höheren Temperatur eine bedeutende Verdunstung und ist deshalb mit Seesalz mehr gesättigt, als offene und kältere Meere. Wenn man also sein Wasser in flache Bassins leitet, wo es im Sommer rasch verdunstet, so läßt dann sich aus dem Rückstande leicht das Seesalz gewinnen. Das Wasser der Eismeere zeigt auch einen höheren Sättigungsgrad, weil die großen Eismassen von Seesalz wenig enthalten.

d. Die Kapillarerscheinungen.

a. Auch die festen Körper zeigen gegen die tropfbaren eine oft sehr lebhafte Molekularanziehung. Sie äußert sich zunächst dadurch, daß der feste Körper nach dem Eintauchen in den flüssigen durch letzteren an seiner Oberfläche benetzt ist, daß ein Tropfen des flüssigen auf dem festen seine Kugelgestalt ziemlich verliert und zerfließt und daß der flüssige Körper in die feinsten Kanäle oder Poren des festen eindringt und sein Inneres, nicht seinen Stoff durchdringt.

Reines Glas, kihnfreies Holz, der reine trockene Finger werden von

Wasser benetzt; Gold, Silber, Zinn, Blei, Wismuth, Zink, Kupfer von Quecksilber.

Wenn man aus einem vollen Gefäße, das von der darin befindlichen Flüssigkeit benetzt wird, diese unter einem kleinen Neigungswinkel ausgießt, so fließt sie leicht an der äußeren Fläche von ihm herab; will man also einen freien Ausgußstrahl haben, so gibt man dem Gefäße einen hinreichend breiten und langen Ausgußschnabel, damit die Flüssigkeit sofort unter einem größeren Winkel von dem Gefäße sich entfernt. Wenn dagegen gefehlt ist, so kann man an die Ausgußstelle ein Stäbchen, welches von der Flüssigkeit benetzt wird, schräge anhalten und die Flüssigkeit an ihm herab gießen. — Will man einen emporspringenden Wasserstrahl etwas von der lothrechten Richtung ablenken, damit das herabfallende Wasser das emporsteigende nicht hindere bis zur größtmöglichen Höhe zu gelangen, so darf man das von ihm benetzte Springrohr oben nur etwas schräge abschneiden. — Ein senkrechter Wasserstrahl wird durch ein daran gehaltenes und von ihm benetztes Stäbchen abgelenkt.

Das Leimen, Kitten, Tuschen, Schreiben, Koloriren von Zeichnungen, das Anstreichen der Metalle, des Holzes, der Häuser mit Oelfarbe, der Schiffe mit Theer gehört zum Theil ebenfalls hierher.

Wenn ein rauhes Hanfseil ohne Ende lose um zwei über einander befindliche Walzen gelegt ist, von denen die untere im Wasser liegt und die obere rasch gedreht und dadurch das Seil mit bewegt wird; so wird das von dem Seile mit heraufgebrachte Wasser oben seitwärts abgeschleudert und kann aufgefangen werden. Das ist die Wasserseilmaschine von Vera. Obwohl der Erfinder mit seinem Modelle, dessen Seil 21 Linien im Umfange besaß, in $7\frac{3}{4}$ Minuten aus einer Tiefe von 63 Fuß 250 Pinten Wasser hob; so steht ihrer Anwendbarkeit doch der Mangel an Dauerhaftigkeit und der ziemlich große Kraftaufwand entgegen.

In Beziehung auf die Stärke der Molekularanziehung verschiedener Körper gegen einander ist es nicht ohne Interesse wahrzunehmen, wie auf einem bestimmten Körper, z. B. dem Glase, verschiedene Flüssigkeiten einander verdrängen. So wird Wasser durch einige Tropfen Terpentinspiritus fortgetrieben, dieser aber wird durch Weingeist verdrängt, also auch Wasser durch letzteren, wodurch die Anziehung des Wassers zum Glase aufgehoben wird.

Alle diejenigen Körper, welche von einer Flüssigkeit benetzt werden, porös sind und in ihrem Inneren mehr oder weniger enge Kanäle haben, nehmen diese Flüssigkeit, wie man es mit Wasser an Fließpapier, einem feuchten Waschschwamme, einem Stückchen Zucker sehen kann, mit großer Begier, ja mit einer erstaunlichen Kraftentwickelung in sich auf, weil die Anzahl der freilich sehr kleinen Elementarkräfte der einzelnen Molekel unoemein groß ist, wodurch eine sehr bedeutende Summe entsteht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Stricke schwellen durch Wasser an, indem sie durch das Zurückdrehen ihrer Fäden dicker werden. In Rom ist ein egyptischer Obelisk von 900000 Pfunden durch das Beregnen der Taue während einer Nacht, vor welcher die Arbeit aufgegeben wurde, ohne daß er vollends aufgerichtet werden konnte, grade gestellt worden.

Hat das Wasser in zwei neben einander stehenden Gläschen einen verschiedenen Höhenstand und legt man einen Zopf von lose neben einander liegenden Hanf- oder Asbestfäden von einem Glase nach dem andern, so daß er das Wasser in beiden berührt; so steigt das Wasser durch diesen Bogen vom höheren Wasserspiegel so lange, bis das Niveau beider gleiche Höhe hat.

Die schönen 24 Fuß langen Granitsäulen in der Isaakskirche zu St. Petersburg sind aus dem Felsen am Ladogasee dadurch aus dem Ganzen gesprengt worden, daß man der Längenausdehnung nach in den geeigneten Felsen Spalten einmeißelte, in diese Hohzkeile eintrieb, welche vorher am Feuer scharf getrocknet worden waren und endlich die Keile mit Wasser begoß. Das Absprengen geschah dann ohne weiteres Zuthun durch die Molekularanziehung des Holzes gegen das Wasser.

Das Krumpfen der wollenen Zeuge besteht darin, daß sie naß gemacht werden, wodurch die Fäden sich zurückdrehen und verkürzen, also die Zeuge dichter machen und die Längenausdehnung verkleinern.

In den zellenartigen Kanälen der Pflanzen steigen die Säfte mit großer Kraft und gehen wieder zurück. Man sucht daher Bäume dadurch zum Früchtetragen zu zwingen, daß man ihnen enganschließende Reifen umlegt, damit die rückgängige und weniger kräftige Bewegung der Säfte gehindert werde.

Will man in der Anatomie Thierschädel sprengen, um zu untersuchen, wie die einzelnen Theile zusammengefügt sind, so füllt man sie mit trockenen Erbsen und macht diese dann naß.

Beim Kochen von trockenem Backobst und Hülsenfrüchten darf man die Töpfe lange nicht voll machen, damit sie nach dem Anquellen noch Platz finden.

Will man Papier auf ein Reißbrett zum Zeichnen recht glatt aufspannen, so macht man es durch einen wasserhaltigen Schwamm naß, wodurch es sich ausdehnt, bestreicht seinen Rand mit arabischem Gummi, klebt es auf und überläßt es dann sich selbst, wobei es nach dem Zusammentrocknen glatt aufgespannt ist.

Tonnen und Fässer, welche so ausgetrocknet sind, daß sie feine Spalten bekommen haben, legt man entweder ins Wasser, am besten in heißes, weil die Wärme das Holz ausdehnt und das Wasser so leichter in seine Pooren dringen kann oder man umgibt sie mit nassen Lappen.

Wollen die Stiele aus den Beilen und Aexten fallen, so macht man sie naß. — Reifen werden an hölzernen Gefäßen durch das zu bedeutende Anquellen bisweilen gesprengt. — Das Quellen der Thüren und Fenster

im Winter. — Gehen neue Fenster von frischerem Holze im Sommer auch etwas schwer zuzumachen, so muß sich hüten sie abhobeln zu lassen, weil sie später nach dem Zusammentrocknen zu lose sind.

Soll durch Weingeist, Oel, Gasäther, Petroleum, geschmolzenes Talg oder Wachs eine einzelne Flamme erzeugt werden, so bringt man ein Docht in dieselben und das Brennmaterial steigt in seinen feinen Kanälen über das Niveau der Flüssigkeit, um dort zu verbrennen. Man hat auch zu Nachtlampen enge Glasröhrchen angewendet, welche durch einen kleinen Schwimmer aus dünnem, ausgehöhltem Metallbleche gehen.

Böttcher und Schiffbauer sowie Stockfabrikanten brauchen oft gekrümmte Hölzer und können dieselben nach dem natürlichen Wuchse in der gewünschten Weise sich nur sehr selten verschaffen. Sie wenden daher zu diesem Zwecke Wasser und Feuer an: durch ersteres gehen die Holzfasern weiter von einander, wodurch ihre Kohäsion vermindert wird und ihre Form leichter geändert werden kann; durch letzteres wird das zwischen den Holztheilen befindliche Wasser beseitigt und die trockenen Holztheile erfassen einander in der ihnen früher gegebenen neuen Lagerung zu einer bleibenden Gestalt.

Manche Ackerstücke wollen nie austrocknen, sondern zeigen stets bis obenhin Feuchtigkeit. Dies rührt davon her, daß in der Tiefe eine Wasseransammlung stattfindet, von wo aus das Wasser durch den lockeren Boden so heraufdringt, wie der Kaffee im Zucker, wenn man auch nur eine Spitze von ihm eingetaucht hat. Man nennt solche Stellen Wassergallen. Wenn Haufen von Sand, Erdboden oder Asche unten im Nassen sind, so werden sie bis auf den Gipfel feucht.

Es ist für die Dauerhaftigkeit der Gebäude und die Gesundheit ihrer Bewohner höchst wichtig, daß zu den Fundamenten nicht ein Material genommen werde, welches, wie manche schwarze Feldsteine, gebrannte Schlufffsteine u. a., wegen seiner Porosität und Neigung das Wasser anzuziehen, bei einem nassen Untergrunde fortwährend feucht sind. Weil auch bei besserem Baumateriale das Empordringen der Feuchtigkeit, wenn sie im Uebermaße vorhanden ist, nie ganz beseitigt werden kann; so ist es gut auf das Mauerwerk des Erdgeschosses eine ziemlich starke Lage eines Materiales, wie Theer und Asphalt, zu bringen, welches die Nässe nicht weiter nach oben dringen läßt. Man nennt dies eine Isolirschicht.

Die Stärke dieser Molekularanziehung verschiedener Stoffe gegen einander läßt sich genauer untersuchen, wenn man von den festen Körpern enge Röhrchen von verschiedener Weite bis zu einer solchen Feinheit macht, daß sie kaum ein zartes Haar durchlassen, weshalb sie auch Haarröhrchen, Kapillarröhrchen, heißen und sie dann in Beziehung auf verschiedene Flüssigkeiten untersucht.

Hält man die Mündung eines engen und reinen Glasröhrchens an

einen Wassertropfen, so eilt er in das Röhrchen und läßt sich mit ihm fortnehmen. Ist das Röhrchen nur kurz, so kann man mit ihm etwas Pockenlymphe ansaugen lassen, die feine Oeffnung an einer Stichflamme zu schmelzen und diese Lymphe zum Gebrauche für spätere Zeiten aufbewahren.

Läßst man das in einer engen Glasröhre befindliche Wasser ausfließen, so bleibt immer etwas davon haften.



(Fig. 31.)

Hält man die an beiden Enden offene Röhre in ein Gefäß mit Wasser, so steigt es in ihr zu um so bedeutenderer Höhe über den äußeren Wasserspiegel, je enger sie ist. Der Vorgang ist (Fig. 31) leicht erklärlich. Das Wasser wird nämlich von der inneren Wand der Röhre angezogen und an ihr so emporgehoben, daß es oben eine ausgehöhlte oder konkave Fläche bildet; aber die Ränder theile dieser Wasserfläche sind einander so nahe, daß sie durch ihre Anziehung die Vertiefung bald ausfüllen; das Wasser wird nun aufs neue an der Wand emporgezogen, fließt aufs neue nach der Mitte zusammen und dies wiederholt sich so lange, bis das Gewicht der gehobenen Wassersäule den anziehenden Kräften das Gleichgewicht hält. Es ist also natürlich, daß eine enge Wassersäule höher sein muß, als die weite, wenn sie mit ihr dasselbe Gewicht haben soll. Für gewisse Stoffe müssen die Höhen der Flüssigkeitssäulen wie umgekehrt die Durchmesser sich verhalten. Die Dicke der Röhrenwände hat auf die Erscheinung keinen Einfluß. Bei verschiedenen Flüssigkeiten stehen die Höhen mit ihren Kohäsionen nahe in gleichem Verhältnisse. Vermehrung der Wärme vermindert die Kohäsion, also auch den Höhenstand.

In einem Röhrchen von 1 Millimeter Durchmesser steigt das 10^0 warme Wasser auf 30 Millimeter Höhe, bei 2 Millimeter Durchmesser nur bis zu 15 Milimeter, bei $^1/_{10}$ Durchmesser aber bis zu 300 Milimeter Höhe und da die Gefäße der Pflanzenzellen einen Durchmesser von kaum $^1/_{100}$ Millimeter haben, so müssen die Säfte mit großer Kraft steigen. — Steigt Wasser auf 30,7 Millimeter Höhe, so erreicht Schwefelsäure nur 20,12, Alkohol 12,4, Aether 10,8.

Wenn Körper, wie Schwamm, Löschpapier u. drgl. in sich dem Gewichte nach mehr Wasser tragen können, als sie selbst wiegen; so ist zu berücksichtigen, daß die Kanäle in ihnen nicht alle oder vielmehr die wenigsten lothrecht aufsteigen und diese auch nur zum Theil, so daß das Wasser, welches zuerst aufwärts gegangen und dann seitwärts geflossen ist, an den darunter liegenden Massentheilen eine neue Stütze gewinnt und somit, der Kapillaranziehung folgend, höher steigen kann.

Da die organischen Körper sehr viele Poren haben, so findet durch sie ein außerordentlich lebhafter Verkehr im Austausche der Stoffe mit der Außenwelt statt und man kann geradezu sagen, daß er eine der noth-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wendigsten Lebensbedingungen und des Wohlbefindens der lebenden Geschöpfe ist.

Es wird demnach z. B. jeder verständige Gärtner dafür sorgen, daß die alte abgestorbene Rinde seiner Obstbäume, so wie das darauf schmarotzende Moos beseitigt werde, er wird den die Blätter bedeckenden Staub durch Besprengen u. drgl. abspülen, damit Luft, Feuchtigkeit, Licht und Wärme auf die Pflanzen besser einwirken können. Sie athmen durch die Poren ein und aus (Kohlensäure, Sauerstoff).

Dieser Verkehr ist bei dem lebenden thierischen Körper ein noch lebhafterer. Nach einem Bade ist man etwas schwerer, als vorher, weil der Körper durch die ungeheure Anzahl seiner Poren Wasser angesogen hat und mit ihm auch die Stoffe, welche im Wasser aufgelöst sind. Daher der Nutzen von angemessenen Bädern in Krankheitsfällen, um dem Körper diejenigen Stoffe zuzuführen, welche er zu seiner Gesundheit braucht und um die gestörte Hautthätigkeit in den Gang zu bringen, die überhaupt durch das Reinhalten befördert wird.

b. Die Kapillarerscheinungen bieten noch eine zweite Seite der Betrachtung dar.

Taucht man ein reines Porzellan- oder Glasstäbchen in Queckſilber, so bleibt es trocken oder wird nicht benetzt, ebenso Eisen und Platin; hat man die Hand ganz dicht mit Bärlappsamen (Hexenmehl) bestreut, so wird sie durch Wasser nicht genäßt, man kann also z. B. ein Stück Geld, welches unter Wasser in einem Teller liegt, herausholen, ohne die Finger sich naß zu machen, wenn man auf die Wasserfläche eine Lage dieses feinen Pulvers streut.

Aehnlich wirken Fette und fette Oele. — Daher sind die Wasservögel vor dem Naßwerden ihrer Haut geschützt, denn sie bestreichen sich ihre Federn mit dem Fette, welches sie mit dem Schnabel aus einer Drüse am Steiße drücken.

Die Baumknospen sind gegen Näſſe und Kälte durch einen harzigen Ueberzug geschützt.

Mit Wachs überstrichenes (gebohntes) oder mit Oelfirniß und Oelfarben getränktes Holz nimmt das Wasser nicht an, ebenso die Zeuge, welche mit einer Harz- oder Gummilösung (Kautschuck in Steinöl, Terpentinöl, Steinkohlenöl) behandelt worden sind, um wasserdichte Kleidungsstücke daraus zu fertigen. — Bestreichen der Schuhsohlen mit Leinölfirniß.

Es lassen sich Wasserfarben nicht auf fette, Oelfarben nicht auf nasse Gegenstände auftragen. Oelanstriche an Gebäuden blättern daher ab, wenn das Mauerwerk beim Anstreichen nicht recht trocken war.

Oeliges Papier ist also auch zum Schreiben nicht geeignet und fettige Beutel nicht zum Filtriren.

Queckſilber lauft nicht durch Flor; wenn man aber mit der unteren Seite des Flores, worin sich Queckſilber befindet, einen Queckſilberspiegel berührt; so fließt es sofort durch.

Da Porzellan, Glas, Eisen von dem Quecksilber nicht benetzt werden, so kann man es aus einem derartigen Gefäße in einem feinen Strahle ausgießen, auch ohne daß ein Ausgußschnabel vorhanden ist. Ebenso ist es mit anderen Flüssigkeiten in demselben Falle.

Wenn eine Flüssigkeit einen Körper nicht benetzt, so zerfließt sie auf ihm auch nicht, sondern bildet auf ihm um so vollkommnere Kugeln, in je kleineren Mengen sie vorhanden ist. Es bildet also z. B. Quecksilber auf einem reinen, Wasser auf einem öligen Tische Kügelchen; flüssiges Fett und Oel runden sich auf dem Wasser ab und thut man eine nicht große Menge feines Knochenöl auf Wasser, welches durch einen Zusatz von Alkohol so leicht gemacht worden ist, daß das Oel ganz unter den Wasserspiegel gesunken ist; so formt dieses sich völlig zur Kugel.

In allen den Fällen, in welchen eine Flüssigkeit einen Körper zu benetzen nicht im Stande war, dringt sie auch in seine Poren nicht ein. Ein öliger Waschschwamm ist daher unbrauchbar. Mit Taschentüchern aus roher Seide kann man sich den Schweiß weniger leicht abtrocknen, als mit einem aus Leinwand. — Hat man nassen Thon auf einen Oelfleck gethan, so dringt das Oel in den Thon, während das Wasser verdunstet, ja sogar von dem Oel vertrieben wird.

Der Grad der Abneigung einer Flüssigkeit von einem festen Körper sich anziehen zu lassen, wird auch hier durch Röhrchen von verschiedener Weite aus verschiedenen Stoffen untersucht. Hält man Glasröhren von ungleichen Weiten in Quecksilber, so steht es in allen tiefer, als der äußere Spiegel anzeigt und um so tiefer, je enger die Röhre ist; ferner bildet in allen Fällen die innere Flüssigkeit nicht eine ausgehöhlte, sondern eine kugelförmig erhabene, konvexe Fläche, indem sie an dem Rande ringsum tiefer steht, als in der Mitte.

Wenn wir nun die beiden Erscheinungen der Haarröhren-Anziehung und Herabdrückung (Kapillar-Attraktion und Depression) mit einander vergleichen, so ergibt sich bald, daß sie von dem Verhältnisse der Molekularkräfte der beiden Stoffe des festen und flüssigen Körpers abhängen. Die erste Erscheinung findet statt, wenn die Anziehung des festen Körpers gegen den flüssigen die Anziehung der Flüssigkeitstheilchen untereinander überwiegt; die zweite aber, wenn der umgekehrte Fall stattfindet, so daß also nicht von einer Abstoßung des festen gegen den flüssigen die Rede ist, sondern die Theilchen der Flüssigkeit ziehen einander mehr an, als sie von dem festen Körper angezogen werden.

Nicht ohne Interesse ist es, die Fälle zu untersuchen, in welchen zwei auf Wasser schwimmende Körper einander theils anziehen, theils abstoßen, so daß eine Ungesetzmäßigkeit stattzufinden scheint. Es ziehen nämlich einander z. B. an zwei reine hohle Glaskügelchen, welche beide benetzt werden und zwei Wachskügelchen, die beide nicht benetzt werden; aber es stoßen einander ab ein Glas- und ein Wachskügelchen. Beides läßt sich leicht erklären.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

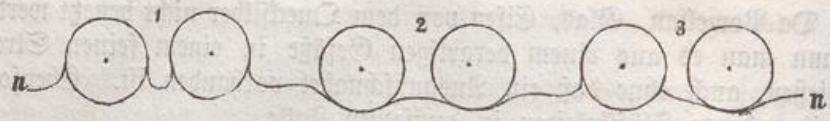


Fig. 32.

Es sei nn (Fig. 32.) das Niveau des Wassers, so bilden die beiden Glaskügelchen (1) zwischen sich eine hohle Wasserfläche, so daß die Molekularanziehung der Wassertheile gegen einander die Annäherung bewirkt; im zweiten Falle (2) ist die Wasserfläche dazwischen zwar erhaben, aber tiefer als das Niveau, so daß die Kügelchen gegen einander fallen; im dritten Falle (3) rollt das nicht benetzte wie auf einer schiefen Ebene von dem benetzten, wo das Wasser höher steht, herab und muß sich von ihm entfernen.

e. Hygroskopische Erscheinungen.

Die Molekularanziehung findet nicht blos bei der Berührung statt, sondern erstreckt sich sogar auf größere Entfernungen. Hat man in einem Gefäße Wasser, so zieht es die in der Luft schwebenden Wasserdünste an und trocknet somit die Luft aus. Eben dieses bewirken aber noch viele andere flüssige und feste Körper in einem höhern Grade: Schwefelsäure, Kochsalz, Zucker, Pottasche, Chlorkalk, entfettete (in Kalilauge gekochte) Menschenhaare, nach der Quere der Fasern geschnittenes Fischbein, Holz, Federposen, Schluffsteine, Darmsaiten, manche Pflanzenbestandtheile.

Daß man einigermaßen im Nachtheile ist, wenn man bei nassem Wetter und aus feuchten Lokalen Einkäufe von Salz und Zucker macht, versteht sich also von selbst.

Es ist für die Fruchtbarkeit der Ackererde unendlich wichtig, daß sie locker erhalten werde, damit sie selbst bei verhältnißmäßig trockener Luft die Feuchtigkeit aus ihr zum Gedeihen der Gewächse anziehe. Sie thut es eben so heftig als Schwefelsäure. — Man muß selbst in Blumennäpfen und Kübeln das zeitweise Auflockern nicht verabsäumen.

Jene Körper nehmen um so leichter das in der Luft vorhandene Wasser auf, je weniger diese es in Dampfform zu tragen im Stande ist, also je kälter sie bei einer bestimmten Menge in ihr vorhandener Wasserdämpfe ist. Sie sind demnach die absolute Menge von Feuchtigkeit in der Luft zu bestimmen nicht geeignet, obwohl man mehre von ihnen, wie Menschenhaare und Fischbein zur Anfertigung von Feuchtigkeitsmessern und Hygrometern benutzt hat.

Die sogenannten Wetterpropheten, eine kleine weibliche und männliche Figur, welche, jenachdem das Wetter gut oder schlecht ist, aus einem Häuschen abwechselnd hervorkommen, sind an den Enden eines bogenförmigen Hölzchens, welches in der Mitte durch eine Darmseite getragen wird, angebracht. Zieht bei überwiegender Luftfeuchtigkeit die Saite Wasser an, so verkürzt sie sich und bringt, indem sie sich zurück-

dreht, das Männchen zum Vorscheine; im entgegengesetzten Falle das Weibchen.

Zwar genauer, aber zu einem absoluten Maße völlig ungeeignet, sind die Haar- und Fischbein-Hygrometer. Wir übergehen sie deshalb, und weil wir später das einzig zweckentsprechende Instrument anführen werden.

Wenn Gebäude aus hygroskopischen Ziegeln aufgeführt sind, so zeigen sich bei nassem Wetter, selbst durch Kalkputz und Tapeten, feuchte Stellen, und sind es bewohnte Räume, so ist die Luft stets eine unangenehme, weil diese Ziegeln auch die Ausdünstungen der Menschen anziehen, was sich in Krankensälen, in welchen Operationen vorgenommen werden, besonders unangenehm und namentlich bei ansteckenden Krankheiten sogar höchst gefährlich zeigt. Man sollte also beim Bauen vorzüglich von Kasernen, Krankenhäusern, Schulen u. a. dieses Materiales sich durchaus enthalten.

Ist es nicht geschehen oder der Gebrauch nicht zu umgehen, so sollte man die Wände bei recht trockenem Wetter mit Leinölfirniß anstreichen.

Der Chlorkalk hat die Eigenschaft, fremdartige Theile aus der Luft anzuziehen, in einem sehr hohen Grade und deshalb verwendet man ihn, um nach ansteckenden Krankheiten die Wohnungen unschädlich zu machen, sie zu desinfiziren oder um üble Gerüche von Kloaken u. dergl. zu beseitigen.

f. Flächenanziehung, Adhäsion (Anhängung).

Die Molekularanziehung der verschiedenen Körper äußert sich endlich dadurch, daß zwei Körper von demselben Stoffe oder von verschiedenen Stoffen oder Aggregatzuständen bei der äußerlichen Berührung an einander haften, selbst wenn der eine den anderen nicht benetzt. Diese Neigung zeigte sich für den letzten Fall schon darin, daß selbst an reinem Glase ganz kleine Quecksilberkugeln hängen bleiben.

Es zeigt sich dieses Bestreben der Anziehung für alle drei Aggregatzustände, sowohl eines jeden für sich, als auch gegen jeden anderen, so daß wir sechs Fälle annehmen können.

1) Schneidet man ein Gummistück oder eine Bleikugel auseinander und legt beide Schnittflächen dicht an einander, so bleiben sie auch im luftleeren Raume an einander hängen. Ebenso ist es der Fall mit zwei Platten aus Spiegelglas, mit recht glatten Platten aus Metallen, aus Marmor u. drgl.

Man kann die Stärke der Anziehung, welche von der Zeit der ersten Berührung an noch etwas wächst, dadurch bestimmen, daß man an die untere Platte Gewichte hängt oder daß man, während die untere festgehalten wird, die obere an die eine Seite einer Wage hängt, sie zuerst allein durch ein Gewicht ins Gleichgewicht setzt und dann während der

Berührung Gewichte zulegt, bis die Trennung erfolgt. Der Grad der Anziehung ist nicht abhängig von der Dicke der Platten, sondern nur von der Menge der einander unmittelbar berührenden Theilchen beider Körper, steht also unter übrigens gleichen Umständen in gradem Verhältnisse mit der Größe und Glätte der einander berührenden Flächen.

Ist zwischen den beiden Flächen ein noch so dünner Körper, wie z. B. ganz zartes Papier, der die Berührung der Massentheile verhindert; so verschwindet die Adhäsion, wodurch sie in der That als eine Molekularanziehung charakterisirt wird, die aber wegen weit geringerer Annäherung der Molekel sich weit schwächer zeigt, als die Kohäsion; bei Metallen wohl mehre Millionen mal schwächer.

Eisen zieht Eisen mehr an als Messing und daher ist bei Maschinen ein messingenes Zapfenlager für eine eiserne Walze (auch Wagenaxe) besser, als ein eisernes.

Eine Blei- und Blei-, eine Blei- und Zinnplatte, ebenso Kupfer und Silber lassen sich durch starken Druck mittelst Walzen zu einem fast untrennbaren Ganzen verbinden; Eisen und Platin schon durch Hammerschläge, wenn sie noch weich sind. Darauf beruht das Platiren oder das Ueberdecken eines unedlen Metalles mit einer ganz dünnen Platte eines edleren.

Hierher gehört auch das Anhaften der Spiegelbelegung; das Schreiben und Zeichnen mit Kreide, Kohle oder Stiften, das Malen mit Pastellfarben, das Lithographiren, die Gold und Silberprobe auf dem Probirsteine, das Poliren des Schießpulvers durch Wasserblei, das Anhängen des feinen Staubes an die Decke und die Wände des Zimmers, selbst wenn sie glatt sind, des Russes an die Schornsteine und Kochgeschirre.

2) Wenn Platten eines festen Körpers mit dem Spiegel einer Flüssigkeit in Berührung kommen, so hängen sie stets an, es mag die Flüssigkeit sie benetzen oder nicht. Hängt eine solche Platte an der einen Seite einer Wage im Gleichgewichte, so zieht sie bei der allmählig vermehrten Belastung der andern die Flüssigkeit mehr oder weniger empor, bis sie von ihr sich trennt und ist dann, je nach der Flüssigkeit, benetzt oder trocken; im ersten Falle wird Flüssiges von Flüssigem getrennt und das Flüssige wird von dem Festen stärker angezogen, als von dem gleichnamigen Flüssigen; im zweiten Falle wird das Feste von dem Flüssigen getrennt, weil die Anziehung des Flüssigen zum Flüssigen stärker als zum Festen ist; dort ist die Größe der Kohäsion in der Flüssigkeit, hier die Adhäsion gegen einander bestimmbar; jene ist von der Natur der benetzten Platte unabhängig, diese nicht.

Man kann den Strahl eines Springbrunnens dadurch von seiner Richtung etwas ablenken, wenn man ihn der Länge nach mit einem von ihm benetzten Stabe berührt.

Berührt eine Platte den Spiegel einer sie nicht benetzenden Flüssigkeit und gießt man auf letztere eine dünne Schicht einer sie benetzenden, so drängt sich letztere zwischen die Platte und erste Flüssigkeit. — Es sind hier dieselben Umstände maßgebend, welche sich beim Verdrängen einer Flüssigkeit durch eine andere auf einen festen Körper zeigten. Gißt man z. B. auf Wasser, welches mit seinem Spiegel an der Platte eines festen Körpers hängt, etwas fettes Oel, so drängt sich dieses zwischen Scheibe und Wasser und dieses fällt früher ab, als es ohne jenes geschehen wäre.

Das Aneinanderhaften zweier Platten wird bedeutend vermehrt, wenn man dazwischen eine sie benetzende Flüssigkeit bringt, besonders, wenn die Flüssigkeit zwischen ihnen vertrocknet. Gut geschliffene Metallplatten von zwei Zoll Durchmesser tragen mehr als einen Zentner, wenn sie vorher erwärmt, mit Talg bestrichen, zusammengedrückt worden und einige Zeit ruhig liegen geblieben sind.

Zu diesen Betrachtungen gehört auch das Leimen, Kitten, Kleistern, Tapezieren, Anstreichen; das Vergolden, Versilbern, Verzinnen im Feuer; das Mauern, Löthen, Schweißen. — Mancher Kitt oder Leim bindet so gut, daß die Masse eher an anderen Stellen reißt, als an der gekitteten oder geleimten.

Selbst Papierbogen bekommen durch Zusammenleimen und Pressen eine außerordentliche Festigkeit; ein Zylinder von einem Quadratzolle Querschnitt vermag 30,000 Pfunde und einer aus Hanffäden, welche der Länge nach zusammengeleimt waren, gar 92,000 Pfunde zu tragen. Röhren aus $^1/_{20}$ Zoll dickem Kupferbleche erhalten eine doppelte Festigkeit, wenn sie mit einer doppelt so starken Lage gut zusammengeleimten Papiers überzogen werden.

In der Natur geschieht die Bildung von Konglomeraten, von Sandstein u. a. ebenfalls durch ein Bindemittel. — Das Zusammenballen von feuchtem Schnee, feuchtem Erdboden u. a.

An kaltem Platin haftet zwar ein Wassertropfen, im glühenden Platintiegel geht er nicht auf die tiefste Stelle desselben, sondern wird einige Zeit herumgeschleudert (durch die Schwingungen des glühenden Metalles) ehe er und zwar plötzlich verdampft. Der leidenfrostsche Tropfen.

3) Ferner ist bemerkenswerth, daß sich an die Oberflächen fester Körper eine verdünnte Schicht von der Luft, in welcher er sich grade befindet, anlegt und oft mit großer Hartnäckigkeit anhaftet.

Die athmosphärische Luft hängt sich sehr fest z. B. an Glas. Dies zu beachten ist bei der Anfertigung der Thermometer und Barometer höchst wichtig, weil die inneren, vom Queckfilber nicht erfüllten Räume dieser Instrumente durchaus luftleer sein müssen, wofern sie brauchbar sein sollen, was freilich namentlich bei den gewöhnlich käuflichen Barometern sehr selten der Fall ist. — Wenn man auch zum

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Füllen der Röhren völlig luftfreies Queckſilber angewendet hat, ſo muß man es in dieſen Röhren noch ſtundenlang kochen, um die an den inneren Wänden haftende Luft herauszuſchaffen.

Auch die Lichterſcheinungen zeigen es, daß namentlich an den Kanten der Körper, wo ſie verhältnißmäßig viel Oberfläche darbieten, die Luft und mit ihr der Weltäther in einem verdichteten Zuſtande vorhanden iſt, denn die ſonſt gradlinig fortgehenden Lichtſtrahlen werden an den ſcharfen Kanten der Körper abgelenkt, gebogen und dadurch erſcheint ein Gegenſtand, auf welchen man blickt, etwas vergrößert. Will man alſo etwas deutlicher erkennen, ſo kneift man die Augenlider zu einem ſchmalen Spalte zuſammen oder ſieht durch einen ſchmalen Spalt, z. B. zwiſchen den Fingern.

Man kann das Vorhandenſein einer verdichteten Luftſchicht an der Oberfläche feſter Körper auch auf folgende Art durch die ſogenannten Hauchfiguren nachweiſen.

Man legt auf eine polirte, aber nicht friſch gereinigte Metallplatte ein Blatt Papier mit ausgeſchnittenen Figuren, behaucht dieſelben, läßt das angehauchte Waſſer völlig verdunſten, wobei man das Papier entfernen kann, behaucht ſofort dann die ganze Platte und die ausgeſchnittene Figur wird wieder ſichtbar. Wenn nämlich der Hauch von der Figur verdunſtet, ſo nimmt er die Luft von der Platte mit fort und der neue Hauch haftet dann an dieſen Stellen weniger, als an den übrigen. — Iſt eine Metallplatte mit friſch geglühtem Trippel ſoeben recht ſorgfältig gereinigt worden, ſo daß ſich eine Gasſchicht noch nicht hat bilden können, ſo zeigt ſich auch keine Figur.

Hat man einen gereinigten Stahlſtempel in friſches Kohlenpulver gelegt, ſo bekommt er dadurch eine dichte Schicht von Kohlenſäure an ſeiner Oberfläche; ſetzt man ihn dann ſofort etwa 10 Minuten lang auf eine ſoeben vollkommen gereinigte Metallplatte und läßt dann die Dämpfe von Queckſilber auf ſie niederſchlagen; ſo legen ſich dieſelben nur da an, wo der Stempel die Platte nicht berührte, weil hier die Platte nicht ſo ſchnell mit einer Gasſchicht ſich belegen konnte, als an den Berührungsſtellen. Hätte man die gereinigte Platte in das Kohlenpulver gebracht und dann auf ſie den gereinigten Stempel geſetzt, ſo würden die Queckſilberdämpfe ſich an die Berührungsſtellen anſetzen. — Haben Stempel und Platte eine Gasſchicht oder beide keine, ſo erſcheint keine Figur.

Selbſt in den Poren und inneren Kanälen eines feſten Körpers haftet die Luft mit einer gewiſſen Hartnäckigkeit, was uns ſelbſt die alltäglichſten Erſcheinungen zeigen: wenn man z. B. ein ganzes Stück Zucker ins Waſſer wirft, ſo zergeht es nicht ſo leicht, als wenn man es, wie man zu ſagen pflegt, anziehen läßt, weil in dieſem Falle durch die Kapillaranziehung die innere Luft vorher herausgetrieben, während ſie in jenem vom Waſſer umgebenen Zucker feſtgehalten wird.

4) Wir haben bereits Verbindungen tropfbarer Körper mit anderen

tropfbaren kennen gelernt, welche wir als Atomverbindungen ansahen, die eine Stoffumwandlung enthielten und uns neue Körper mit wesentlich verschiedenen Eigenschaften zeigten. Es gibt aber noch andere, welche als Molekularerscheinungen auftreten, indem eine Stoffumwandlung nicht eintritt. Sie zeigt sich an gleichartigen und verschiedenartigen Körpern.

Sowie ein Quecksilberkügelchen ein zweites berührt, schmilzt es augenblicklich mit ihm in eines zusammen. Ganz ebenso ist es bei jedem anderen tropfbaren Körper, z. B. bei zwei Wassertropfen auf Wachspapier, bei einem Tropfen Milch und einem Tropfen Wasser. Weder wässrige Milch, noch milchiges Wasser ist eine chemische Verbindung ebenso wenig als Salz oder Zucker in Wasser.

Die Molekularanziehung verschiedener tropfbarer Flüssigkeiten gegen einander zeigt sich auch darin, daß die eine auf der anderen zerfließt. So u. a. ein Tropfen Wasser auf Quecksilber, ein Tropfen fetten Oeles auf einem Wasserspiegel, ätherisches Oel auf fettem, Weingeist auf ätherischem Oele.

5) Daß die Flüssigkeiten an ihrer Oberfläche eine verdichtete Gasschicht bilden, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man einen Wassertropfen an einem Stäbchen langsam dicht über einer nicht frisch polirten Platte hinführt und dann die Platte behaucht; denn der mit dem Tropfen zurückgelegte Weg wird dann sichtbar, weil das Wasser auf ihm die Luft weggenommen oder absorbirt hat.

Will man Eiweiß zu Schaum schlagen, so beabsichtigt man es mit möglichst vielen Lufttheilchen zu versehen, um die mit ihm zu bereitenden Speisen recht locker zu erhalten und in der That gelingt es in dem Grade, daß die Luft selbst in der Wärme noch an den festen Theilen haftet, indem sie an ihnen sich ausdehnt und es verhindert, daß der feste Körper sehr dicht werde.

Jeder durch die Luft fallende Wassertropfen nimmt an seiner Oberfläche etwas Wasser mit sich fort und ebenso bleibt von ihr, wenn man sie durch Wasser gehen läßt, etwas zurück, weshalb man, wie schon erwähnt, beide Methoden anwendet, um den Thieren, welche man in den Stuben in Wasserbehältern oder sogenannten Aquarien gesund erhalten will, das nöthige lufthaltige Wasser zu gewähren. — Daß selbst ruhig stehendes Wasser sogar in sein Inneres Luft aufnimmt, ohne sich chemisch mit ihr zu verbinden, ist früher auch schon erwähnt worden, weshalb man in das Eis, welches fischreiche Teiche und Seen bedeckt, Löcher, Wuhnen, zu machen nicht verabsäumen darf.

6) Endlich verbinden sich auch luftige Körper bei der Berührung mit einander zu einem Körperganzen, ohne immer eine chemische Verbindung zu geben. Wenn sich in frisch geschöpftem Wasser Luftblasen an die Gefäßwände und an ein hineingebrachtes Stäbchen gelegt haben, so lassen sich leicht zwei oder mehre zu einer verbinden, was in reinem Wasser sofort bei der Berührung geschieht; haben die Luftblasen sich aber

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

z. B. in Kalkwasser gebildet und somit eine äußerst zarte Kalkumhüllung erhalten, so verschwimmen sie ungeachtet der Berührung nicht zu einer einzigen, wie auch das Aneinanderhaften zweier Metallplatten durchaus nicht gelang, wenn ein auch noch so zartes Papierblatt zwischen ihnen war. Es ist also auch hier unmittelbare Molekularberührung nothwendig.

Dritte Stufe:

Die Körperanziehung, Gravitation.

Wir gehen in den Erscheinungen der allgemeinen Stoffanziehung noch einen, und zwar einen sehr bedeutenden Schritt weiter!

Wir fanden bisher eine Anziehung der Urtheile oder Atome der Stoffe und eine solche von den Gruppen der Atome oder den Molekeln. In beiden Fällen war eine unmittelbare Berührung nothwendig, was uns auf die Abhängigkeit der Erscheinungen von den Grundformen der Atome und Molekel schließen läßt. Nun aber zeigt sich auch noch, und zwar nach den bisherigen Betrachtungen als naturnothwendig, eine Anziehung getrennter Molekulargruppen, d. i. der Körper und zwar ohne alle Rücksicht auf die Beschaffenheit und Gestalt ihrer Atome und Molekel, also als ganz allgemein wirksame Kraft ohne Polarität.

Diese Anziehung, welche durch besondere Mittel, wie etwa bei der Elektrizität und dem Magnetismus, nicht erst hervorgerufen zu werden braucht, sondern mit den Körpern unmittelbar gegeben ist, zu ihrer Wirkungsfähigkeit keiner Zeit bedarf und von der Natur des Stoffes nicht abhängt, bezieht sich sowohl auf unsere Erde und die Körper auf ihr, als auch auf die Körper im unendlichen Weltraume. Im ersten Falle ist sie die irdische Schwere oder Gravitation, im zweiten Falle die überirdische.

Diese nur anziehende Kraft ist es, welche die ganze Welt nach ewig unwandelbaren Gesetzen zusammen und in Ordnung erhält: sie verhindert es, daß sich das geringste Staubkorn von der Erde in den Weltraum entferne, sie fesselt die Atmosphäre an unsere Erde, sie kettet die Monde an ihre Planeten, die Planeten an ihre Sonne, die Sonnen an einander zu einem Sternenhaufen, sie setzt die Sternenhaufen und Nebelflecken in immer weiter aufsteigenden Stufenfolgen zu immer neuen und höheren Systemen zusammen, deren Erforschung dem Menschen wohl für immer versagt sein dürfte.

Wir können uns hier blos mit näher liegenden Erscheinungen und nur in beschränktem Maße, mit der irdischen Gravitation beschäftigen.

Hängt ein Stab mit einer Kugel an jedem Ende horizontal ganz ruhig, und nähert man der einen Kugel eine massive Metallkugel von bedeutenderem Gewichte, so kommt ihr die benachbarte Kugel entgegen,

wenn es auch nur so unbedeutend sichtbar ist, daß man besonderer Vorrichtungen bedarf, um es zu erkennen.

Hat man auf vollkommen freier Ebene ein Loth, so bildet es mit allen horizontalen Ebenen nach allen Seiten hin rechte Winkel und zeigt nach dem Scheitelpunkte, dem Zenithe, des betreffenden Ortes. Läßt man aber das Loth in der Nähe eines gewaltigen Felsens oder Berges ruhig hängen, so wird es nach der über die Erdoberfläche hervorragenden Masse hin abgelenkt, also von ihr angezogen und zeigt nicht mehr nach dem Zenith, wie es durch genaue Beobachtung mit aller Bestimmtheit erkannt wird.

Es hat keine Schwierigkeiten zu erkennen, in welcher Weise die Beobachtungen angestellt werden müssen und wie man die Resultate erhält.

Wenn zwei Beobachter aus verschiedenen Standpunkten die Axe ihres Fernrohres gleichzeitig nach demselben Fixsterne richten, so sind diese Axen als parallel anzusehen, weil die Entfernung ihrer Standpunkte in Beziehung auf die Entfernung des Gestirnes als verschwindend angesehen werden kann. Dasselbe ist der Fall, wenn von einem Beobachter ein bestimmter Fixstern genau in demselben Meridiane zu verschiedenen Zeiten beobachtet wird. Für solche Beobachtungen ist die Axe des Fernrohres in einem eingetheilten Kreisquadranten drehbar an letzterem angebracht und ein Loth um die Entfernung des Gestirnes vom Horizonte in Bogentheilen des Quadranten oder die Deklination des Gestirns zu erhalten.

Ist man nun südlich von einem Berge, so zeigt das Loth mehr südlich, ist man nördlich vom Berge in demselben Meridiane, so zeigt das Loth mehr nördlich, als es ohne den Berg der Fall sein würde. Zwischen den beiden Punkten, auf welche das Loth in diesen beiden Stellungen zeigt, befindet sich an der scheinbaren Himmelskugel ein Bogen, welcher größer ist, als der Bogen an der Erdoberfläche zwischen denselben Standpunkten und welcher der Unterschied der geographischen Breite beider Beobachtungsorte ist.

Wenn man sich nun durch die Mitte des Berges das Loth denkt, so halbirt es die beiden Bogen und die Hälfte gibt die durch die Masse des Berges bewirkte Ablenkung.

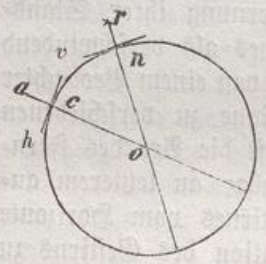
Auf diese Weise fand man bei dem an der schottischen Gränze in Pertshire gelegenen und 3000 Fuß hohen Shehallien aus 40 Beobachtungen den himmlischen Bogen 54,651″, den irdischen 43,019″; also der Unterschied 11,632″, welches der doppelte Winkel der Ablenkung ist, so daß als Wirkung der Anziehung des Berges 5,816″ sich ergibt.

Der 1800 Fuß hohe Minet bei Marseille bewirkt eine Ablenkung des Lothes um 1,98″.

In diesen Fällen äußert sich keine andere Kraft, als die, welche wirksam ist, wenn zwei auf einem ruhigen Wasserspiegel selbst in ziemlicher Entfernung von einander hingelegte Stückchen Holz einander mit

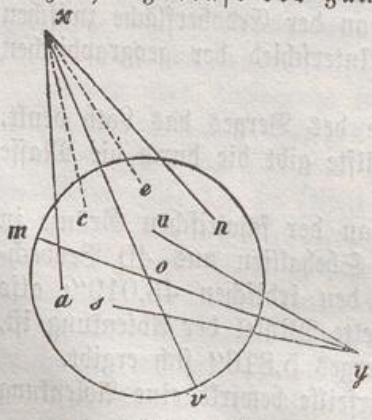
wachsender Geschwindigkeit anziehen und sich mit möglichst vielen Berührungspunkten aneinander legen, oder als die, mit welcher ein Berg die lockere Wolke, die ganze Erde die Luft um sich anzieht und festhält. Man erkennt schon bei diesen so unscheinbaren und deshalb so wenig beachteten Erscheinungen, wie der kleinere und leichtere Körper, welcher nicht von demselben Stoffe zu sein braucht, von dem anderen mehr angezogen und schneller zu gehen gezwungen wird, als es bei ihm der Fall ist. Ist ein schwimmender Körper in der Nähe der Gefäßwand, so begibt er sich an sie. So gehen auf Flüssen schwimmende Hölzer in kurzer Zeit nach den Ufern hin und bleiben nach Ueberschwemmungen bei abnehmendem Wasserstande auf dem Lande liegen.

Der Mittelpunkt der Erde als Schwerpunkt.



(Fig. 33.)

Liegt ein Stein a (Fig. 33) auf unserer Hand, so empfinden wir einen Druck, weil der Erdkörper den Stein mächtig und kräftiger anzieht, als er es bei seiner Kleinheit vermag; nehmen wir aber dem Steine die Unterstützung, so bewegt er sich an die Erdoberfläche, d. h. er fällt, in einer auf die getroffenen Stelle oder deren Horizont hv lothrechten Richtung ac. Wird diese Falllinie verlängert und die Erde als Kugel gedacht, so muß die Verlängerung durch ihren Mittelpunkt o gehen. Da dies von einem zweiten Steine r und von einem anderen auf jedem beliebigen über der Erdoberfläche befindlichen gilt; so müssen alle Falllinien durch den Erdmittelpunkt gehen und wir können den Erdmittelpunkt als den Sitz der Anziehungskraft des ganzen Erdkörpers ansehen.



(Fig. 34.)

Diese Annahme können wir zur Gewißheit erheben, wenn wir uns nur auf die Thatsache der auf die Entfernung wirkenden Massenanziehung stützen. Es wird gestattet sein, daß wir uns die Erde in lauter Paare von materiellen Punkten aufgelöst denken, welche wie (Fig. 34) c und e, a und n einerseits von dem Erdmittelpunkte o, andererseits von einem beliebigen äußeren Punkte x gleiche Entfernungen haben (ao = no, ax = nx) und somit gegen den äußeren Punkt x eine gleiche anziehende Kraft äußern, welche durch xa und xn dargestellt sein mögen. Setzt man nun diese beiden auf x wirkenden Kräfte zusammen, so halbirt die resultirende oder Mittelkraft xv den Winkel axn und geht durch den Mittelpunkt der Erde.

Für zwei andere von c und e auf x wirkende Seitenkräfte gilt dieselbe Richtungslinie der Resultirenden. — Nimmt man nun noch blos einen zweiten äußeren Punkt y an und führt von ihm dieselbe Betrachtung aus, so gehen auch für ihn die Resultirenden aller unendlich vielen Paare von Seitenkräften, wie z. B. für s und u, ebenfalls durch den Mittelpunkt, also in der Richtung ym. — Da die Resultirenden der anziehenden Kräfte für jeden denkbaren äußeren Punkt durch den Erdmittelpunkt gehen und sie einen zweiten Punkt nicht gemeinschaftlich haben können; so ist in der That der Erdmittelpunkt als Sitz der Anziehungskraft der ganzen Erde anzusehen. Die natürlichen Folgen davon sind:

a. daß die an der Erdoberfläche befindlichen und vollkommen sich selbst überlassenen Körper sich überall nach dem Erdmittelpunkte fallend bewegen, (daß also nur das unten ist, was dem Erdmittelpunkte näher liegt, nicht aber etwa unsere Gegenfüßler);

b. daß ein an einer Schnur hängender und dieselbe spannender Körper auf einem ganz freien Standpunkte, entfernt von allen größeren Massen, der Schnur die Richtung nach dem Erdmittelpunkte gibt;

c. daß alle tropfbaren Flüssigkeiten an der Erdoberfläche die tiefsten, d. h. die dem Erdmittelpunkte nächsten Stellen aufsuchen, wobei sie in den großen Wasserbehältern der Erde, den Meeren nämlich, eine ihrer Kugelform entsprechende Oberfläche annehmen, welche in kleineren Behältern und Gefäßen als eben angesehen werden kann und das Niveau heißt, auf welchem ein ruhiges Loth senkrecht steht;

d. daß sich die Atmosphäre, d. h. die in 100 Raumtheilen 79 Stickstoff und 21 Sauerstoff enthaltende Luft sammt allen in ihr befindlichen fremdartigen Körpern rings um die Erde lagert, dabei wegen ihrer Elastizität nach der Oberfläche hin dichter wird und nach obenhin sich nur so weit erstreckt, bis ihr Vermögen sich auszudehnen, d. h. ihre Expansivkraft, durch die Anziehungskraft der Erde im Gleichgewichte gehalten wird.

Da die Erde in ihrem ursprünglich feuerflüssigen Zustande bei der Drehung um ihre Axe ihre Kugelgestalt etwas aufgeben und sich abplatten mußte, so ist man auf ihrer Oberfläche in verschiedenen geographischen Breiten von dem Mittelpunkte nicht gleich weit entfernt; denn die Pole sind ihm am nächsten und die Punkte des Aequators von ihm am entferntesten und daher ist auch die anziehende Kraft der Erde dort am größten, hier am kleinsten und nimmt ab von den Polen nach dem Aequator hin. Sie ist unter dem Aequator etwa um $^1/_{200}$ kleiner, als an den Polen, und gegen $^1/_{300}$, als bei 50 Grad Breite. Ebenso muß sie auf hohen Bergen etwas kleiner sein, als in der Tiefe des benachbarten Thales und das Loth kann eigentlich nur in den beiden Polen und im Aequator ganz genau nach dem Mittelpunkte hinweisen.

Ungeachtet der abgeplatteten (sphäroidischen) Gestalt der Erde ist

die Massenvertheilung bei jedem ihrer Durchmesser in den beiden Strahlen desselben eine gleiche und daher wird der Mittelpunkt selbst nach entgegengesetzten Richtungen von gleichen Kräften angezogen und muß von ihnen im Gleichgewichte gehalten werden. Im Mittelpunkte der Erde ist daher die Schwere Null; von da nimmt sie nach der Oberfläche hin in gradem Verhältnisse zum Abstande vom Mittelpunkte zu, weil nach der Seite hin, wo sich der Mittelpunkt befindet, mehr Masse liegt, als nach der entgegengesetzten. Diese Zunahme findet bis zur Oberfläche statt und hat hier ihren größten Werth erreicht, weil von dem betreffenden Punkte an nach der einen Richtung die ganze Erdmasse, nach der andern Richtung nichts sich befindet. Sowie man sich aber von der Gesammtmasse der Erde, die den Sitz ihrer anziehenden Kräfte nur im Mittelpunkte hat, entfernt, nimmt die Anziehungskraft ab.

Das Gravitationsgesetz.

Es ist kein Grund vorhanden weshalb wir gleichen Massentheilchen eines Körpers eine verschiedene anziehende Kraft gegen einen bestimmten Körper in bestimmter Entfernung zuschreiben sollten und deshalb wird die Größe der Anziehungskraft eines Körpers gegen einen zweiten in gradem Verhältnisse zu seiner Masse stehen, wenn ihre Entfernung eine bestimmte ist.

Da ferner eine bestimmte Masse ihre anziehende Wirkung von einem Punkte aus nach allen Richtungen wie in den Strahlen einer Hohlkugel gleich stark äußert und sich somit für eine bestimmte Kugelfläche über ihre gleichen Theile gleichmäßig vertheilt und da die Kugelflächen wachsen wie die Quadratzahlen ihrer Strahlen; so nimmt nach dem früher schon entwickelten allgemeinen Gesetze der Wirkung auf die Entfernung die Anziehungskraft eines Körpers gegen einen anderen ab, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen.

Das bereits von Newton aus der Bewegung der Himmelskörper aufgefundene und durch später zu erwähnende Versuche auf der Erdoberfläche bestätigte Gravitationsgesetz heißt also:

Die Körperanziehung steht im graden Verhältnisse der Massen und im umgekehrten quadratischen ihrer Entfernungen.

Ein Körper an der Erdoberfläche ist um einen Erdradius von dem Mittelpunkte der anziehenden Kräfte der Erdmasse entfernt; ist der Mond in einem Abstande von 60 Erdradien von ihm, so wird er 60 . 60 oder 3600mal weniger stark angezogen, als ein Körper an der Erdoberfläche. Daß er auf die Erde nicht fällt, beruht auf der ihn fortwährend in der Richtung der Tangente eines jeden Punktes seiner Bahn treibenden Schwungkraft, was wir später noch näher werden kennen lernen.

Die an der Erdoberfläche befindlichen Körper müssen aber, wenn sie ein Hinderniß nicht vorfinden, ohne Ausnahme und ohne Rücksicht auf

ihre materielle Beschaffenheit und Größe von denselben Punkten aus mit derselben Geschwindigkeit fallen, weil die Erdmasse die Masse einzelner Körper unendlich oft übertrifft und es ihrer anziehenden Kraft gleichgiltig ist, aus wie vielen und was für Stoffatomen der Körper besteht.

Wenn wir die Flaumfeder langsamer fallen sehen, als ein Stückchen Holz, so liegt dies in dem verschiedenen Grade des Widerstandes, welchen die Luft diesen Körpern beim Fallen entgegensetzt. Im luftleeren Raume einer Glasröhre fallen sie gleich schnell. — Wenn wir eine Holzkugel im Wasser, einen Luftball in der Athmosphäre sogar steigen sehen, so liegt dies in dem größeren Gegendrucke dieser Flüssigkeiten.

Ebbe und Fluth.

So wie die Erde den Mond durch ihre Anziehungskraft an sich fesselt, so zeigt auch der viel kleinere Mond seinen anziehenden Einfluß auf die Erde, wenn er auch nicht im Stande ist, ihre Bahn um die Sonne zu verändern, sondern nur ihre Gestalt etwas zu verzerren.

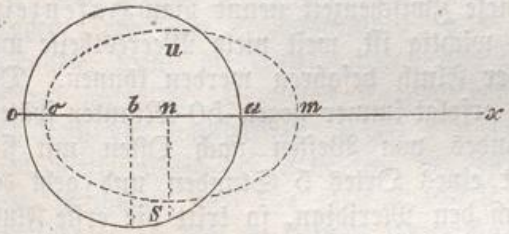


Fig. 35.

Wenn der vollgezeichnete Kreis (Fig. 35) den größten Durchschnitt der Erde, b seinen und ihren Mittelpunkt bedeutet und in der erweiterten Ebene in der Richtung des Durchmessers c a nach x hin der Mond sich befindet; so wird er den von ihm entferntesten Punkt c der Erde am wenigsten, den nächsten a am meisten anziehen. Sind c und a Stellen in offenen weiten Meeren, so können sie seiner anziehenden Kraft folgen, wie es auch mit dem Mittelpunkte der frei im Raume schwebenden Erde der Fall ist. Es werde demnach c bis o, b bis n, und a bis m hingezogen, wobei c o kleiner als b n und dieses kleiner als a m ist. Was von diesen drei Punkten gilt, ist auch von allen übrigen, welche solche ungleiche Abstände von x haben, zu sagen. Die so erhaltene neue Gestalt der Erde sei durch die punktirte Linie dargestellt; ihr Mittelpunkt ist nun n, n o und n m sind jetzt Strahlen. Diese neuen, durch die Anziehung des Mondes hervorgebrachten Strahlen sind aber größer, als die ursprünglichen b c und b a ohne den Moneinfluß; denn zieht man von b c das c o ab, wobei o b als Rest erscheint, und legt man dazu das größere b n; so ist das erhaltene n o größer, als b c. Wenn ebenso von b a das b n abgezogen und zu dem Reste n a das größere a m addirt wird; so ist das erhaltene n m größer als b n.

Der anziehende Einfluß des Mondes gegen die Erde wird es also in dem freien Meeren bewirken, daß sowohl die ihm nächsten, als auch

die von ihm entferntesten Stellen sich von dem Erdmittelpunkte entfernen und Fluth zeigen, die von ihnen aber um 90 Grade zu beiden Seiten dieser Stellen gelegenen s und u am meisten dem Erdmittelpunkte nähern müssen, um das Wasser zu den Fluthen herzugeben, und die Ebbe zeigen. Es sind also gleichzeitig auf der Erde zwei Stellen mit Fluth und zwei Stellen mit Ebbe.

Da sich die Erde aber in 24 Stunden einmal von Westen nach Osten um ihre Axe dreht, und in dieser Zwischenzeit der Mond seine Stellung nicht sehr bedeutend verändert hat, so wandert die Fluthwelle von Osten nach Westen und jeder Punkt ihrer Oberfläche kommt einmal in jede der beiden Fluthstellen und einmal in jede der beiden Ebbestellen; hat also während eines Tages in einer Zwischenzeit von je 6 Stunden die Abwechselung von Ebbe und Fluth.

Die Zeit des höchsten Standes der Fluth verspätet sich, theils wegen des Beharrungszustandes des Wassers, theils wegen der verschiedenen Ländergestaltungen gegen die Zeit des höchsten Standes des Mondes über dem Horizonte an verschiedenen Orten um ungleich viel, in den freien Meeren am wenigsten. Diese Zwischenzeit nennt man Hafenzeit, deren Kenntniß für die Schiffer wichtig ist, weil viele Meerestheile und Flußmündungen nur zur Zeit der Fluth befahren werden können. Die volle Fluth des folgenden Tages erfolgt immer gegen 50 Minuten später, wie es die Bewegung des Mondes von Westen nach Osten mit sich bringt. Ist z. B. die Hafenzeit eines Ortes 5 Stunden und geht der Mond um 4 Uhr morgens durch den Meridian, so tritt die erste Fluth 9 Uhr vormittags und die zweite 9 Uhr 25 Minuten abends ein.

Bei dieser ganzen Erscheinung darf man sich durchaus nicht vorstellen, daß das Wasser der Fluthwelle freigehoben wird oder daß es rings um die Erde wandert, was freilich ein sehr bequemes Mittel abgeben würde, ohne große Mühe in 24 Stunden eine Reise um die Erde zu machen; sondern es ist blos ein abwechselndes Zu- und Abströmen des Meerwassers nach und von den Stellen der Ebbe und Fluth von Osten nach Westen. Nur die Wellenerscheinung als solche hat eine fortschreitende Bewegung. Bei Wellen, die man auf einem Teiche erregt, ist es ja ebenso, und ein darauf gelegtes Stückchen Holz wird nicht wesentlich fortgetrieben, sondern hebt und senkt sich blos auf derselben Stelle.

Da die Erde von Westen nach Osten sich bewegt und auch der Mond dieselbe Bewegungsrichtung befolgt, so ist es natürlich, daß die Fluthwelle an der ihr entgegentretenden Küsten eines Festlandes, also an dessen westlichen, sich stauen muß und namentlich, wenn noch Winde in derselben Richtung wehen, eine oft bedeutende Höhe, bis zu 40 Fuß über den gewöhnlichen Stand erreichen kann. In der Fundybai Nordamerikas beträgt sie 60 bis 80 Fuß. In der Nordsee steigt die Fluth 12 Fuß, so daß zur Zeit der Ebbe flache Küstenstrecken so blos gelegt werden,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

daß man darüber mit einem Wagen fahren kann, gleichwie Moses die Juden durch das rothe Meer führte, während die Verfolger durch die hereinbrechende Fluth ertranken. — An der Ostküste des stillen Meeres ist die Fluthhöhe natürlich nicht sehr bedeutend.

Daß Ebbe und Fluth an den Mündungen großer Flüsse, welche dort eine langsame Strömung haben, sich regelmäßig und je höher hinauf, um so später äußern muß, ist ebenso natürlich. Man benutzt das Eintreten der Fluth, um stromaufwärts zu fahren und den Beginn der Ebbe, um hinaus zu schiffen. Die Fluth reicht z. B. bei Hamburg wohl noch 6 Meilen oberhalb in die Elbe und bei London zeigt die 60 Meilen unterhalb mündende Themse eine noch so starke Ebbe und Fluth, die bis Kingston hinaufgehen, daß man einmal einen todten Hund mehre Tage mit jeder Ebbe zwar hat hinab gehen, aber mit jeder Fluth wieder herauf kommen gesehen. — Beim Amazonenstrome soll die Fluth noch 200 französische Meilen von der Mündung zu bemerken sein. Es tritt also hier, wie auch anderwärts der Fall ein, daß die Fluth noch stromaufwärts geht, während an der Mündung wieder Ebbe ist.

Auf großen Binnenseen kann man noch Ebbe und Fluth aus einer großen Reihe von Beobachtungen, aus denen das Mittel gezogen wird, erkennen, wenn die Entfernungen des Mondmittelpunktes von zwei diametral gegenüber liegenden Stellen des Sees einen Unterschied geben, der noch ein namhafterer Theil von der Entfernung des Mondes von dem Mittelpunkte der Erde ist. So hat man kürzlich die Fluthhöhe auf dem Michigan auf $1^3/_4$ Zoll ermittelt. Auf kleinen Binnenseen aber gibt es wegen des zu kleinen Unterschiedes der Entfernung zweier ihrer Punkte vom Monde und weil dieser die ganze Masse nicht empor heben kann, keine Ebbe und Fluth.

Die Sonne zieht die Erde zwar mächtiger an, als der Mond und man könnte auf den ersten Blick glauben, daß sie eine noch bedeutendere Ebbe und Fluth erzeugen müßte, als der Mond; aber dies ist nicht der Fall, weil selbst die Entfernungen des nächsten und des entferntesten Punktes der Oberfläche von dem Sonnenmittelpunkte einen in Beziehung auf die Entfernung der Mittelpunkte beider Weltkörper so höchst unbedeutenden Unterschied geben, daß er gegen die ungeheure Entfernung der Mittelpunkte beider Weltkörper fast verschwindend klein ist. Während die durch den Mond bewirkte Fluthwelle eine Höhe von 3 Fuß hat, was man am sichersten im stillen Ozeane an kleinen Inseln ermittelt, ist die von der Sonne bewirkte gegen 11 Zolle.

Zur Zeit des Neu- und Vollmondes, in welcher Erde, Mond und Sonne so ziemlich in derselben Richtung liegen, fallen die von den beiden letzteren an einem bestimmten Orte bewirkten Fluthen zusammen und man hat die hohen Springfluthen; aber zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels treffen die Sonnenfluthen auf die Stellen der Mondebben und wir haben die kleineren Nippfluthen.

Ist der Mond in der Erdnähe, so sind die Fluthen etwas höher, als wenn er sich in der Erdferne befindet. Eine Verstärkung findet auch statt, wenn der Mond und eine noch größere, wenn Mond und Sonne im Aequator sich befinden. Daher sind die Springfluthen um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen am höchsten. Die Aequinoktial-Springfluth in Brest, welche 1,6 Tag nach dem Neu- oder Vollmonde eintritt, ist 6,402 Meter hoch; die Solstizialfluth, welche sich um 1,547 Tage verspätet, nur 5,6 Meters.

Wenn der Vollmond in der Nähe unseres Scheitelpunktes stehe, so müssen wir leichter sein, als wenn er sich in der Nähe des Horizontes befindet, denn der Mond wirkt in jenem Falle der Erdanziehung ziemlich entgegengesetzt. Es ist recht merkwürdig, daß Mondsüchtige selbst auf höchst gefährlichen Stellen, z. B. Dachgiebeln, Häusergesimsen selbst bei starkem Winde sicher laufen.

Massen der Himmelskörper.

Schon aus den bisher angeführten Betrachtungen, noch mehr aber aus späteren ebenfalls zur Gravitation gehörigen, lassen sich einige Schlüsse auf die Massen der Himmelskörper ziehen.

Ein bestimmtes Loth wird von seiner winkelrechten Lage gegen den Horizont um so mehr abgelenkt, je gewichtiger eine ihm zur Seite befindliche Masse ist. Aus ihrer Entfernung von dem aufgehängten Lothe und des letzteren vom Mittelpunkte der Erde, sowie der Größe der Ablenkung hat man das Gewicht der ganzen Erde zu 6 tausend Trillionen Tonnen englisches Handelsgewicht oder 123,191 Trillionen Zollzentnern berechnet. — Wäre die Erde nicht hohl, sondern ihre Masse gleichmäßig vertheilt, so würde sie 5,6747 mal dichter als das Wasser sein.

Aus einer sorgfältigen Vergleichung der Fluthen, welche Sonne und Mond hervorbringen, hat man auf das Verhältniß ihrer Massen geschlossen und nimmt die des Mondes auf etwa den 75sten Theil von der der Erde, die der Sonne 355,000 mal größer an. — Da die Masse der Sonne die aller Planeten und Monde 738 mal übertrifft, so können die gegenseitigen Störungen, welche die Planeten und Monde in ihren Bahnen bei der Bewegung erfahren, verhältnißmäßig nicht sehr bedeutend sein; sie haben aber nicht nur hingereicht, sich bemerklich zu machen, wie z. B. der Mond von seiner Bahn zur Erde hin abgelenkt wird, wenn er sich der Ebene des Aequators nähert, wo die Erde wegen ihrer Abplattung mehr Masse hat, als gegen die Pole hin; sondern haben auch zu den schönsten Entdeckungen geführt, wie ja der von der Sonne entfernteste Planet unseres Sonnensystems, der Neptun, zuerst durch Le Verier aus den Störungen, welche er in der Bahn des Uranus hervorbrachte, berechnet und dann durch Galle am 29. September 1846 an der von ersterem bezeichneten Stelle des Weltraumes wirklich aufgefunden worden ist, welches

einen schlagenden Beweis von der Richtigkeit der die ganze Welt regierenden Gravitationsprinzipien und für den Scharfsinn des menschlichen Verstandes abgibt.

Unsere Sonne selbst bewegt sich, außer in etwa 25 Tagen um ihre Axe, in etwa 22 Millionen Jahren um die Zentralgruppe der Plejaden, welche zu der ungeheuren Sonnengruppe gehört, welche mit ihren etwa 18 Millionen Fixsternen die sogenannte Milchstraße bilden. — Dieses Sonnenweltensystem steht nicht allein im Weltraume da, denn auch die Nebelflecken, deren sichtbare Anzahl ungemein groß ist, bilden Systeme immer höherer Ordnungen, die sich nach denselben Gesetzen bewegen.

Wir müssen hier, um uns nicht zu weit von unserem eigentlichen Stoffe zu entfernen, dieses der menschlichen Forschung so überaus würdige Gebiet verlassen, um zu den weiteren Erscheinungen der irdischen Schwere zurückzukehren.

Der Schwerpunkt irdischer Körper.

Als wir den Erfolg der Anziehung aller materiell gedachten Punkte des Erdkörpers betrachteten, nahmen wir nur einen einzelnen außerhalb ihr liegenden schweren Punkt an. Nun können wir, da wir die Anziehung der ganzen Erde auf einen einzelnen Punkt, ihren Mittelpunkt nämlich, zurückgeführt haben, diesen als anziehende Kraft wirken lassen auf einen außerhalb der Erde befindlichen Körper, als eine Summe von materiell gedachten Punkten oder auch statt dessen alle Punkte dieses Körpers auf den Mittelpunkt der Erde uns wirksam denken.

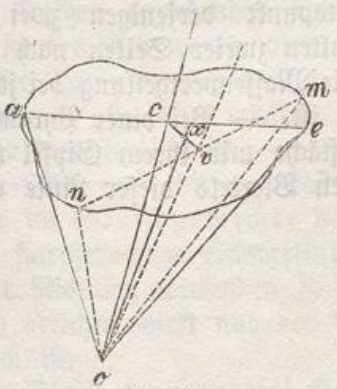


Fig. 36.

Ist in Fig. 36. anemu der Umriß irgend eines in seiner Masse vollkommen gleichmäßigen Körpers und wird in o der ihn anziehende Erdmittelpunkt gedacht, so wirkt o, bei der verhältnißmäßig außerordentlich geringen Ausdehnung des Körpers in Betreff der außerordentlich großen Entfernung des o von den verschiedenen materiell gedachten Punkten des Körpers, auf alle mit gleicher Kraft und die Richtungslinien der von o ausgehenden Kräfte sind in der Nähe des Körpers als fast parallel anzusehen. Denken wir uns den Körper in lauter einzelne Paare von Punkten zerlegt, wie a und e, n und m, und setzen wir die anziehenden Kräfte für jedes Paar zusammen; so geht die Resultirende stets durch den Halbirungspunkt der Verbindungslinie jedes Paares, also für a und e durch c, (ac = ce) für n und m durch v (nv = vm) u. s. w. Setzen wir nun von den erhaltenen Resultirenden wieder immer zwei

und zwei zusammen, wie hier zunächst die in c und v angreifenden gleichen Kräfte, wodurch die in x einschneidende Resultirende entsteht (cx = xv) und fahren so fort zusammenzusetzen; so wird die zuletzt erhaltene Resultirende durch einen Punkt des Körpers gehen, welcher der Angriffspunkt der Resultirenden aller vom Erdmittelpunkte nach allen materiellen Punkten des Körpers gerichteten Anziehungskräfte ist und der Schwerpunkt des Körpers heißt. Die von ihm nach dem Erdmittelpunkte gezogen gedachte Linie heißt die Schwerlinie des Körpers. Die Lage der Körpertheile gegen die Schwerlinie kann sehr verschieden sein.

Die Lage des Schwerpunktes eines Körpers richtet sich theils nach der Gestalt, theils nach der Massenvertheilung in ihm, oder der Dichtigkeit an verschiedenen Stellen. Bei einer Kugel von durchaus gleichmäßiger Stoffbeschaffenheit und Dichte ist ihr Mittelpunkt der Schwerpunkt; wäre sie an einer Stelle außerhalb des Mittelpunktes dichter oder mit einem dichteren Stoffe versehen, so würde der Schwerpunkt nach dieser Seite hin liegen. — Bei einem gleichmäßig beschaffenem Ringe liegt er auch in der Mitte, also wenn man einen Faden als Durchmesser ausspannt, im Halbirungspunkte des Fadens. — Ein Zylinder hat ihn in dem Halbirungspunkte der Axe. — Hat man an den Enden eines kreisbogenförmig gekrümmten Drahtes zwei in jeder Beziehung übereinstimmende Metallkugeln, so liegt er in dem freien Raume in der Linie, welche man lothrecht auf der Verbindungslinie der Schwerpunkte beider Kugeln durch den Halbirungspunkt zieht. — Für ein Parallelogramm ist der Durchschnittspunkt seiner Diagonalen der Schwerpunkt; für ein Dreiseit der Durchschnittspunkt derjenigen zwei Linien, welche man von den Halbirungspunkten zweier Seiten nach den Scheiteln ihrer Gegenwinkel zeichnet, weil die Massenvertheilung bei jeder dieser beiden Linien zu beiden Seiten gleich ist. — Bei einer Pyramide verbindet man den Schwerpunkt der Grundfläche mit ihrem Gipfel und es ist der Schwerpunkt das Ende des ersten Viertels dieser Linie von der Grundfläche an. —

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dritte Abtheilung.

Von Gleichgewichten der irdischen Körper.

Erster Abschnitt.

Das Gleichgewicht eines festen Körpers.

Arten des Gleichgewichtes.

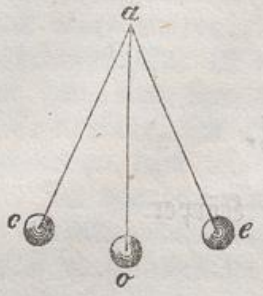
Obwohl jeder materielle Punkt eines außerhalb der Erde befindlichen Körpers als ein die Erde anziehender zu betrachten ist, so kann doch für sämmliche Punkte nur der Schwerpunkt des Körpers als der einzige Anziehungspunkt angesehen werden. Es sind also der Erdmittelpunkt und der Schwerpunkt eines jeden auf ihr befindlichen Körpers als die einzigen anziehenden Punkte anzusehen. Wegen der überwiegenden Masse des Erdkörpers wird jeder Körper auf ihr mit seinem Schwerpunkte ihr am nächsten zu kommen suchen und, wenn er beweglich angebracht ist, auch wirklich am nächsten kommen und dann erst ruhen, wenn dies erreicht ist.

Will man diesem Bestreben begegnen und den Körper in Ruhe oder im Gleichgewichte halten; so muß man in irgend einem Punkte der starrgedachten Schwerlinie eine Kraft wirken lassen, welche dem in ihrer Richtung wirkenden Zuge der Erde entgegengesetzt gerichtet ist, also nach obenhin wirkt und der Anziehungskraft der Erde gegen den Körper gleich ist.

Dieses kann an drei Stellen geschehen: im Schwerpunkte selbst, in einem Punkte der Schwerlinie über ihm, in einem Punkte unter ihm und es heißt demnach das Gleichgewicht beziehungsweise das indifferente, das stabile, stehende, und das labile, fallende.

Wird ein Körper in seinem Schwerpunkte festgehalten, so kann er nach allen Richtungen bewegt werden, ohne daß er fällt und er bleibt in allen Lagen im Gleichgewichte; wird er über dem Schwerpunkte in der Schwerlinie festgehalten, d. h. ist er aufgehängt, oder unter ihm, d. h.

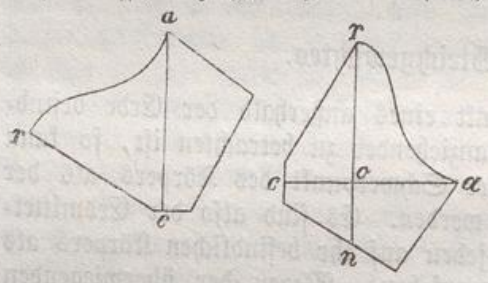
ist er unterstützt, so ist er nur dann in Ruhe, wenn sein Schwerpunkt in der vom Aufhängepunkte nach dem Horizonte lothrecht gezogenen Linie liegt; im letzten Falle endlich balancirt er, wenn um den Unterstützungspunkt eine nur ganz unbedeutende Fläche vorhanden ist.



(Fig. 37.)

Ist ein Körper o (Fig. 37) im stabilen Gleichgewichte, so kehrt er bei der geringsten Aenderung desselben dahin zurück, indem er je nach der größeren oder geringeren Entfernung des Aufhängepunktes a vom Schwerpunkte o langsamere oder schnellere Schwingungen mit immer geringer werdender Weite macht, bis er endlich zur Ruhe gelangt ist. Wir haben ein Pendel, wovon später noch ganz besonders die Rede sein wird.

An der sogenannten Setzwage ist ein Pendel, welches, wenn es in der Ruhelage den Halbirungspunkt der Basis trifft, anzeigt, daß die Basis horizontal liegt.



(Fig. 38.)

Da beim stabilen Gleichgewichte der Schwerpunkt stets unter dem Aufhängepunkte liegt, so kann man ersteren dadurch auffinden, daß man den Körper in zwei, nicht in einer Schwerlinie liegenden Punkten aufhängt und den Durchschnittspunkt der von den Aufhängepunkten gezogenen Lothrechten bestimmt; denn der Schwerpunkt muß in jeder der beiden lothrechten Linien liegen und kann nur ihr Durchschnittspunkt sein. Ist der Körper das eine Mal in a (Fig. 38) aufgehängt und ac die Schwerlinie, das andere Mal in r und rn die Schwerlinie; so ist ihr Durchschnittspunkt o der Schwerpunkt des Körpers.

Ist ein Körper im labilen Gleichgewichte, so übt er auf die unterstützende Stelle einen Druck aus, welchen wir das Gewicht des Körpers nennen. Die Kraft, mit welcher der Körper drückt ist gleich der, mit welcher er beim stabilen Gleichgewichte zog und gibt stets seine Masse an, ohne Rücksicht auf den Stoff, aus welchem er besteht.

Wir können also auch sagen, daß der Schwerpunkt eines Körpers derjenige Punkt ist, in welchem das ganze Gewicht desselben vereint zu sein scheint. Wird also ein Körper irgendwie festgehalten oder fortbewegt, z. B. gestoßen, so hängt die Größe der Wirkung von der Lage des Schwerpunktes gegen die Richtung der angewendeten Kraft ab.

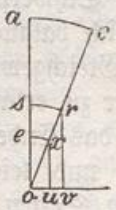
Eine Kraft wird nur dann die ihr zukommende volle Wirksamkeit

auf einen Körper haben, wenn ihre Richtung durch den Schwerpunkt des betreffenden Körpers geht und ein bewegter Körper wird nur dann sein Kraftmoment ungeschwächt als lebendige Kraft äußern, wenn die Bewegungsrichtung von seinem Schwerpunkte ausgeht. Beide Fälle sind praktisch sehr wichtig.

Das Balanciren.

Man balancirt einen Körper, wenn man ihn im labilen Gleichgewichte zu erhalten sucht, also ihn an der Stelle unterstützt, an welcher die Schwerlinie aus ihm heraustritt. Wenn also die Schwerlinie seitwärts von dieser Stelle zu kommen droht, so muß man die Unterstützung sofort nach dieser Seite hin verlegen, bis der obige Zweck erreicht ist, was eine besondere Uebung zur Ausbildung dieser Geschicklichkeit verlangt. Es gehört dazu ein gutes Augenmaß und eine schnelle und leichte Beurtheilung des Unterschiedes des Druckes, welchen ein Körper nach der Lage seines Schwerpunktes verursacht.

Ein Körper läßt sich um so leichter balanciren 1) je länger er bei bestimmtem Gewichte und bei bestimmter Entfernung seines Schwerpunktes vom Unterstützungspunkte ist, 2) je höher unter übrigens gleichen Umständen über dem Unterstützungspunkte der Schwerpunkt liegt, 3) je gewichtiger bei bestimmter Länge und Lage des Schwerpunktes er ist.



(Fig. 39.)

Sind oa und os (Fig. 39) ungleich lange, in o zu balancirende Körper, und kommen sie, indem sie um denselben Winkel aoc von der lothrechten Lage abweichen, in die Lage oc und or; so beschreibt der längere mit seinem Endpunkte a einen größeren, also eher wahrnehmbaren Bogen ac, als der kürzere mit dem Punkte s. Man wird also bei dem längeren Körper den Stützpunkt o schon bei einem kleineren Abweichungswinkel zu verlegen Veranlassung finden, um das Fallen zu verhindern, als bei dem kürzeren.

Wenn ferner bei derselben Länge oa und demselben Gewichte zweier Körper der Schwerpunkt des einen in s, des anderen in e läge; so würde bei derselben Abweichung beider von der lothrechten Lage der Schwerpunkt s nach r und e nach x, jener also mit seiner Schwerlinie rv weiter, als x mit der seinigen, welche xu ist, von dem Unterstützungspunkte o zu liegen kommen und in jenem Falle der Gewichtsunterschied oder der verminderte Druck auf o eher wahrgenommen werden, als in diesem.

Endlich ist auch klar, daß von zwei gleich langen Körpern, deren Schwerpunkte in gleicher Entfernung vom Unterstützungspunkte liegen, der leichtere sich schwerer wird balanciren lassen, weil er bei einer ge-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wissen Abweichung einen geringeren Unterschied des Druckes gegen den früheren darbieten wird, als der schwerere Körper.

Ein Degen läßt sich schwerer am Griffe, als auf der Spitze, eine Pfauenfeder schwerer, als ein gleichlanger Holzstab und dieser schwerer, als ein ebenso langer Eisenstab im labilen Gleichgewichte erhalten.

Von den drei Stücken zweier zu balancirenden Körper, nämlich den Längen, den Gewichten und den Entfernungen der Schwerpunkte von dem Unterstützungspunkte, können je zwei gleich und das dritte verschieden oder je zwei ungleich und das dritte gleich oder alle drei verschieden sein, so daß es im Ganzen 7 Fälle gibt.

Man balancirt sich selbst, wenn man seinen Körper auf einer schmalen und dabei vielleicht noch wankenden Unterlage (auf einer Stange, einem ausgespannten Seile) im labilen Gleichgewichte zu erhalten sucht.

Der Schwerpunkt des menschlichen Körpers liegt gegen die Mitte des Unterleibes. Um es leichter zu verhindern, daß die von ihm ausgehende Schwerlinie seitwärts von der Unterstützungsstelle falle, streckt man beide Arme aus, oder faßt eine gleichmäßig beschaffene Stange, Balancirstange, in ihrer Mitte an. Es hat nämlich jeder der beiden Arme, so wie jeder der beiden hervorragenden Stangentheile seinen eigenen Schwerpunkt, welcher durch das Auf- und Abwärtsbewegen der Arme oder das Hin- und Herschieben der Stange je nach dem Bedürfnisse verlegt werden kann. Droht z. B. der Körper nach links hin zu fallen, so bringt man den linken Arm dem Körper näher oder schiebt die Stange mit ihren Schwerpunkten nach rechts. Je weiter diese Schwerpunkte von dem Körper entfernt liegen, desto leichter kann man sich balanciren, weil eine kleine Verlegung derselben zur Herstellung des Gleichgewichtes hinreicht und, ist es sehr gestört, die Möglichkeit, es wieder zu erlangen, größer ist. Daher sind die längeren und noch dazu gegen das Ende mit Blei ausgelegten Stangen vortheilhafter, als die kurzen und leichten.

Wenn man statt der Stange einen starken, an beiden Seiten nach unten gebogen Draht mit schweren Kugeln an den Enden festhält, so wird man selbst unwillkührlich bei jeder Lage des Körpers dann balanciren, wenn der Schwerpunkt des Ganzen unter dem Stützpunkte liegt; denn das Ganze ist im Stützpunkte wie aufgehängt und somit im stabilen Gleichgewichte.

Man kann daher kleine Figuren zu sehr geschickten Seiltänzern machen. Bringt man die Vorrichtung aus der Lage des Gleichgewichtes, so kehrt sie wie ein hängender Körper durch eine Reihe von Schwingungen immer wieder dahin zurück.

Durch ähnliche Vorrichtungen wird es u. a. erreicht, daß eine Figur einige Zeit den Mund abwechselnd auf- und zumacht, daß sie die Augen verdreht, daß sie mit einer Säge zu sägen, mit einem Hobel zu hobeln scheint.

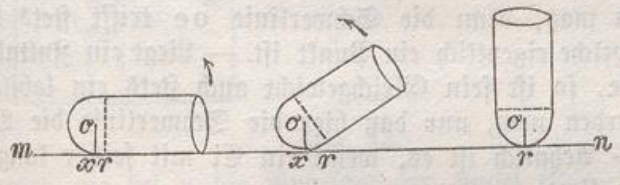
Man kann auf einer Nadelspitze drei Messer oder Gabeln gleich-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zeitig scheinbar balanciren, eigentlich aber hängen lassen, wenn man an die beiden Enden der mittelsten die beiden anderen durch Anstechen nach unten anbringt.

Das Streben nach stabilem Gleichgewichte.

Das Streben eines Körpers nach dem stabilen Gleichgewichte zeigt sich stets darin, daß der Schwerpunkt desselben stets die tiefste, d. h. der Erde am nächsten kommende Stelle einzunehmen sucht. Dies zeigt sich auch dann, wenn der Körper sich frei in der Luft (Luftballon) oder im Wasser (Schiff) bewegen kann. Ein fester Körper wird auf einem anderen festen nicht eher zur Ruhe kommen, als bis seine Schwerlinie die unterstützende Stelle trifft.



(Fig. 40.)

Hat ein Trinkglas einen dicken halbkugelförmigen Boden, so daß der Schwerpunkt o (Fig. 40) in ihm liegt, so wird es weder in horizontaler, noch in schiefer Lage auf einer horizontalen Ebene mn liegen bleiben, weil die Schwerlinie ox aus dem Körper nicht da hervortritt, wo er unterstützt wird, sondern seitwärts (hier links von r) und daher muß das Glas in der Richtung der Pfeile sich erheben, bis es nach einigen Schwankungen die dritte Lage angenommen hat. Das sind die sogenannten Taumelbecher. Hierher gehören auch die Stehaufmännchen, welche man aus Kork oder dem Marke der Sonnenrosenstaude anfertigt und ihnen an den Füßen eine halbe Bleikugel anklebt.

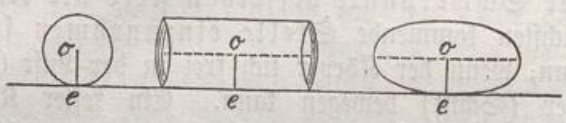
Falsche Würfel, mit denen man immer eine große Augenzahl wirft, haben auf der entgegengesetzten Seite, also in der Nähe der Seiten mit wenigen Augen im Innern ein Stück Blei, so daß letztere unten zu liegen kommen.

Die Stocklaternen hängen an einer in ihren Lagern drehbaren Axe, welche auch bei schiefer Lage des Stockes, an dessen Ende eine Gabel diese Axe trägt, gestattet, daß der Schwerpunkt stets unter sie zu liegen kommt, wodurch die Laternen in lothrechter Richtung erhalten werden.

Da die Schiffe auf den Meeren einer mehrseitigen Schwankung ausgesetzt sind, so mußte man darauf denken, die zu Kompassen dienenden Magnetnadeln stets in horizontaler Lage zu erhalten. Dieses wird dadurch erreicht, daß man drei aufeinander lothrechte kreisförmige Ringe anwendet, von denen der mittelste und kleinste mit seiner Axe in dem zweiten und dieser ebenso in dem äußersten und größten sich dreht. An

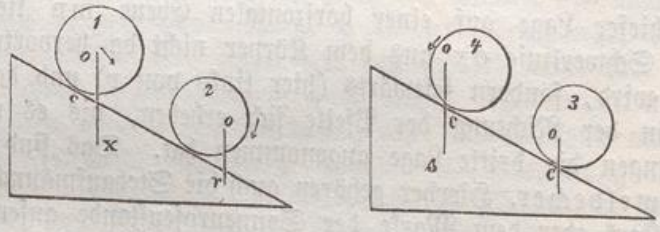
der drehbaren Axe des innersten Ringes befindet sich der Kompaß so angebracht, daß sein Schwerpunkt stets unterhalb der Axe liegt.

Dieses ist das schon bei der Rolllampe des Kardanus angewendete Prinzip. Eine solche mit Oel versorgte Lampe kann man auf den Dielen hinrollen, ohne daß sie übergießt. — Etwas Aehnliches hat man häufig bei Küchenlampen. Der Kardansche Ring hat aber blos zwei auf einander winkelrechte Ringe mit zwei diametralen Drehungsaxen.



(Fig. 41.)

Eine Kugel, deren Mittelpunkt o der Schwerpunkt ist, befindet sich auf einer horizontalen Ebene stets im labilen Gleichgewichte, wie sie auch gerollt werden mag, denn die Schwerlinie oe trifft stets die unterstützte Stelle e, welche eigentlich ein Punkt ist. — Liegt ein Zylinder auf einer solchen Ebene, so ist sein Gleichgewicht auch stets ein labiles, wie er auch gerollt werden mag, nur daß hier die Schwerlinie die Berührungslinie trifft. — Aehnlich ist es, wenn ein Ei mit seiner langen Axe parallel zur Ebene liegt.



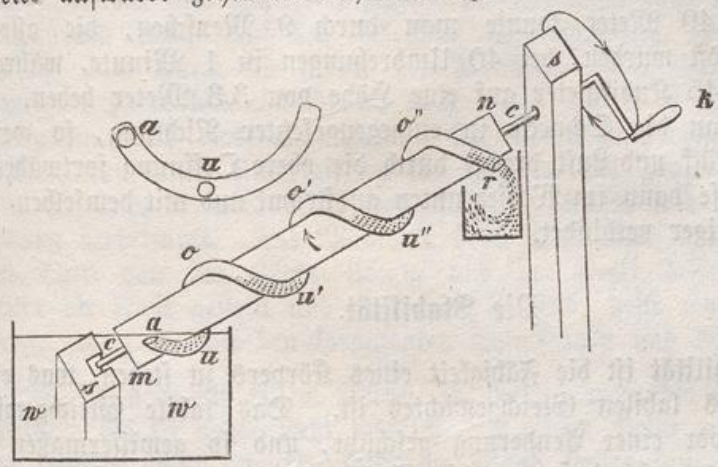
(Fig. 42.)

Anders ist es, wenn jene Kugel auf einer schiefen Ebene liegt (Fig. 42); denn hier fällt die Schwerlinie ox unterhalb der unterstützten Stelle c und sie muß deshalb fortwährend herabrollen.

Ist der Schwerpunkt o nicht im Mittelpunkte, wie wenn man in einer Holzkugel dicht unter ihrer Oberfläche ein Stück Blei angebracht hat; so wird der Körper (auch Zylinder, Scheibe u. a.) auf der schiefen Ebene eine Strecke abwärts rollen, oder ruhen oder sogar eine Strecke aufwärts rollen, jenachdem die Schwerlinie or unterhalb der unterstützten Stelle die Ebene trifft, oder in ihr oder oberhalb einschneidet; im ersten und dritten Falle aber schließlich auch zur Ruhe kommen und die Lage des zweiten annehmen. — Jeder beliebige Körper wird auf einer schiefen Ebene ruhen, wenn seine Schwerlinie die unterstützende Stelle trifft.

Statt einer schiefen Ebene kann man sich zweier Billardstäbe bedienen, die man unter einem spitzen Winkel mit ihren spitzen Enden aneinander legt. Eine hier aufgelegte Billardkugel rollt scheinbar aufwärts nach den dickeren Enden der Stäbe hin; ihr Schwerpunkt aber geht in

der That dabei an immer tiefere Stellen, so daß sie herabrollt. — Aehnlich ist es mit einem Doppelkegel (zwei gleiche grade Kegel, mit ihren Grundflächen an einander gefügt), welchen man zwischen die Schenkel zweier aufwärts gehenden Schienen legt.



(Fig. 43.)

Nicht blos auf einer ebenen, sondern auch auf einer ausgetieften, krummen gegen Horizont geneigten Fläche wird eine Kugel, die ihren Schwerpunkt im Mittelpunkte hat, herabrollen, wie es Fig. 43 andeutet, wo bei u die Ruhelage der Kugel ist.

Ist nun mn ein Zylinder, liegt derselbe mit seiner Axe cc auf den Ständern ss, ist um ihn spiralförmig eine Röhre auour gewunden, hat er gegen den Horizont eine Neigung von etwa 45 Graden und legt man bei a eine kleinere Kugel in den von da nach dem nächsten u herabgehenden Röhrentheil; so wird diese Kugel bis zum tiefsten Punkte u herabrollen und nach wenigen Schwingungen daselbst liegen bleiben. Dreht man aber an der Kurbel k den Zylinder mit der an ihm befestigten Röhrenspirale in der Richtung der angegebenen Pfeile, so kommen die Punkte o, welche bei jeder einzelnen Windung die höchsten waren, immer tiefer herab und nehmen endlich die tiefsten Stellen u', u'' ein; also die Kugel, welche in u lag, ist nach der ersten halben Drehung in o, nach der zweiten in u', nach der dritten in o' u. s. w. bis sie endlich bei dieser Zeichnung nach sechs halben oder drei ganzen Drehungen in r angelangt ist und dort herausfallen muß. Es drehen die oberen Röhrentheile sich gewissermaßen zurück unterhalb der Kugel, während die Stellen, in denen sie sich vorher befand, höher zu liegen kommen.

Liegt nun die Spirale mit ihrem unteren Ende a so weit in einem Wasserbehälter ww, daß grade nur ein halber Umlauf derselben gefüllt ist, und dreht man wie vorhin, aber fortwährend; so wird nach drei Drehungen bei dem höher gelegenen r auch fortwährend das Wasser ausfließen, was sich dort auffangen und weiter leiten läßt.

Statt dieses frei liegenden spiralförmigen Kanales können auch um eine eiserne Spindel in einem aus Holz gemachten Zylinder oder Mantel

solche Kanäle angelegt werden. Diese Vorrichtung ist die Wasserschraube von Archimedes, oder die Wasserschnecke.

In Betreff der Leistungsfähigkeit dieser Wasserschnecke führen wir folgendes Beispiel an. Bei einer Länge von 5,85 und einem Durchmesser von 0,49 Meter konnte man durch 9 Menschen, die alle 2 Stunden abgelöst wurden, bei 40 Umdrehungen in 1 Minute, während einer Stunde 45 Kubikmeter auf eine Höhe von 3,3 Meter heben.

Dreht man die Schnecke in entgegengesetzter Richtung, so weicht das Wasser zurück und Luft dringt durch die obere Oeffnung fortwährend ein, so daß diese dann im Wasser unten ausströmt und mit demselben sich mehr oder weniger verbindet.

Die Stabilität.

Die Stabilität ist die Fähigkeit eines Körpers zu stehen, was eine Befestigung des labilen Gleichgewichtes ist. Das labile Gleichgewicht wird dadurch vor einer Aenderung geschützt, und so gewissermaßen zu einem stabilen gemacht, daß man die Stelle, an welcher die Schwerlinie unterhalb aus dem Körper tritt, in mindestens drei, um sie nicht in einer graden Richtung gelegenen Punkten unterstützt.

Da drei solche Punkte stets in einer bestimmten Ebene liegen, so stehen selbst auf unebenem Boden dreibeinige Stühle, Tische, Gestelle fest und man wendet daher auch beim Feldmessen und zur Aufstellung physikalischer und astronomischer Instrumente dreifüßige Statife an.

Die Stabilität wird um so größer sein, je größer die durch die Stützpunkte nach ihren Gränzen bestimmte Fläche ist, je näher in ihrem Schwerpunkte die Schwerlinie in sie einschneidet, je näher der Schwerpunkt des Körpers ihr liegt und je schwerer er selbst ist.

Es ist demnach natürlich, daß breitspurige Wagen nicht so leicht umwerfen, als schmalgleisige; daß vierbeinige Thiere im allgemeinen fester stehen als zweibeinige und unter diesen diejenigen am festesten, welchen die Füße die größte Unterstützungsfläche gewähren; ferner, daß ein Kegel fester steht, als ein Zylinder mit gleicher Grundfläche und Masse; ein Eisenkörper fester als ein Holzkörper von gleicher Form und Größe.

Stellen wir die beiden Füße in derselben Richtung, den einen hinter den anderen, so fallen wir leicht nach vorn oder hinten; wird der eine schräge vor den anderen in einiger Entfernung gestellt, so stehen wir am festesten.

Durch Bewegung des Körpers oder Aufnahme von Lasten verlegen wir den Schwerpunkt, damit die Schwerlinie beim Stehen stets zwischen die beiden Füße falle; ist die Last vorn, so legt man den Oberkörper nach hinten über, wie es auch die korpulenten Leute und die ziemlich grade stehenden Tauchervögel thun müssen; ist die Last auf dem Rücken, so beugt man sich nach vorn; ist sie an der einen Seite, so streckt man

den anderen Arm aus oder neigt sich dorthin. Geht man bergauf, so muß man sich nach vorn; geht man bergab, nach hinten überlegen. — Der Schwerpunkt muß auch verlegt werden, wenn man ein Bein hebt, einen Arm ausstreckt und sich fortbewegt. Beim Laufen fällt man eigentlich fortwährend etwas auf den jedesmal vorausgesetzten Fuß und erhebt sich auf ihm durch die Kraft der Muskeln. Die Schwerlinie wird immer vorwärts hin abwechselnd nach rechts und links gelegt und diese Verlegung durch das abwechselnde Schleudern mit beiden Armen erleichtert, bei dessen Unterlassung die Haltung des ganzen Körpers eine mehr schwankende wird, was das Gehen erschwert und weit eher Ermüdung herbeiführt. Die Manieren beim Schleudern der Arme hängen zum Theil von der Körperbildung und der Kraft desselben ab. Je breiter die Füße gestellt und je kleiner sie sind, desto wankender ist der Gang, wie z. B. bei den korpulenten Chinesinnen und den Gänsen.

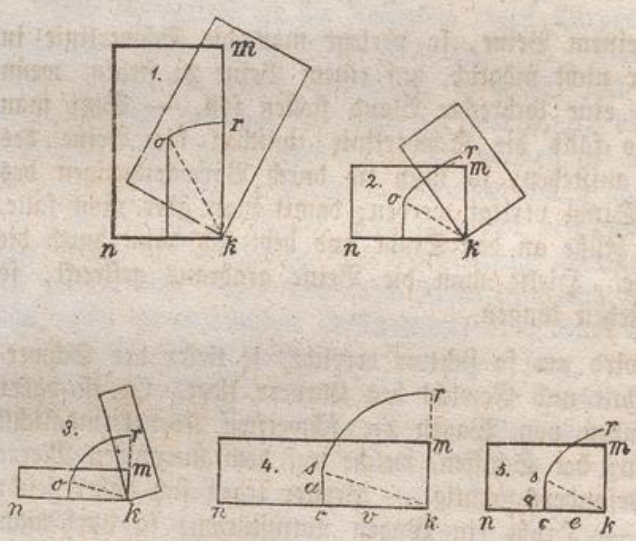
Steht man auf einem Beine, so verlegt man die Schwerlinie in dasselbe. Es ist daher nicht möglich, auf einem Beine zu stehen, wenn man dasselbe dicht an eine lothrechte Wand stellen soll. — Sitzt man auf einem Stuhle, so fällt die Schwerlinie zwischen die Beine des Stuhles. Will man aufstehen, so muß sie durch Vorwärtsneigen des Oberkörpers vor den Stuhl verlegt werden; damit man aber nicht falle, zieht man zugleich die Füße an den Stuhl und hebt sich dann durch die Muskelkraft der Beine. Hielte man die Beine gradeaus gestreckt, so würde man nicht aufstehen können.

Die Stabilität wird um so sicherer erreicht, je tiefer der Schwerpunkt bei einerlei Gestalt und Gewicht des Körpers liegt. Es ist daher angemessen beim Beladen von Wagen die schwersten Körper möglichst weit unten anzubringen; bei Schiffen, welche auf dem unruhigen Meere fahren, ist dies ganz besonders wichtig. — Bretter legen sich daher leicht auf die flache Seite. — Droht ein Wagen umzustürzen, so darf man sich nicht erheben, muß sich vielmehr auf die entgegengesetzte Seite möglichst tief herab begeben. — Da bei einer Pyramide und einem Kegel der Schwerpunkt näher an der Grundfläche liegt, als bei einem Prisma und Zylinder von demselben Stoffe und Gewichte, so stehen jene fester, als diese. — Die Füße der Lampen und anderer Gegenstände, die eine ziemliche Höhe haben und fest stehen sollen, werden mit Blei ausgegossen. — Wenn die in ihren Bestandtheilen fest zusammenhängenden schiefen Thürme zu Pisa und Bologna nicht umfallen, so liegt dies daran, weil ihre Schwerlinie immer noch die Basis trifft und die überhängenden Theile ein zusammenhängendes Ganzes bilden. Bei Mauerwerk, welches aus kleinen Backsteinen, die durch Mörtel meist, wenigstens anfänglich, nur lose zusammengefügt sind, dürfte man es nicht wagen, die Kanten und Flächen derselben aus der gegen den Horizont lothrechten Lage aufzubauen.

Das Umkanten.

Es kommt häufig vor, daß man einen Körper, welcher auf einer seiner Begränzungsflächen eine gewisse Stabilität erlangt hat und ruht, auf eine andere benachbarte Begränzungsfläche legen will. Es ist zu diesem Zwecke nothwendig, den Körper aus der ersten stabilen Lage auf die Kante zwischen den beiden benachbarten Ebenen ins labile Gleichgewicht und dann in die zweite stabile Lage zu bringen. Diese Arbeit nennt man das Umkanten.

Je stabiler das erste Gleichgewicht ist, d. h. je tiefer an der Grundfläche der Schwerpunkt des Körpers liegt, je größer sie ist, je mehr in ihre Mitte die Schwerlinie fällt, und je schwerer der Körper ist, desto schwieriger ist die Arbeit.



(Fig. 44.)

Nehmen wir zunächst drei gleich schwere Körper (Fig. 44) 1, 2, 3, nm von verschiedenen Stoffen, z. B. Holz, Sandstein und Eisen an, welche eine gleiche und gleichgestalte Grundfläche und lothrecht darauf gestellte Seitenflächen haben; so werden die Schwerpunkte o von ihnen in ungleicher Höhe über der Basis nk liegen; beim Holze liegt er am höchsten, beim Eisen am tiefsten. Sollen die Körper aus dem jetzigen stabilen Gleichgewichte ins labile gebracht werden, so muß der Schwerpunkt o lothrecht über der Kante k zu liegen kommen. Bei fester Lage der Kante k wird der Schwerpunkt des Holzkörpers den kleinsten Bogen or, der des Eisenkörpers den größten beschreiben müssen, jener sich also am leichtesten umkanten lassen.

Denken wir uns ferner zwei Körper (4, 5) wieder von gleichem Gewichte; aber ungleichen Grundflächen, über welchen die Schwerpunkte s aber gleich entfernt sind; so läßt sich der mit der größeren Grundfläche, bei welchem also der Treffungspunkt c der Schwerlinie a weiter von der Kante k entfernt ist (v größer, als e), schwerer umkanten, weil bei ihm der Schwerpunkt einen größeren Bogen zurück zu legen hat, als bei dem anderen.

Daß unter übrigens gleichen Umständen der schwerere Körper auch schwerer umzukanten ist, dürfte nun wohl eines Beweises nicht weiter bedürfen.

Daraus ergibt sich also, daß man einen Körper, welchen man möglichst leicht umkanten will, wenn irgend thunlich, immer so legen muß, daß sein Schwerpunkt möglichst hoch zu liegen kommt.

Diese Betrachtungen führen uns zu dem Schlusse, daß der feste Stand oder die Stabilität eines Körpers im graden Verhältnisse mit seinem Gewichte und der Entfernung des Treffungspunktes der Schwerlinie in die Grundfläche von der Umkantungslinie, aber im umgekehrten Verhältnisse des Abstandes seines Schwerpunktes von der Grundfläche steht.

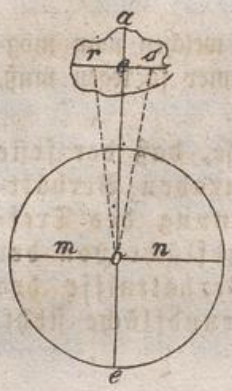
Vom Gewichte.

Zufolge der Anziehung, welche die Erde auf jeden Körper an ihrer Oberfläche ausübt und ihn nöthigt bei ihr zu bleiben, übt er oberhalb seines Schwerpunktes einen Zug und unterhalb desselben einen Druck aus. Die Stärke dieses Zuges oder Druckes nennt man das Gewicht des Körpers und dieses richtet sich bei einem bestimmten Stoffe nach der Menge der Stofftheile von bestimmter Größe und bei verschiedenen Stoffen nach dem Wesen des Stoffes oder seiner Atome. Es ist natürlich, daß Körper auch aus verschiedenen Stoffen dasselbe Gewicht haben können und dann ist ihre Masse gleich.

Es ist klar, daß man die Begriffe Schwere und Gewicht nicht verwechseln darf: jene ist die gegenseitige Anziehung der Erde und eines Körpers außerhalb ihr, dieses ist eine Folge von jener oder eine von ihren Aeußerungen, zu denen wir auch das Fallen rechnen. Alle Körper an der Erdoberfläche sind zwar als gleich schwer anzusehen (fallen auch gleich schnell), weil die Anziehung der Erde gegen die Körper auf ihr als unendlich groß zu betrachten ist gegen die Anziehung, welche sie auf die Erde ausüben; aber nicht als gleich gewichtig, weil die Summe der Kräfte, womit jedes Körperatom von der Erde angezogen und wodurch der Druck oder Zug ausgeübt wird, von ihrer Menge und Beschaffenheit, also von der Masse des Körpers abhängt.

Wir können zwar die Größe des Druckes oder Zuges aus der Wirkung auf unsere Muskelkraft einigermaßen beurtheilen, es gibt dies aber keinen sicheren Maßstab, weil, wenn wir z. B. kränklich sind, derselbe Körper uns gewichtiger zu sein scheint, als es bei voller Gesundheit der Fall ist. Manche Menschen haben freilich durch fortgesetzte Uebung, welche beim Mangel an anderen Mitteln eine Nothwendigkeit war, eine erstaunliche Fertigkeit erlangt, das Gewicht von Körpern annähernd zu schätzen oder durch das Gefühl sie abzuwägen; aber es ist

dies bei großen Massen nicht ausführbar und bei sehr geringen ganz unzuverlässig.



(Fig. 45.)

Der ganze Erdkörper thut dies besser, als je eine Menschenhand es vermag; er wägt nämlich immer zwei Massen gegen einander mit der erstaunlichsten Genauigkeit ab. Denken wir uns durch die Schwerlinie co (Fig. 45) eines Körpers eine Ebene ae gelegt, welche sowohl den Körper, als auch die Erde theilt; so liegen sowohl von der Erde, als auch von dem Körper zu beiden Seiten dieser Ebene absolut gleiche Massen, ($r = s$, $m = n$) und es ist das Gewicht der beiden durch die Ebene entstandenen Theile des Körpers absolut gleich. Die beiden Theile der Erde ziehen einzeln die beiden Theile des Körpers, welche mit dem betreffenden Theile der Erde auf derselben Seite jener Ebene liegen, vollkommen gleich stark an, nämlich m das r und n das s. — Statt dessen können wir aber auch die von dem Mittelpunkte o ausgehende Gesammtwirkung der Erde auf die Theile r und s setzen, so daß die Schwerpunkte der Theile r und s von o in gleicher Entfernung sind oder die Verbindungslinie derselben in eine horizontale Richtung geführt und erhalten werden.

Dies ist der Grundgedanke, welcher beim Abwägen der verschiedenartigsten Körper festgehalten werden muß. Im gewöhnlichen Leben wird auf die verschiedenen Orte der Erdoberfläche, an denen das Abwägen geschieht, und auf den Einfluß der Luft und deren verschiedene Dichtigkeit nicht Rücksicht genommen. Aber so viel ist sofort klar, daß ein bestimmter Körper einen um so geringeren Druck ausüben muß, je mehr wir uns von dem Erdmittelpunkte entfernen, also wenn wir aus dem Thale den benachbarten Berg besteigen, oder wenn wir von den Polen her nach dem Aequator gehen. Der Einfluß der Luft soll später besonders betrachtet werden.

Um nun die Gewichte verschiedener Körper mit einander vergleichen zu können und eine genaue Vorstellung von dem Gewichte eines jeden einzelnen Körpers zu erlangen, muß man den Druck oder das Gewicht eines Körpers aus einem bestimmten Stoffe von bestimmter Größe und bestimmter Dichte als Normalgewicht oder als Maßeinheit annehmen und von ihr dann zweckmäßige Unterabtheilungen machen.

Die Metalle haben selbst in ihrer Reinheit nicht stets einerlei Dichtigkeit und noch weniger ist es bei anderen festen Körpern der Fall. Als zu einer Maßeinheit für die Gewichte ist das vollkommen reine, von fremdartigen Körpern freie Wasser, welches keinem Drucke ausgesetzt ist, bei 4 Grad Wärme (nach dem Thermometer von Celsius) geeignet. Bei dieser Temperatur hat es nämlich seine größte Dichtigkeit.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

In Frankreich hat man das Gewicht eines Kubikzentimeters (oder den millionsten Theil von dem Gewichte eines Kubikmeters) solchen Wassers im luftleeren Raume als Einheit genommen und Gramm genannt. 1000 Gramm geben ein Kilogramm und dies ist das Gewicht von einem Kubikdezimeter (1000 Kubikzentimeter) oder einem Liter Wasser.

Das Gramm zerfällt nun in zehntheilige Unterabtheilungen mit den Namen Dezigramm, Zentigramm, Millegramm, so daß diese nach der Reihe $^1/_{10}$, $^1/_{100}$, $^1/_{1000}$ eines Grammes sind.

1 preußisches Pfund ist gleich 0,4677110 Kilogramm oder 467,711 Gramme, 1 Wiener Pfund ist gleich 0,5600164 Kilogramm oder 560 Gramme, 1 badensches oder schweizerisches Pfund ist gleich 0,5000000 Kilogramm oder 500 Gramme. Letzteres ist seit 1858 das Zollpfund.

Ein preußischer Kubikfuß Wasser wiegt 66,1 preußische oder 61,83 Zollpfunde.

Gewichtsverminderung durch eine Seitenkraft.

Jeder Körper wird zufolge seiner Masse mit einer bestimmten Kraft von der Erde angezogen. Diese lothrecht abwärts auf den Horizont wirkende Kraft, welche durch das Gewicht gemessen wird, kommt nur dann zu ihrer vollen Geltung, wenn eine andere Kraft ihr nicht irgendwie entgegenwirkt.

Nicht ohne Interesse ist der Fall, wenn eine zweite Kraft horizontal wirkt. Andere Fälle kommen später zur Sprache.

Ein Trappe, welches ein schwerfälliger Vogel mit verhältnißmäßig nicht großen Flügeln ist, wird durch sein ganzes Gewicht, welches man durch eine beliebige grade Linie ausdrücken kann, an dem Erdboden festgehalten, wenn er still steht. Es wird ihm nicht gelingen von der Stelle aufzufliegen; er lauft also, indem er eine zweite Kraft, seine Muskelkraft, in Anspruch nimmt, mit ausgebreiteten Flügeln horizontal vorwärts. Aus diesen zwei Kräften entsteht eine Resultirende, welche gegen den Horizont einen um so kleineren Winkel bildet, je schneller er lauft, indem die horizontale Seite des Parallelogramms der Kraft wächst. Je kleiner aber der Winkel wird, desto kleiner wird auch die Kraft, mit welcher der Vogel noch lothrecht abwärts gezogen wird und um so eher kann er sich durch seine Flügel erheben. Dasselbe gilt von den Gänsen und vielen anderen Vögeln.

Ein Schlittschuhläufer wird um so gefahrloser über eine dünne Stelle des Eises hinwegkommen, je schneller er fährt. — Aehnliches gilt von dem mehr oder minder schwerfälligen Gange der Menschen, namentlich aber von Eisenbahnzügen, welche um so weniger auf die Schienen drücken, je schneller sie fahren. Ein sehr schnelles Laufen und Fahren nähert sich in der That dem Fliegen, was auch der gewöhnliche Sprachgebrauch angenommen hat. Das sehr schnelle Fahren kann einem Eisen-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

bahnzuge weniger dadurch gefährlich werden, daß er über Stellen kommt, an denen die Schienen eine schwache Unterlage haben, als wenn ein Sturmwind ihn von der Seite trifft; denn er kann dann, wie es, ich glaube in England, schon einmal vorgekommen ist, um so leichter auf die Seite geworfen, oder aus den Schienen gehoben werden. Man muß also bei starken von der Seite, namentlich lothrecht ankommenden Stürmen langsamer fahren.

Aehnliche Betrachtungen finden statt, wenn auch andere Kräfte unter anderen Winkeln gegen die Richtung der Schwerkraft, ja ihnen gradlinig entgegengesetzt einwirken.

Gleichgewicht dreier Kräfte an einer starren Linie.

Die Masse eines Körpers kann als die Kraft angesehen werden, mit welcher die Erde den Körper anzieht. Bei einem einzelnen Körper greift diese Kraft in seinem Schwerpunkte an und sein Gewicht ist das Maß derselben.

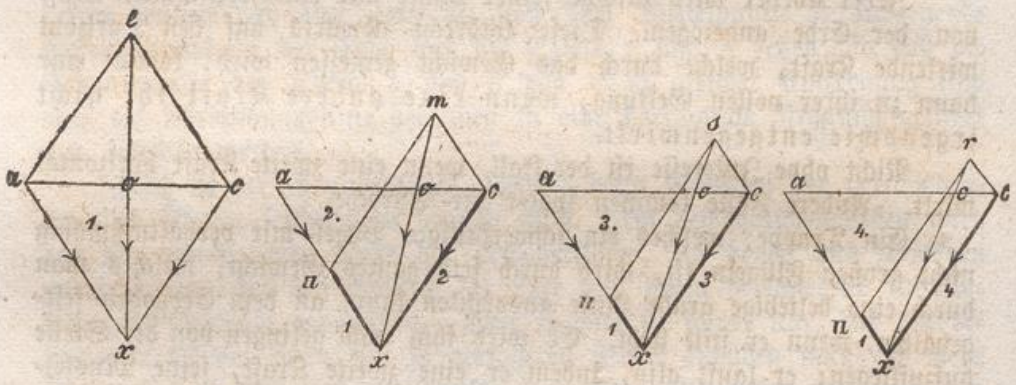


Fig. 46.

Hat man nun zwei Körper, deren Schwerpunkte a und c (Fig. 46) sein sollen und denkt man sich diese durch die schwerlose, horizontale und starre grade Linie ac verbunden, so entsteht die Frage:

wo liegt der Angriffspunkt der Resultirenden der Schwerkräfte dieser verbundenen Körper?

Denkt man sich in x den Mittelpunkt der Erde, so sind xa und xc einander gleich und axc ist ein gleichschenkliches Dreiseit. Sind die Massen in a und c einander gleich (Fall 1), so können xa und xc als die Maße der auf sie wirkenden Anziehungskräfte der Erde, oder als die Schwerkräfte angesehen werden und der Angriffspunkt ihrer Resultirenden xe geht durch den Halbirungspunkt der ac.

Ist die Masse in c das Doppelte von der in a (2), so wird für letztere das Maß nur $xu = \frac{xa}{2}$ sind. Zeichnet man aus xu, xc und

dem Winkel uxc das Parallelogramm der Kräfte, nämlich xumc und darin die Diagonale xm; so schneidet sie die ac in o so, daß ao das Doppelte von co ist.

Ist die Masse in c das Dreifache (3) von der in a, die xc = 3.xu und zeichnet man aus xu, xc und Winkel uxc das Parallelogramm, so schneidet seine Diagonale xv die ac so, daß ao das Dreifache von co ist.

Wäre die Masse in c das Vierfache (4) von der in a und in gleicher Weise xc = 4.xu, so muß der Angriffspunkt o der Resultirenden so in der ao so liegen, daß ao das Vierfache der co ist.

In dieser Weise kann die Betrachtung fortgesetzt werden für jedes Verhältniß der beiden Massen, die durch eine grade Linie, von deren Gewichte wir einstweilen abgesehen haben, verbunden sind.

Daraus ist also der Schluß zu ziehen:

der Angriffspunkt der Resultirenden aus den Schwerkräften zweier Körper liegt in der Verbindungslinie ihrer Schwerpunkte so, daß seine Entfernungen von diesen sich wie umgekehrt diese Kräfte verhalten.

Ist, wie wir oben angenommen haben, x der Erdmittelpunkt, so werden die von ihm aus nach a und c, welche eine verhältnißmäßig nur geringe Entfernung von einander haben, gezogenen graden Linien in der Nähe der ac als parallel unter einander und als senkrecht auf ac ohne einen irgend merklichen Fehler sich ansehen lassen.

Aus bekannten Betrachtungen ist ferner klar, daß eine Kraft, welche in o angreift, der in den verschiedenen Fällen sich ergebenden Resultirenden gleich ist, und ihr gradlinig entgegengesetzt wirkt, diese Resultirende, also auch die ursprünglichen beiden Kräfte aufhebt oder das Gleichgewicht mit ihnen herstellt, so daß dadurch der Punkt o zu einer festen Lage gelangt, um welche die Linie ac drehbar gedacht werden kann.

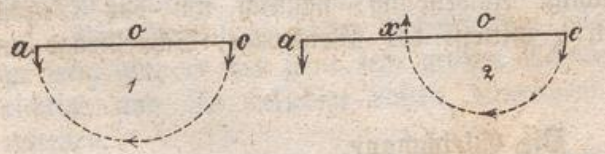


Fig. 47.

Ist die starre Linie ac (Fig. 47) um o als festen Punkt drehbar, so können wir in a und c beliebige Arten von Kräften (z. B. Menschenkräfte, Pferdekräfte, die an der Wage eines Wagens angreifen) in einer lothrechten Richtung, so daß sie ganz zur Wirkung gelangen, auf ac einwirken lassen, ohne daß für das Gleichgewicht eine andere Bedingung eintritt, als die obige.

Dreht man a nach unten (1), so geht c nach oben; ist aber in c eine auch nach unten wirkende Kraft angebracht, so will sie a nach oben drehen. Ist oa gleich oc und die Kraft in c gleich der in a; so ist es, als wäre die Kraft in c von da nach a verlegt und als wirkten

nun in a zwei gleiche einander gradlinig entgegengesetzte Kräfte, welche einander aufheben; also heben die in a und c der um o drehbaren Linie a c angreifenden, und nach einerlei Richtung (beide nach oben), wirkenden Kräfte einander auf.

Ist aber o c kleiner als o a (2), so müßte zur Herstellung des Gleichgewichtes die Kraft in c so viel mal größer, als die in a sein, wie viel mal o c kleiner, als o a war. Nun ist nach dem Gesagten klar, daß man den Angriffspunkt der größeren Kraft von c nach x verlegen kann, wenn o x gleich o c ist und sich weiter nichts ändert.

Jetzt wirkt die Kraft in a nach unten, die in x nach oben, wie es die Pfeile andeuten und das Gleichgewicht bleibt ganz unter der obigen Bedingung, obwohl der Drehpunkt o der starren Linie a o jetzt der eine ihrer Endpunkte ist, die Kräfte auf derselben Seite von ihm und nach entgegengesetzter Richtung wirken.

Es ergibt sich daher als allgemeines Gesetz:

zwei beliebige Kräfte, welche an beliebigen Punkten einer um einen gewissen Punkt drehbaren Linie angreifen und lothrecht auf sie wirken, verhalten sich zu einander wie umgekehrt die Entfernungen der Angriffspunkte vom Drehpunkte, wenn sie das Gleichgewicht herstellen.

Weil für den Fall des Gleichgewichtes $k : K = E : e$ steht, wenn k u. K die beiden Kräfte, e u. E die dazu gehörigen Entfernungen sind; so muß $e k = E K$ sein, d. h. die Produkte aus den Kräften und ihren Entfernungen vom Drehpunkte, die man statische Momente nennt, müssen einander gleich sein. Sind also die Entfernungen gleich, so müssen es auch die Kräfte sein und umgekehrt; verhalten sich aber die Entfernungen wie $1 : n$, so verhalten sich die Kräfte wie $n : 1$.

Von diesen Betrachtungen machen wir im praktischen Leben zunächst eine dreifache höchst wichtige Anwendung, nämlich um das Gewicht von Körpern zu bestimmen, mittelst der Gleichwage, Schnellwage und Brückenwage.

Die Gleichwage.

Im praktischen Leben ist es von der größten Wichtigkeit, Mittel zu besitzen, um die uns durch den Erdkörper selbst dargebotene Möglichkeit, die Massen der verschiedenen Körper auf's genaueste zu bestimmen, zur Wirklichkeit zu machen. Die zu diesem Zwecke angefertigten Instrumente sind die Wagen, welche je nach den verschiedenen Zwecken eine verschiedene Konstruktion haben, denn man hat theils sehr große Lasten abzuwägen, theils das Gewicht außerordentlich kleiner und zarter Körper zu bestimmen, bei denen es wegen ihres hohen Werthes (Gold, Diaman-

ten), oder ihrer Bedeutsamkeit für die Gesundheit (Medikamente) oder wissenschaftlicher Untersuchungen wegen (Chemie) auf sehr geringe Gewichtsunterschiede ankommt. Man hat in beiden Beziehungen bereits Vorzügliches geleistet, so daß eine Wage es z. B. angibt, wenn ein mit Salzwasser getränktes und dann vollständig getrocknetes ganz kleines Stückchen Löschpapier aus der feuchten Luft etwas Wasserdünste angezogen hat.



Fig. 48.

Eine gewöhnliche Gleichwage (Fig. 48) besteht aus einem unbiegsamen hölzernen oder metallenen möglichst leichten Wagebalken mn, in dessen Mitte lothrecht die Zunge cc angebracht ist; etwas oberhalb seines Schwerpunktes geht durch ihn, lothrecht auf ihm und auf der Zunge, die daran befestigte kurze Axe a; die Axe rnht mit ihren Enden in den Oeffnungen zweier Scheiben, welche sich an einer Gabel re befinden, zwischen deren beiden Theilen die Zunge bei der Bewegung des Balkens spielt. An den von der Axe gleich entfernten Enden des Balkens sind durch drei Schnüre oder Ketten die beiden Wageschaalen, statt deren auch Scheiben genommen werden können, die zur Aufnahme von verschiedenen Körpern und Gewichten bestimmt sind, so angebracht, daß die Befestigungspunkte m und n eine unverrückbare Lage haben. Das Ende der Gabel hat noch eine Vorrichtung o, um sie frei aufhängen zu können. Statt der die Axe des Wagebalkens tragenden Schere kann auch ein Ständer genommen werden und statt die Zunge vom Balken aus lothrecht aufwärts gehen zu lassen, kann sie auch an dem Ständer lothrecht abwärts gerichtet sein.

Die Herstellung dieser Bedingungen scheint nun zwar ganz einfach zu sein, aber es hat seine sehr großen Schwierigkeiten, eine vollkommen richtige und für beliebige Lasten hinreichend empfindliche Wage herzustellen.

1) Es ist zunächst ein wesentliches Erforderniß einer guten Wage, daß der Wagebalken sowohl für sich, als auch mit den bloßen Wageschalen und endlich noch mit den angebrachten Lasten eine horizontale Lage habe. Hierbei sind drei Paare von Schwerpunkten und die Lage ihres gemeinschaftlichen Schwerpunktes gegen den Drehungspunkt des Balkens zu berücksichtigen: nämlich jeder Arm des Balkens hat seinen, jede Wageschale und jede Last hat ihren Schwerpunkt.

Denkt man sich die Schwerpunkte der Arme durch eine grade Linie, die Längenaxe des Balkens, verbunden und läge der Drehpunkt im ge-

meinschaftlichen Schwerpunkte des ganzen Balkens, so würde dieser im indifferenten Gleichgewichte sein, in jeder Lage ruhen und die allergerinste Belastung auf der einen Seite würde den Balken lothrecht ins stabile Gleichgewicht stellen, wobei vorläufig auf den Reibungswiderstand an der Drehungsaxe keine Rücksicht genommen wird.

Läge der Drehungspunkt unter der Axe des Balkens, so würde nur dann, und zwar labiles Gleichgewicht vorhanden sein, wenn der Drehungspunkt genau lothrecht unter dem gemeinschaftlichen Schwerpunkte läge, was aber praktisch ebensowenig ausführbar ist, als wenn man eine kleine Kugel auf einer Nadelspitze balanciren wollte.

Es wird also der Wagebalken nur dann eine horizontale Lage annehmen, wenn er mit den Wageschalen und den angebrachten Lasten im stabilen Gleichgewichte ist, d. h. wenn der gemeinschaftliche Schwerpunkt unter dem Drehungspunkte sich befindet.

Es kann sein, daß der Wagebalken für sich im indifferenten Gleichgewichte ist, daß er aber durch das Anhängen der Wageschalen ins stabile gebracht wird, weil dann der gemeinschaftliche Schwerpunkt derselben unterhalb der Axe des Balkens liegt.

Da das stabile Gleichgewicht ein um so festeres ist, je tiefer der Schwerpunkt liegt, so darf er bei guten Wagen nur wenig unter der Drehungsaxe liegen; denn je tiefer er liegt, einen desto größeren Weg muß er zurücklegen, um eine Abweichung des Wagebalkens von der horizontalen Lage oder einen Ausschlag erkennen zu lassen, welcher also nur durch ein vergrößertes Uebergewicht auf der einen Seite der Wage erzeugt werden könnte.

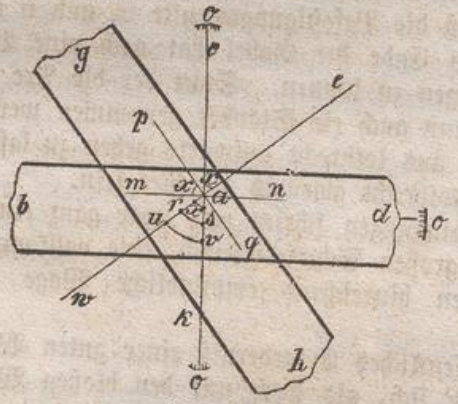


Fig. 49.

Wenn in Fig. 49 bd den horizontalen Wagebalken bedeutet, a sein Drehungspunkt ist, ac und ak die lothrecht auf ihm stehenden auf- oder abwärts gehenden Zungen sind, der Schwerpunkt des Ganzen, also des Balkens ohne oder auch mit Schalen und Belastung, das eine Mal in s, ein zweites Mal in v angenommen wird; so hat bei der neuen Lage des Balkens in der Richtung gh der Schwerpunkt s den Bogen sr, der tiefer liegende Schwerpunkt v aber den größeren Bogen vu zurückgelegt, wobei der Ausschlag der Zungen ac und ak derselbe ist. Während nämlich mn in die neue Lage pq übergeht, bewegt die Zunge ac sich nach ae, die Zunge ak nach aw, so daß die drei mit x bezeichneten Winkel einander gleich sind und den Ausschlag angeben.

Da eine größere Kraft dazu gehört, v nach u, als in derselben

Zeit s nach r hinzubewegen, so wird die Wage bei tieferer Lage ihres Schwerpunktes gegen den Drehungspunkt weniger gut sein oder es wird erst eine größere Mehrbelastung auf der einen Seite im Stande sein, einen gewissen Ausschlag hervorzubringen.

Um die genau horizontale Lage des Wagebalkens zu erlangen oder seine Lage zu prüfen, spielen entweder die Enden der Zungen an eingetheilten Kreisbogen mit einem Nullpunkte, auf welchen sie bei horizontaler Lage zeigen müssen, oder es ist seitwärts von dem Wagebalken auf einem besonderen Ständer ein solcher Bogen angebracht. Damit eine recht genaue Einstellung möglich werde, ist hinter der Zungenspitze häufig ein Spiegelchen vorhanden. Wenn Zunge und Spiegelbild einander decken, so ist der horizontale Stand erreicht.

2) Der horizontale Stand des Wagebalkens ist allein noch nicht ausreichend, um eine Gleichwage für praktisch brauchbar ansehen zu können; sie muß auch, wie man zu sagen pflegt, richtig sein. Das Gleichgewicht fand nach den obigen Betrachtungen nur dann statt, wenn ek gleich EK war und da hier eine Gleichheit zwischen k und K verlangt wird, wenn die Masse irgend eines Körpers auf der einen Seite gleich dem auf der anderen Seite angewendeten Gewichte sein soll; so müssen außer den angebrachten Massen auch die beiden Theile oder Arme des Wagebalkens gleich sein.

Nun besitzt jeder der beiden Arme aber auch eine bestimmte Masse, deren Schwerpunkt eine bestimmte Entfernung vom Drehpunkte hat, so daß die Arme für sich schon ein Gleichgewicht verlangen, welches, wenn die Massen m und M, die Abstände ihrer Schwerpunkte vom Drehungspunkte a und A heißen, durch $am = AM$ ausgedrückt ist. Es ist also mit den angehängten Lasten l und L, welche die beiden Kräfte k und K vertreten, der vollständige Ausdruck des Gleichgewichtes.

$$el + am = EL + AM.$$

Soll nun eine Gleichwage nicht blos für einzelne Lasten l und L brauchbar sein, sondern auch für ein Vielfaches oder für einen Theil von l und L (für $nl = nL$ und für $\frac{1}{n}l = \frac{1}{n}L$); so müssen e und E, a und A, m und M einander absolut gleich sein, d. h.

soll eine Gleichwage richtig sein, so müssen beide Arme des Wagebalkens an Materiale, Länge und Dimensionen einander völlig gleich sein.

Es läßt sich nämlich ein Zustand des Gleichgewichtes für ein einzelnes l und L denken, wenn die Ungleichheiten auf beiden Seiten einander aufheben, welcher aber bei derselben Wage nicht mehr vorhanden ist, wenn man ein Vielfaches oder einen Theil von l abwägen will.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ein solches Gleichgewicht findet statt, wenn man in dem obigen allgemeinen Ausdrucke z. B. folgende besondere Zahlenwerthe einsetzt:

$$6.3 + 3.2 = 5.3 + 3.3, \text{ was } 24 \text{ gibt.}$$

Hierbei sind die angehängten Lasten l und L gleich 3, (z. B. 3 Pfunde), die Entfernungen e und E der Aufhängepunkte 6 und 5 (z. B. 6 und 5 Zolle), die Massen m und M der beiden Arme 2 und 3 (z. B. 2 und 3 Lothe) die Abstände a und A ihrer Schwerpunkte vom Drehungspunkte 3 und 3 (Zolle). Es werden also hier die Ungleichheiten an den Armen, welche durch die Ungleichheiten ihrer Massen und ihrer Entfernungen vom Drehungspunkte hervorgebracht sind, nämlich 6 und 9 aufgehoben durch gleiche Lasten (3 und 3) bei ungleichen Entfernungen (6 und 5) ihrer Befestigungspunkte vom Drehpunkte, da $18 + 6 = 15 + 9$, beides nämlich 24 ist.

Wenn man aber bei derselben Wage statt der Lasten 3 an jedem der beiden Arme z. B. das Doppelte anbringt, so ist in den Ausdrücken

$$6.6 + 3.2 \text{ und } 5.6 + 3.3.$$

ein Gleichgewicht nicht mehr vorhanden, indem Ersteres 42, Letzteres 39 gibt.

Es gehört also zur Richtigkeit einer Gleichwage durchaus, daß nicht nur $e = E$ oder die beiden Arme gleich sind; sondern auch, daß die statistischen Momente der Arme gleich sind ($am = AM$ ist) und daß ausdrücklich hierbei nicht blos die Massen wie umgekehrt die Entfernung ihrer Schwerpunkte vom Drehpunkte sich verhalten ($m:M = A:a$, was auch $am = AM$) gibt; sondern daß einzeln $a = A$ und $m = M$ ist.

Ob nun die zwei nächsten Bedingungen wirklich stattfinden, muß vor Allem festgestellt werden.

Zu diesem Zwecke ist die horizontale Lage des Balkens nicht ausreichend, sondern es ist die gleiche Länge der Arme zu prüfen und zu bewirken. Dazu verschafft man sich zwei genau gleich schwere Wageschalen und dann auch gleiche Gewichte. Dies kann selbst mit einer Wage geschehen, deren Arme ungleich sind, wenn sie nur dabei im Gleichgewichte ist. Man bringt nämlich an den einen Arm durch ein Gewicht die eine Wageschale in's Gleichgewicht und sorgt dafür, daß die zweite Schale durch dasselbe Gewicht auf derselben Seite in's Gleichgewicht gesetzt wird.

Auf dieselbe Weise setzt man sich in den Besitz gleicher Gewichte. Man legt nämlich in die eine Schale ein Gewicht G und setzt es in der anderen durch die Gewichtstheile R in's Gleichgewicht; dann nimmt man G heraus und legt ein anderes H hinein, welches, wenn dadurch das Gleichgewicht mit R noch nicht erreicht ist, hinreichend vermindert oder vergrößert werden muß, bis es geschieht und dann sind die Gewichte G und H einander gleich.

Mit solchen gleich schweren Wageschalen und Gewichten kann man es prüfen, ob der Wagebalken, welcher für sich wohl schon im Gleichgewichte ist, auch übrigens nach den obigen Bedingungen noch richtig ist. Denn vertauscht man an ihm die Wageschalen, oder wenn dies nicht bald ausführbar

ist, die gleichen Gewichte in ihnen, so darf das Gleichgewicht nicht gestört werden, wenn er richtig ist. Läge der Drehpunkt trotz seines selbstständigen Gleichgewichtes nicht in der Mitte des Balkens, so würde der längere Arm nach Anbringung der gleichen Gewichte sinken.

Damit der Anhängepunkt der Lasten oder auch der Schwerpunkt der Arme nach den Bedürfnissen verlegt werden kann, hat man bei den guten Wagen an den Enden des Balkens kleine Schrauben angebracht. Es kann sich durch die Schraube auch ein kleines Gewicht mehr oder weniger tief in den Balken schrauben lassen.

Der Balken einer Gleichwage ist also nur dann vollkommen richtig, wenn

1) Die Arme gleich lang und die Befestigungspunkte für die Lasten vom Drehpunkte gleich entfernt,
2) die Gewichte der Arme gleich groß,
3) Die Schwerpunkte der Arme von dem Drehpunkte gleich entfernt und
4) die Schalen gleich schwer sind.

Für die Aufsichtsbehörden, deren Pflicht es ist, Uebervortheilungen im Handel zu verhüten, genügt es bei der Untersuchung der Richtigkeit einer Wage, sie durch beliebige Gewichte in den beiden Wageschalen ins Gleichgewicht zu bringen, die gebrauchten Gewichte umzutauschen und zu zu sehen, ob noch Gleichgewicht stattfindet.

Eine richtige Gewichtsbestimmung ist selbst mit einer Wage, welche diese Kennzeichen der Richtigkeit auch nicht darbietet, noch möglich, und zwar durch das Verfahren einer doppelten Wägung. Man legt nämlich auf die eine Seite den abzuwägenden Körper mit noch beliebigen Gewichtstheilen, bringt das Ganze durch das erforderliche Gegengewicht ins Gleichgewicht; dann nimmt man den Körper heraus und ersetzt ihn durch Gewichte, deren Werth und Richtigkeit man kennt, bis mit dem alten Gegengewichte wieder das Gleichgewicht hergestellt ist. Die den Körper ersetzenden Gewichtsstücke geben sein Gewicht an. — Hierbei ist die Wage für verschiedene Fälle gleichmäßig belastet, was zu ihrem Vortheile gereicht.

3) Die dritte Bedingung für eine gute Wage ist, daß sie den für die verschiedenen Zwecke hinreichenden Grad von Empfindlichkeit zeigt, was man wohl auch Feinheit nennt. Dies ist der Fall, wenn sie bei der geringsten Mehrbelastung auf der einen Seite die Gleichgewichtslage verläßt und einen Ausschlag zeigt, was freilich um so weniger der Fall ist, je größere Lasten sie abwägen zu lassen bestimmt ist. Man mißt die Feinheit nach der Größe des Antheiles, welchen das Uebergewicht von der ganzen Last ausmacht, welche die Wage, ohne Gefahr beschädigt zu werden, wägen zu lassen fähig ist. Man fertigt Wagen an, deren Empfindlichkeit mehr, als ein Milliontel beträgt. Wenn nämlich eine Wage höchstens ein Kilogramm tragen kann, so gibt ihr ein Milligramm noch einen merklichen Ausschlag.

Die größere Feinheit einer Wage wird erlangt:

a) durch eine größere Länge der Wagebalken und auch der Zunge, weil man an ihnen einen kleineren Ausschlag leichter erkennt;

b) durch die Leichtigkeit des Wagebalkens, ohne seiner Tragkraft Abbruch zu thun, also auch ohne daß er sich biegt.

Wenn sich nämlich bei einem vorhandenen Uebergewichte der Balken bewegt, so muß das Uebergewicht nicht nur die in den Wageschalen befindlichen Lasten, sondern auch die Balken gleichzeitig in Bewegung setzen und dieses wird ihm um so schwerer fallen, je gewichtiger sie sind. Dazu kommt noch, daß die Drehungsaxe des schwereren Balkens einen größeren Reibungswiderstand darbieten wird, als die des leichteren, das Erscheinen des Ausschlages in jenem Falle also schwieriger ist, als in diesem. — Würde der Balken durch die angehängten Lasten gebogen, so würde der Schwerpunkt des Ganzen tiefer unter die Drehungsaxe verlegt, was die Stabilität vergrößern, also die Empfindlichkeit vermindern würde.

Um unbiegsame und leichte Balken zu erhalten, macht man sie nach der Drehungsaxe hin stärker, als nach den beiden Enden, gibt ihnen eine größere Höhe als Dicke und fertigt sie hohl an, wie es nach den früher angegebenen Grundsätzen für die Festigkeit der Körper angegeben worden ist. Ueberdies brauchen sie nicht aus dem Ganzen zu sein, sondern können durchbrochen werden. Stahl und Eisen sind dem Einflusse des Erdmagnetismus ausgesetzt und zu ganz scharfen Wägungen wohl nicht so brauchbar wie das übrigens sehr feste Glockenmetall

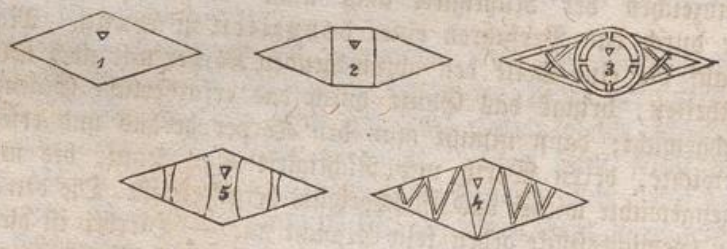


Fig 50.

Fig. 50. gibt einige ganz brauchbare Formen und Einrichtungen an. 1) stellt zwei mit ihren Grundflächen aneinander gelegte Kegel dar; in 2) schließen die beiden Kegel sich an ein würfelförmiges Mittelstück; 3) enthält einen etwa zwei Linien dicken Metallkreis, von welchem aus solche Streben gehen, die wieder durch solche Bogen abgesteift sind; in 4) sind die etwas schwer anzufertigenden Bogen durch grade Stäbe ersetzt und in 5) ist diese Vorrichtung noch mehr vereinfacht.

c) Ein ferneres Mittel zur Erlangung einer möglichsten Empfindlichkeit der Wage ist die möglichste Beseitigung der Reibung sowohl an der Drehungsaxe des Balkens, als auch an den Aufhängepunkten der Wageschalen. Wollte man eine zylindrische Axe wählen und diese sich in

ebenso ausgetieften Lagern bewegen lassen, so würden bei jeder Lage des Balkens zu viele Berührungspunkte beider vorhanden sein. Eine ebene Unterlage würde zwar nur eine Berührungslinie darbieten, aber die Sicherheit der Schwingung über dieser Linie beeinträchtigen, wodurch die Länge der Hebelarme verändert würde. In Betreff des Materiales ist solches ausgeschlossen, welches durch die Reibung sehr leidet.

Man wendet also Stahl an und formt daraus polirte schneidenförmig zugehende Axen, bei denen der Neigungswinkel je nach der Tragkraft von 90 Graden herabgeht bis zu 30 und noch weiter. Zu Unterlagen wählt man entweder glasharten Stahl oder, was besser ist, Achat und formt sie wenig konkav, bei ganz feinen Wagen wohl auch eben, ja sogar schneidenförmig zugeschärft, so daß die Berührung beider Schneiden fast nur in einem Punkte stattfindet.

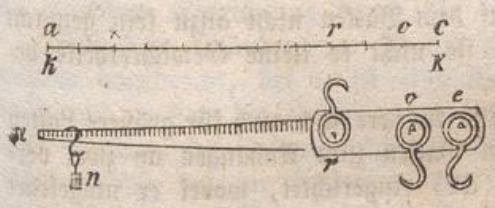
Weil aber die härtesten Körper durch häufigen Gebrauch sich abnutzen, sorgt man dafür, daß die Wage im Zustande der Ruhe entweder durch Herablassen des Balkens oder durch bewegliche Unterlagen getragen werde, wodurch man auch bei dem Gebrauche allzu lange dauernde Schwingungen vermeiden kann.

Daß die Axen auf dem Balken genau lothrecht stehen müssen, versteht sich von selbst.

d) Die Empfindlichkeit einer Wage muß mit der Verminderung der Lasten wachsen, weil die Vermehrung der Lasten die Reibung in demselben Verhältnisse vermehrt und trotz aller sinnreichen Vorrichtungen die Reibung nie vermieden werden kann.

e) Endlich hängt die Empfindlichkeit der Wage von der Lage des Drehpunktes gegen den gemeinschaftlichen Schwerpunkt der beiden Lasten und der beiden Arme des Wagebalkens ab. Bei guten Wagen müssen die Angriffspunkte der Lasten mit den beiden letzten Schwerpunkten in dieselbe grade Linie fallen. Soll der Balken sich horizontal stellen, so muß dieser Drehpunkt über dieser graden Linie liegen und je näher er ihr liegt, desto empfindlicher wird die Wage sein. Bei guten Wagen ist also durch zarte Schrauben eine Vorrichtung vorhanden, um den Drehungspunkt gegen den Schwerpunkt des Balkens und der Last zu verlegen. Die Größe des Ausschlages gibt für eine bestimmte Belastung nach Anwendung eines Uebergewichtes den jedesmaligen Grad der Empfindlichkeit an.

Die Schnellwage.



(Fig. 51.)

Greifen an den zwei Endpunkten a und c (Fig. 51) einer graden Linie zwei ungleiche Kräfte k und K an, so geht die aus den beiden Kräften zusammengesetzte Mittel- oder resultirende Kraft durch den so

gelegenen Punkt o der ac, daß die beiden Theile der Linie sich wie umgekehrt die beiden Kräfte verhalten, also k zu K, wie oc zu oa. Ist z. B. k nur der zehnte Theil von K, so ist auch oc nur ein Zehntel von oa.

Die in a und c wirkenden Kräfte können auch die Gewichte zweier Körper sein, welche also nach der Erdoberfläche, d. h. nach unten wirken. Ist dann in o eine dritte Kraft angebracht, welche der Resultirenden gleich ist und ihr entgegengesetzt, also nach oben wirkt; so findet Gleichgewicht statt. Das o kann auch der feste Drehungspunkt der Linie ac sein. Findet unter den drei in a, o und c wirkenden Kräften das Gleichgewicht statt, kennt mon die Größe (das Gewicht) der einen Kraft und das Verhältniß der Länge beider Arme, so ist die Größe der anderen Kraft leicht zu bestimmen. Wenn z. B. für den Drehungspunkt o die Arme oc und oa sich wie 1 zu 10 verhalten und in a ein Pfundgewicht angebracht ist, so sind in c zehn Pfunde. — Wäre das Pfundgewicht in x, so würden in c nur acht Pfunde sein u. s. f., so daß man mit dem einen an dem langen Arme verschiebbaren Gewichte im Stande ist verschiedene Lasten am kürzeren Arme zu bestimmen.

Es ist klar, daß man durch Verlegung des Drehungspunktes mittelst derselben Gewichtseinheit ebenfalls verschiedene Lasten abwägen kann. Ist z. B. r der Drehungspunkt und sind in a und c die Lasten angebracht, so verhalten sich jetzt die Arme wie 8 zu 3. Wäre also in a ein Pfund angebracht, so würden in c dadurch $^8/_3$ oder $2^2/_3$ Pfunde im Gleichgewichte erhalten.

Ist ac die Längenaxe eines Wagebalkens, o die Drehungsaxe desselben und sind für das Anbringen der Gewichte und Lasten, so wie für die Leichtigkeit der Drehung des Balkens um die stabile Gleichgewichtslage dieselben Vorrichtungen angebracht, wie bei der Gleichwage; so hat man eine Schnellwage, welche diesen Namen führt, weil man mittelst desselben Gewichtes bei seiner bloßen Verschiebung auf dem längeren Arme schneller auch große Lasten ohne Zulagegewichte abzuwägen im Stande ist. Dazu kommt der Vortheil der geringeren Reibung an der tragenden Are, auf welche außer dem Gewichte des Balkens und der einen Schale nur noch wenig mehr, als die abzuwägende Last drückt; denn statt des bei der Gleichwage nothwendigen Gegengewichtes der Last, welches so groß wie sie ist, hängt nur noch das kleine Laufgewicht daran.

Da indeß die Eintheilung auf dem Balken nicht allzu fein gemacht werden kann, so lassen sich durch sie nicht so kleine Gewichtstheile bestimmen, als durch die Gleichwage.

Um die Schnellwage sowohl für kleinere als auch für größere Lasten geeignet zu machen, hat man den Balken zum Anhängen an zwei verschiedenen Punkten o und r (Fig. 51) eingerichtet, wobei er umgekehrt wird und zwei verschiedene Eintheilungen haben muß. Für größere

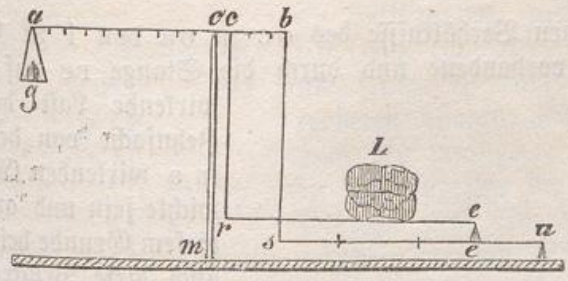
Lasten dient o als Drehpunkt, oa und oc sind die Arme; für kleinere Lasten ist r der Drehpunkt, ra und rc sind die Arme.

Bei der sogenannten dänischen Schnellwage hängt der Balken in einem Rahmen und ist in ihm verschiebbar, während das Laufgewicht und die Wageschale ihre Stelle am Balken nicht verändern lassen. Die Eintheilung kann durch den Rahmen abgelesen werden. Ist der Balken lang und leicht, so lassen sich mit ihr ziemlich feine Abwägungen vornehmen.

Daß in allen Fällen die Arme für sich und mit der etwa angehängten Wageschale im Gleichgewichte sein müssen, versteht sich von selbst.

Die Brückenwage.

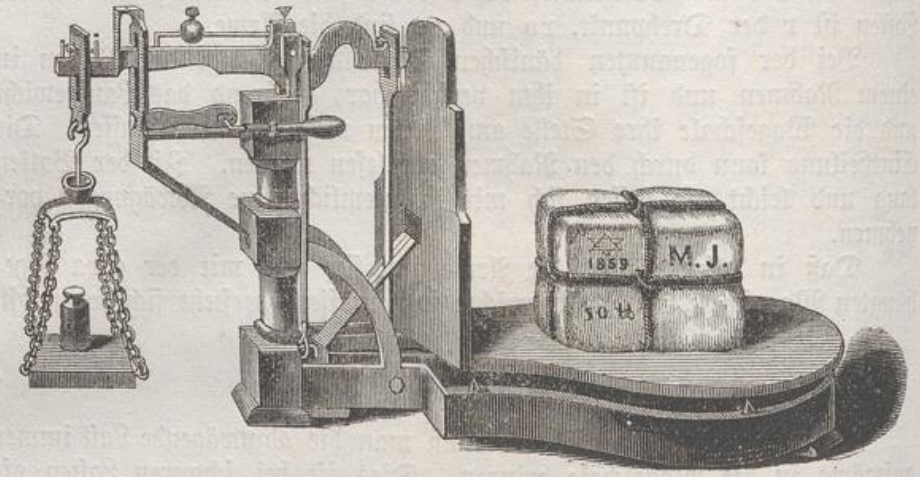
Bei den angeführten Wagen muß man die abzuwägende Last immer aufwärts in die Wageschale bringen. Dies ist bei schweren Lasten oft sehr umständlich oder mit einem bedeutenden Kraftaufwande verknüpft, ja unter manchen Umständen gar nicht ausführbar, wie wenn man z. B. einen beladenen oder unbeladenen Frachtwagen abwägen wollte. Wüßte man das Gewicht eines bestimmten Frachtwagens und könnte man ihn belastet abwägen, so wäre mit Bequemlichkeit das Gewicht des Frachtgutes bestimmt, ohne es abladen zu dürfen. — In England wird die Höhe des auf Landstraßen zu zahlenden Zolles nach der Größe der Belastung bei einer gewissen Breite der Radreifen bemessen, wozu eine rasche Abwägung des belasteten Wagens auf der Fläche der Landstraße selbst nothwendig ist. — Ebenso kann man schweres Frachtgut abwägen wollen.



(Fig. 52.)

Zu diesen und ähnlichen Zwecken dienen die so außerordentlich bequemen Brückenwagen. Um ihre Leistung und Anwendung besser zu erkennen, wollen wir zunächst nur die skizzirte Zeichnung (Fig. 52) betrachten und werden dann die besondere Einrichtung durch die folgenden Figuren leicht verstehen.

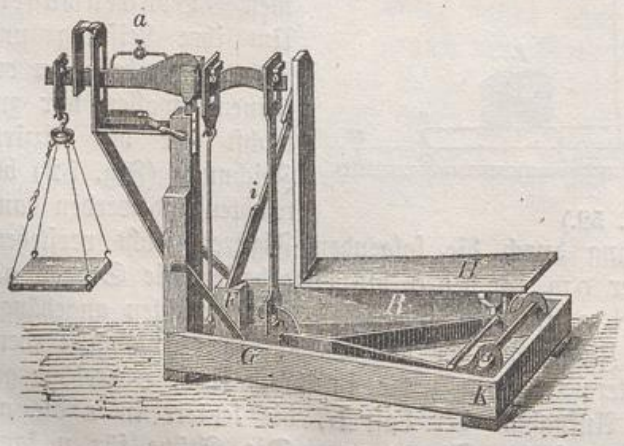
Auf dem Ständer om ist bei o als Wagebalken die Stange ab drehbar angebracht, bei a ist eine Wageschale zu Gewichten angehängt, bei c und b sind die Zugstangen cr und bs um ihre Endpunkte ebenfalls drehbar; die erstere trägt in r die in ihrem Ende e drehbar gestützte Brücke re zur Aufnahme der Last L, die letztere in s die an ihrem Ende u drehbar gestützte Stange su. Die Stütze für u kann mit dem Ständer om auf derselben Basis ruhen.



(Fig. 53.)

Ist oc von ob der ebensovielte Theil, als ue von us, z. B. der vierte, so verändert die Brücke ungeachtet der etwaigen Drehung von ob ihre Lage nicht; war sie also ursprünglich horizontal, so bleibt sie es und es ist, als ob die Last L in c angehängt wäre. Geht nämlich für das angeführte Verhältniß der Punkt c (also auch r) um 1 Zoll abwärts, so bewegt sich b, also auch s um 4 Zoll in dieser Richtung; geht aber s 4 Zoll, so kann e nur 1 Zoll in derselben Richtung gehen. Weil also sowohl r, als auch e stets um gleich viel (hier um 1 Zoll) abwärts oder auch aufwärts sich bewegen, so bleibt die Brücke sich selbst stets parallel.

Bei dem angenommenen Verhältnisse des oc zu oa von 1 zu 10 muß die auf der Brücke vorhandene und durch die Stange rc auf c wirkende Last das Zehnfache von dem in a wirkenden Gewichte sein und aus diesem Grunde heißt auch diese Brückenwage eine Dezimalwage. Sie würde eine Zentesimalwage sein, wenn die Eintheilung so eingerichtet wäre, daß die Last das Hundertfache des Gewichtes ist.



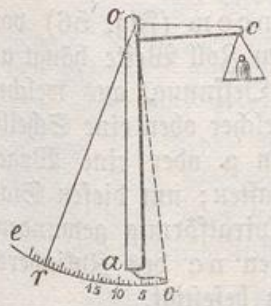
(Fig. 54.)

Es ist klar, daß alle Theile der Brücke vor jeder Abwägung mit sich selbst ins Gleichgewicht gebracht sein müssen, was durch ein verschiebbares, in der perspektivischen Zeichnung (Fig. 53) bei a dargestelltes Laufgewicht an dem längeren Hebelarme bewerkstelligt wird, daß ferner zur möglichsten Verminderung der Reibung ähnliche Vorrichtungen, wie sie bei der Gleichwage erwähnt wurden, anzuwenden sind und daß man zur Schonung der schneidenförmigen Zapfen und Lager die Wage aretiren, d. h. die Beweglichkeit der Theile muß aufheben können, wie es auf der linken Seite in der Zeichnung angedeutet ist.

Um die innere Einrichtung der Dezimalwage besser zu erkennen, ist in Fig. 54 die Brücke H nur halb gezeichnet. Der darunter liegende Hebel ist nicht eine einfache Stange, sondern hat die Form eines gleichschenkligen Dreiecks, so daß der Drehungsstützpunkt für die Brücke in den beiden Endpunkten der Basis liegt, was den Vortheil darbietet, daß die Last mehr oder weniger seitwärts auf der Brücke liegen kann, ohne daß sie ihren Druck verändert. Die Brücke selbst ist der Festigkeit wegen durch die eiserne Stange i mit dem sie stützenden Rahmen RF fest verbunden. Es ist natürlich auch gleichgiltig, ob die Last mehr oder weniger nach vorn auf der Brücke liegt; denn je näher sie ihrem Drehungspunkte liegt, desto mehr drückt sie zwar auf den unteren Hebel, aber desto weniger zieht sie auch an der Stange.

Für die Abwägung bedeutender Lasten bringt man die Wage so an, daß die Brücke mit den Dielen oder dem Fußboden in derselben Ebene liegt, um die Waaren leicht darauf wälzen oder fahren zu können.

Die Zeigerwage.



(Fig. 55.)

Bilden zwei ungleich lange Stäbe oa und oe (Fig. 55) einen Winkel, ist dieser Winkel um seinen Scheitel leicht drehbar, wie bei den früheren Wagen und der längere Schenkel oa auch der massigere; so wird diese Vorrichtung in der Ruhelage sich so einstellen, daß oa fast lothrecht auf dem Horizonte ist. Hängt man an den kürzeren Schenkel eine Wageschale, so zieht sie diesen Schenkel etwas herab und oa stellt sich dadurch höher. Nun kann man einen am Ende angebrachten Draht vorwärts oder, wie in der Zeichnung, rückwärts so beugen, daß seine Spitze auf den lothrecht unter o liegenden Nullpunkt des Kreisbogens zeigt.

Wenn man nun in die Wageschale der Größe nach bekannte Gewichte legt, so wird bei deren Vermehrung der Schenkel oa aufwärts gehen und die Spitze an dem Kreisbogen nach e hinspielen z. B. bis r. Es lassen sich nun auf dem Kreisbogen Theilstriche so anbringen, daß

man dann, wenn man beliebige Körper auf die Wageschale bringt, deren Gewicht sofort ablesen kann.

Da diese Wagen sehr empfindlich sein können, so wendet man sie u. a. an, um Garn- oder Seidensträhne von gleicher Feinheit, wie man sie zu einem bestimmten Gewebe braucht, abzuwägen.

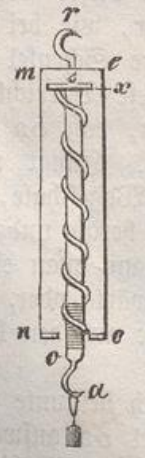
Auch kann man durch sie leicht erkennen, ob ein Körper, selbst wenn er sich in einem ganz abgeschlossenen Raume, wie z. B. in dem luftleer gemachten Raume einer Glasglocke befindet, stets dasselbe Gewicht behält. Er muß z. B. leichter werden, wenn fremdartige Stoffe aus ihm entweichen oder wenn er selbst schwindet.

Die Federwage.

Die Federwage läßt uns das Gewicht der Körper zwar nicht allein, sondern nur zum Theil zufolge ihrer Gravitation zur Erde bestimmen; aber sie möge hier bei Anführung der andern Wagen mit erwähnt werden.

Wir kennen bereits die Eigenschaft der Elastizität der Körper, nach welcher ihre Massentheilchen gegen einander dieselbe bestimmte Lage behalten wollen, welche sie bei der Bildung des Körpers angenommen haben. Wenn nun eine Kraft, welche wie hier, auch die Schwerkraft eines Körpers sein kann, ihre Lage verändern will, so wird zu einer größeren Aenderung auch eine größere Kraft gehören. Hört die Einwirkung der Kraft auf, so nehmen die Theilchen wieder ihre ursprüngliche Lage ein, wenn sie durch jene Kraft nicht etwa gezwungen worden sind, sich vollständig von einander abzulösen, sondern wenn man innerhalb der Elastizitätsgränze bleibt.

Die Einrichtung der Federwagen kann sehr verschieden sein; wir wollen nur die beiden gebräuchlichsten Arten betrachten.



(Fig. 56.)

Ein hohler Metallzylinder ncem (Fig. 56) von etwa 6 Zollen Länge und einem Zoll Weite hängt an einem Hacken r; unten ist eine Oeffnung, aus welcher ein Metallstab so hervorragt, welcher oben eine Scheibe s trägt und unten einen Haken a oder eine Wageschale hat zum Anhängen von Lasten; um diesen Stab ist eine elastische Metallfeder spiralförmig gewunden, und sowohl unten an dem Boden nc des Zylinders, als auch oben an die Scheibe s befestigt.

Hängt man nun bei a verschiedene Gewichte an, so ziehen sie den Stab mit seiner Scheibe herab und die Feder wird um so mehr zusammengezogen, je mehr Gewichte angehängt sind. Wenn die Scheibe einen horizontalen Stift x trägt, der aus einem Schlitze in dem Zylinder hervorragt, so kann man auf der Außenfläche des Zylinders durch Theilungsstriche die verschiedenen Gewichte angeben. Statt dessen kann die

Eintheilung auch unten am Stabe angebracht werden; sie ist aber stets nur durch Versuche zu ermitteln.

Statt die Feder durch Ziehen könnte sie auch durch Drücken von oben zusammengebracht werden. Die dazu nöthige Einrichtung läßt sich leicht bewerkstelligen.

Die Vorrichtung könnte auch so eingerichtet werden, daß die Gewichte die Spiralfeder auseinander ziehen.



(Fig. 57.)

Eine andere Einrichtung besteht in einer Oförmig gekrümmten ziemlich starken flachen Stahlfeder acs (Fig. 57), welche nach den beiden Enden a und s etwas schwächer gearbeitet und so eingerichtet ist, daß das eine und äußere Ende über das innere etwas übergreift; das äußere Ende s trägt mittelst eines Scharnieres leicht beweglich eine Zunge se, welche bei o durch einen Schlitz des inneren Theiles geht und auf Null der Eintheilung zeigt, welche man auf einen bei c befestigten, sonst aber frei liegenden Messingstreifen rr anbringt. Oben ist an der Feder ein Haken k zum Aufhängen derselben und unten ein anderer u, um daselbst die Lasten anzubringen. Je schwerer diese sind, desto mehr geht die Feder auseinander und desto mehr wird die Zunge gehoben. Um die Theilungsstriche zu erhalten, muß man richtige und bekannte Gewichte anhängen.

Je weiter die Haken zum Abhängen nach dem mittleren und dickeren Theile der Feder angebracht sind, desto größer muß die Kraft sei, um sie auf eine gewisse Entfernung auseinander zu bringen. Wenn man also noch zwei Haken m und n an Stellen anbringt, welche den dünneren Enden der Feder näher liegen, so werden kleinere Lasten die Zunge ebenso weit bewegen, als größere an den vorigen Haken. Für diese Haken wird man auf der anderen Fläche des Messingstreifens noch eine besondere Eintheilung anbringen.

Wenn auch diese Federwagen nicht eine so große Genauigkeit gestatten, zumal sie bei höherer Temperatur eine größere Ausdehnung haben und sich leichter auseinander ziehen lassen, als bei niedrigerer; so sind sie doch für viele häusliche und technische Zwecke sehr bequem, da sie wenig Raum einnehmen, leicht selbst in der Rocktasche fortgebracht werden können und ohne Gewichtsstücke das Gewicht von Gegenständen (Heu, Stroh, Kornfrüchten, Fleisch u. s. w.) unmittelbar bestimmen lassen.

Zweiter Abschnitt.

Gleichgewicht tropfbarer Körper.

Das Niveau.

Nur dann, wenn eine tropfbare Flüssigkeit der Einwirkung einer jeden äußeren Kraft entzogen und selbst in Ruhe gedacht wird, kann sie sich vollkommen kugelförmig gestalten. Dies würde der Fall sein, wenn sie frei im Weltraume schwebte, ganz allein und in Ruhe wäre. Ist aber die Flüssigkeit in der Nähe eines anderen Weltkörpers oder ist sie selbst ein Bestandtheil eines Weltkörpers, so muß seine Anziehung ihre Form um so mehr ändern, je größer die anziehende Kraft ist.

Die Gesammtanziehung der Erde ist auf eine große Wassermenge größer, als auf eine kleine und daher ist letztere eher im Stande zufolge der Massenanziehung ihrer Molekel die Kugelgestalt anzunehmen und Tropfen zu bilden. Die Leichtigkeit der Tropfenbildung hängt bei verschiedenen Flüssigkeiten von dem Verhältnisse ihrer Kohäsion zur Schwere ab: das Quecksilber bildet leichter Kugeln, als das Wasser, weil bei jenem die Kohäsion verhältnißmäßig größer ist, als bei diesem.

Größere Mengen von Flüssigkeiten kann man für sich in einer bestimmten Gestalt nicht frei halten, weil die Schwere den Zusammenhang, welchen die Kohäsion erstrebt, verhindert. Man muß sie also umschließen durch Gefäße aus festen Körpern, zu welchen sie keine chemische Verwandtschaft haben und sie nehmen deren Gestalt an. Erstarren also Flüssigkeiten in festen Körpern und kann man sie dann von ihnen ablösen, so haben sie die Form des inneren Raumes, wie es die Metallgußarbeiten u. a. beweisen.

Tropfbare Flüssigkeiten lassen sich aber auch in den Gefäßen nicht anhäufen, wie etwa Sand; denn die obersten Theilchen üben wegen ihres Gewichtes einen Druck auf die darunter befindlichen aus, diese entweichen wegen der geringeren Kohäsion mit den übrigen und des Widerstandes, welchen die darunter befindlichen ausüben, nach der Seite, wo sie den geringsten Widerstand finden, nämlich nur den der Luft; sie schieben wie auf einer schiefen Ebene herab, bis sie endlich oben eine mit dem Horizonte parallele oder eine horizontale Ebene, das Niveau, bilden, welche lothrecht auf der Richtung der nach dem Erdmittelpunkte gerichteten Schwere ist.

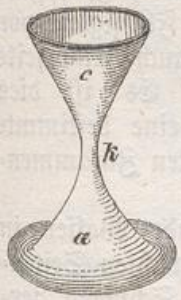
Streng genommen ist dies allerdings nicht ganz der Fall, denn in engeren Gefäßen wirken der Schwere die Adhäsion und Kapillarität entgegen und auf den Meeren ist das Wasser stets in einem Bestreben das durch die Anziehungskraft der Sonne und des Mondes gestörte

Gleichgewicht durch die irdische Schwere wieder herzustellen, abgesehen von den Bewegungen durch die Luft und Drehung der Erde.

Wird Wasser in einem Gefäße in der Luft gehalten, so bildet es sich selbst das Niveau; wollte man aber Wasser innerhalb des Quecksilbers in einem Gefäße erhalten, so müßte die Oeffnung nach unten gerichtet sein und das Quecksilber-Niveau bestimmt das des Wassers.

An dem Niveau einer Flüssigkeit ist die Anziehung der Molekel untereinander größer, als im Inneren; denn dort werden die der obersten Schichten fast nur nach unten gezogen, hier aber ist die Anziehung nach allen Richtungen eine ziemlich gleiche, zumal die Molekularanziehung nur auf kleine Entfernungen sich wirksam zeigt. Daher kommt es denn, wie wir früher schon gesehen haben, daß kleine schwere Körper auf dem Niveau schwimmen, im Innern aber untersinken, als wenn dort die Flüssigkeit eine inniger zusammenhängende Haut bildete.

Bringt man in dasselbe Gefäß (nicht in eine sehr enge Röhre) tropfbare Flüssigkeiten, welche bei demselben Rauminhalte ein verschiedenes Gewicht und keine chemische Verwandtschaft haben, wie z. B. Quecksilber, Weinsteinöl, Alkohol, Steinöl; so lagert jede leichtere sich über die zunächst schwerere und die Gränzflächen sind so gebildet, als ob eine andere Flüssigkeit nicht darüber wäre. Man hat eine Röhre mit vier solchen Flüssigkeiten sonderbarer Weise eine Elementarwelt genannt.



(Fig. 58.)

Diese Erscheinung hat man zu der bekannten Täuschung, Wasser in Wein zu verwandeln benutzt. Eine dazu geeignete Vorrichtung, das Passavin, würde folgende sein: Man fertigt (Fig. 58) einen Becher an, dessen Fuß a hohl und undurchsichtig ist und mittelst eines engeren Kanals k mit dem oberen Becherglase in Verbindung steht. Gießt man nun in den Fuß a Spiritus oder Burgunderwein und dann, indem der Becher ruhig gehalten wird, langsam (am besten vom Rande aus) in den oberen Theil Wasser, so bildet sich in k eine Doppelströmung, indem das Wasser hinabgeht, der Wein herauf kommt und in kurzer Zeit hat man in c Wein statt des Wassers, welches sich in a befindet. Es ist angemessen, die Räume a und c gleich zu machen.

Das Wasser der ins Meer mündenden Flüsse strömt weite Strecken hin über dem wegen seines Salzgehaltes schwererern Meerwasser hin und letzteres dringt sogar unterhalb des Flußwassers landeinwärts.

Es ist häufig wichtig, daß Instrumente genau horizontal gestellt werden, wie z. B. in der Astronomie, beim Feldmessen, beim Bauen, beim sehr genauen Abwägen. Die dazu dienenden Vorrichtungen heißen Libellen.

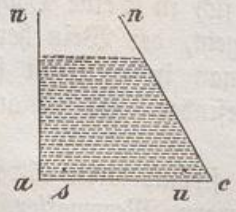
Die Dosenlibelle besteht aus einem kleinen kreisförmigen Messinggefäße, dessen Boden und absperrende Glasscheibe genau eben geschliffen

und parallel sind; in dem Gefäße befindet sich Spiritus und eine kleine Luftblase. Letztere wird genau in der Mitte der kreisförmigen Glasscheibe stehen, wenn das Instrument auf einer horizontalen Basis ruht; ist die Basis auch nur äußerst wenig schief, so tritt die Luftblase zur Seite oder gar bis an den höher gelegenen Rand und man kann, um die horizontale Lage zu erhalten, entweder die Fläche auf der niederen Seite erhöhen oder auf der höheren niedriger machen. Damit das Einstellen der Luftblase recht genau geschehen kann, ist der Mittelpunkt der Scheibe und ein kleiner Kreis um ihn angegeben.

Die Zylinderlibelle besteht aus einem einige Zoll langen Glaszylinder, welcher zum Schutze in Messing eingefaßt ist und nur auf der oberen Seite einen Schlitz hat, durch welchen man das Glas sieht. Der Zylinder ist auf einer gut eben geschliffenen Metallschiene so befestigt, daß seine Axe mit dieser Ebene parallel ist; das Innere enthält auch Spiritus und eine Luftblase, welche sich länglich gestaltet. Damit letztere gut eingestellt werden kann, ist nicht nur die Mitte des Zylinders angegeben, sondern es sind auch zu beiden Seiten in gleichen Entfernungen noch Theilstriche angebracht. Man muß das Instrument auf der horizontal zu stellenden Ebene ringsum drehen, um ihrer richtigen Lage nach allen Seiten sicher zu sein.

Gleichgewicht im Innern.

Der Zustand des Gleichgewichtes im Innern einer Flüssigkeit hängt davon ab, daß jedes noch so kleine Theilchen der Flüssigkeit von allen Seiten ringsum gleich stark gedrückt wird und auch seinerseits gleich stark wieder drückt oder den Druck fortpflanzt. Es ist dies durchaus anders, als bei festen Körpern, die für sich eine bestimmte Form haben und deren Theile im Innern einen bestimmten Zusammenhang besitzen.



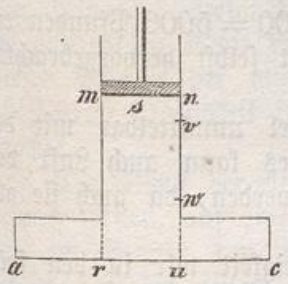
(Fig. 59.)

Denken wir uns das ruhende Wasser in einem Gefäße (Fig. 59) mit lothrechten Seitenwänden in lauter äußerst zarte Schichten zerlegt und vom Niveau aus lauter lothrechte Linien, deren jede von jeder Wasserschicht je einen Wasserpunkt enthält; so ist es klar, daß die oberste Schicht wegen ihres Gewichtes auf die zweite drückt, daß diese, wenn sie nicht seitwärts entweicht, nicht nur mit ihrem eigenen Gewichte auf die dritte drückt, sondern auch das Gewicht der ersten auf diese überträgt, so daß die dritte Schicht mit der Summe der Gewichte der beiden ersten gedrückt wird. So geht dieses fort bis auf den horizontal gedachten Boden des Gefäßes, welcher mit der Summe der Gewichte aller Schichten über ihm bis zum Niveau gedrückt wird.

Was aber findet statt, wenn diese Schichten nicht gleiche Ausdehnungen haben und die Seitenwände nicht lothrecht auf dem Boden stehen? Liegt ein Wasserpunkt s in dem Gefäße nacn (Fig. 59) z. B. in der sechsten Schicht und zunächst lothrecht unter dem Niveau, so hat er das Gewicht aller fünf über ihm liegenden Punkte unmittelbar zu tragen. Da nun dieser Punkt absolut leicht beweglich ist oder da jede kleinste Kraft hinreicht, ihn zu bewegen; so muß er den empfangenen Druck auf die ihn unmittelbar umgebenden Wasserpunkte fortpflanzen und namentlich auf die in derselben horizontalen Schicht liegenden ebenso stark drücken, als er selbst gedrückt wurde. Die an ihn in der Schicht unmittelbar gränzenden Wasserpunkte befinden sich aber in derselben Lage wie er selbst und pflanzen daher den erlittenen Seitendruck wieder fort, selbst bis zu solchen Theilen, welche nicht mehr lothrecht unter dem Niveau liegen, so daß z. B. u so stark gedrückt wird, als lägen auch fünf Wasserpunkte über ihm, wie über s.

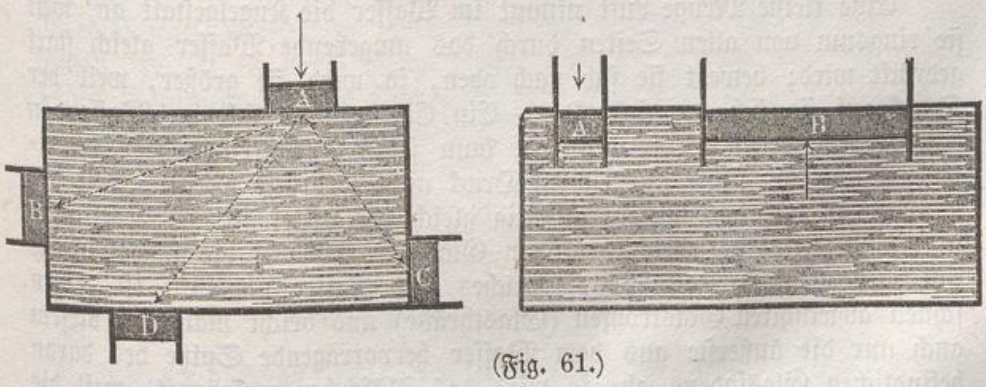
In diesen Betrachtungen liegt das Gesetz: der Druck, welchen jedes ruhende Flüssigkeitstheilchen erleidet und ausübt, ist ein allseitiger und seine Stärke richtet sich nur nach der Tiefe unter dem Niveau, es mag lothrecht unter ihm liegen oder nicht.

Denken wir uns die in einem Gefäße mnca (Fig. 60) enthaltene Flüssigkeit auch oben durch einen Stempel s abgesperrt und durch diesen Stempel auf die oberste Schicht mn einen Druck ausgeübt, so ist es für jedes im Innern vorhandene Flüssigkeitstheilchen ebenso, als wäre über mn eine dem Drucke des Stempels entsprechend drückende Wassersäule vorhanden.



(Fig. 60.)

Die Figuren 61 1, 2 sind zur Versinnlichung der allseitigen Fortpflanzung des Druckes in einem



(Fig. 61.)

überall abgesperrten Gefäße geeignet. Drückt z. B. ein Stempel A von 1 Quadratfuß Querschnitt auf die Flüssigkeit mit einer Kraft von z. B.

50 Pfunden und sind an den Seitenwänden in verschiedenen Höhen bei B und C, so wie am Boden bei D Stellen von derselben Größe; so wird der an sich schon vorhandene hydrostatische Druck auf jede dieser Stellen um 50 Pfunde vermehrt. Ist aber, wie in der zweiten Figur, eine Stelle B vorhanden, deren Fläche 25 Quadratfuße beträgt, so ist bei demselben Drucke auf A der auf B 25.50 d. i. 1250 Pfunde, also ein verhältnißmäßig recht bedeutender.

Ist die Flüssigkeit vollkommen abgesperrt, so kann der Druck auf sie auch an irgend einer anderen Stelle bei v oder w (Fig. 60) ausgeübt werden und es gilt als weiteres Gesetz:

> der auf eine abgesperrte Flüssigkeit irgendwo von außen mittelbar oder unmittelbar ausgeübte Druck pflanzt sich ungeschwächt im Innern nach allen Richtungen fort.

Sofort ergibt sich aus dem Gesetze der ungeschwächten Fortpflanzung des Druckes, daß der auf eine kleine Stelle ausgeübte Druck auf einer großen anderen Stelle einen sovielmal größeren Gesammtdruck hervorbringt, wievielmal diese Stelle größer ist, als die gedrückte.

Hätte der Stempel eine Fläche von 1 Quadratzoll, die Fläche ac eine Ausdehnung von 100 Quadratzollen, so würde ein Druck von 50 Pfunden auf mn einen Gesammtdruck von 50.100 = 5000 Pfunden erzeugen, abgesehen von dem durch die Flüssigkeit selbst hervorgebrachten Drucke.

Es ist nicht nothwendig, daß der Stempel unmittelbar mit der tropfbaren Flüssigkeit in Berührung kommt, es kann auch Luft dazwischen sein und auf sie der Druck ausgeübt werden, da auch sie als Flüssigkeit ihn fortpflanzt.

Auf diesen Gesetzen, deren praktische Wichtigkeit wir in den späteren Betrachtungen erkennen werden, beruhen u. a. folgende Erscheinungen:

Eine kleine Menge Luft nimmt im Wasser die Kugelgestalt an, weil sie ringsum von allen Seiten durch das umgebende Wasser gleich stark gedrückt wird; bewegt sie sich nach oben, so wird sie größer, weil der Druck auf sie sich vermindert. — Ein Ei, welches sich im Wasser in einer zugebundenen Blase befindet, kann selbst durch einen sehr bedeutenden, auf die Blase ausgeübten Druck nicht zerdrückt werden, weil der Wasserdruck auf das Ei ein allseitig gleich vertheilter ist. — Hält man in ein Medizinglas oder irgend ein Glas von etwa 2 bis 3 Zoll Höhe und mindestens 1 Zoll Weite, welches mit Wasser angefüllt ist, einen schnell abgekühlten Glastropfen (Glasthräne) und bricht man von diesem auch nur die äußerste aus dem Wasser hervorragende Spitze des daran befindlichen Glasfadens ab; so wird das Fläschchen zersprengt, weil die Erschütterung vom zerberstenden Tropfen aus rasch bis an dasselbe

sich fortpflanzt. Wäre nur Luft im Glase, so würde es ganz bleiben. — Man kann Fische unter schwachem Eise todtschlagen, wenn man über ihnen auf das Eis einen kräftigen Schlag, etwa mit einer Axt ausübt. Dies ist das sogenannte Fischprellen.— Der kartesianische Taucher bestätigt die Fortpflanzung des auf die verschließende Gummiplatte ausgeübten Druckes durch die Luft auf den Wasserspiegel und durch das Wasser bis auf die Mündung des kleinen Röhrchens am hohlen Glaskörper, so daß dadurch Wasser in denselben gepreßt und die Luft in ihm zusammengedrückt wird, wodurch sein Gewicht bei gleichbleibendem Volumen zunimmt und er im Wasser so weit sinkt, bis der Gegendruck des Wassers sein Gewicht aufhebt. Läßt man mit dem Drucke auf die Gummiplatte nach, so dehnt sich die zusammengepreßte Luft im Taucher aus und drückt das Wasser heraus, der Körper wird leichter und er steigt. Wir erkennen also an diesem in mehrfacher Beziehung belehrenden Spielzeuge sehr deutlich, wie der Druck der Flüssigkeit mit wachsender Tiefe unter dem Niveau wächst, obwohl die Dichtigkeit derselben bei so geringen Entfernungen unter ihm als dieselbe angesehen werden darf.

Bei diesen Betrachtungen ist es also besonders wichtig, daß die tropfbaren Flüssigkeiten bei einem selbst sehr bedeutenden auf sie ausgeübten Drucke ihr Volumen nur um sehr wenig vermindern, so daß sie ganz besonders geeignet sind, die Fortpflanzung der Wirkung einer auf sie ausgeübten Kraft zu vermitteln. Ich kann mir wohl vorstellen, wie dieses Prinzip der ungeschwächten Fortpflanzung des Druckes auf eine abgesperrte Flüssigkeit selbst zum Telegraphiren anwendbar zu machen sein möchte.

Der Druck der Atmosphäre, welcher, wie wir später genauer werden kennen lernen, auf einen Quadratzoll gegen 14½ Pfund beträgt, ist doch nur im Stande, den Raum des Wassers um 0,000047 zu vermindern; so daß er bei einem Drucke von 100 Atmosphären um 0,0047 vermindert würde, da der Grad der Raumverminderung in gradem Verhältnisse mit der zusammendrückenden Kraft steht. Wenn wir uns unter dem Meeresspiegel Wasser in einer Tiefe von etwas mehr als 3000 Fuß denken, so ist es durch diesen bedeutenden Druck doch nur um 0,005 seines Volumens an der Oberfläche zusammengedrückt.

Wir können bei der weiteren Betrachtung des von einer Flüssigkeit auf die sie umfassenden Gefäßwände ausgeübten Druckes füglich den lothrechten Druck von dem Seitendrucke unterscheiden und jenen sowohl nach unten, als nach oben gerichtet betrachten.

Der lothrechte Druck nach unten.

Wenn ein Gefäß (Fig. 62) mit dem Boden horizontal steht und lothrechte Seitenwände hat (1), so muß jede kleine Stelle des Bodens das ganze Gewicht der unmittelbar lothrecht über ihr liegenden dünnen Flüssig-



(Fig. 62)

keitssäule tragen. Die Summe der gedrückten Stellen gibt die ganze Bodenfläche, die Summe der Säulen die ganze Flüssigkeit. Für diesen Fall also hat der Boden das Gewicht der ganzen über ihm befindlichen Flüssigkeit zu tragen.

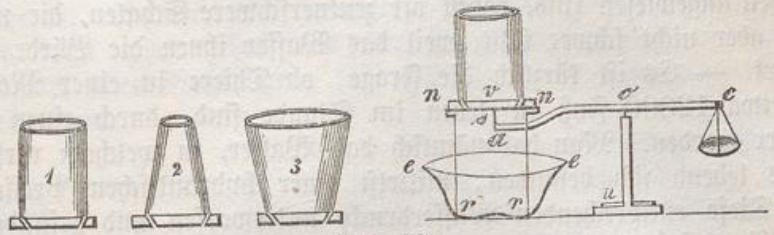
Wäre die Bodenfläche größer, als die Oeffnung des Gefäßes (2), wie wenn es sich nach oben kegelförmig verengte; so würden Stellen des Bodens zwar nicht lothrecht unter dem Niveau liegen, sie würden aber ebenso stark gedrückt werden, als wenn es der Fall wäre, weil die unmittelbar über ihnen liegenden Theile der Flüssigkeit von den seitwärts an sie gränzenden und in derselben horizontalen Schicht liegenden ebenso stark gedrückt werden, als die lothrecht unter dem Niveau befindlichen, also üben sie ihrerseits diesen Druck nach allen Richtungen, also auch nach unten wieder aus. Da dieses von allen Stellen des Bodens gilt, so findet es auch auf dem ganzen Boden statt und er wird ebenso stark gedrückt, als wären die Seitenwände, wie im ersten Falle lothrecht über ihm, obwohl bei derselben Niveauentfernung jetzt weniger Flüssigkeit im Gefäße ist.

Wäre die Bodenfläche des Gefäßes kleiner, als seine Oeffnung (3), so daß mehr Flüssigkeit in ihm enthalten ist, als wenn die Seitenwände lothrecht auf dem Boden ständen; so wird dieser in jenem Falle doch nicht mehr gedrückt, als in diesem, weil der die lothrechte Säule umgebende Mantel m m der Flüssigkeit nur dazu dient, diese Säule, wie im ersten Falle die Gefäßwände, von der Seite zu stützen.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich also als hydrostatisches Gesetz:

> Der durch eine Flüssigkeit in einem Gefäße ausgeübte Bodendruck ist gleich dem Gewichte einer Säule dieser Flüssigkeit, welche den Boden zur Grundfläche und seine lothrechte Entfernung vom Spiegel zur Höhe hat.

Es scheint paradox oder gegen die augenblickliche Ansicht zu sein, daß man mit verschiedenen Mengen einer Flüssigkeit denselben Druck oder mit einer gewissen Menge einer Flüssigkeit bald einen größeren, bald einen kleineren Druck hervorbringen kann, jenachdem das Gefäß nach unten oder nach oben sich erweitert und deshalb heißt auch das genannte Gesetz, das hydrostatische Paradoxon. Eine sehr anschauliche Bestätigung des Gesetzes erhält man auf folgende Weise.



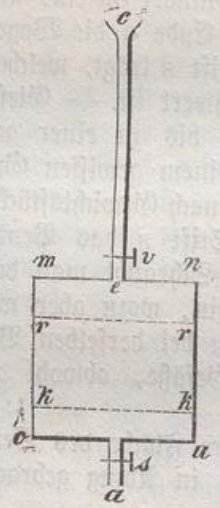
(Fig. 63.)

Man hat drei gleich hohe Gefäße (Fig. 63.) von den oben angegebenen Formen; der gleich weite Boden wird geschlossen durch ein Kegelventil v, welches genau in die das Gefäß umschließende Messinghülse einpaßt und sich nach oben zu öffnen läßt; die Hülse mit dem Gefäße läßt sich auf einen Ständer nrrn schrauben, welcher sich über einem Becken ee befindet. Daneben befindet sich auf dem Ständer ou eine um o drehbare Gleichwage, von welcher der eine Arm am Ende c die Wageschale, der andere bei a einen nach oben gerichteten Stift s trägt, welcher das Ventil unten nur berührt, wenn die Wage unbeschwert ist. — Gießt man nun in das erste aufgeschraubte Gefäß Wasser bis zu einer gewissen Höhe, so drückt es auf das Bodenventil mit einem gewissen Gewichte. Legt man dann auf die Wageschale nach und nach Gewichtsstücke, so wird endlich bei einer gewissen Belastung der Stift s das Ventil empordrücken und das Wasser in's Becken fließen. — Schraubt man das zweite Gefäß auf und gießt Wasser so hoch wie vorhin, wozu aber weniger erforderlich ist, so wird doch das Ventil genau bei derselben Belastung aufwärts gedrückt und auch beim dritten Gefäße, obwohl zu diesem Gefäße mehr Wasser erforderlich ist.

Will man den Druck des Wassers auf die obere Fläche des Ventils allein haben, so muß das Gewicht des Ventils in Abzug gebracht werden.

Der Druck des Wassers in größeren Tiefen des Meeres ist ein sehr bedeutender. So fand z. B. Cambell, daß leere Flaschen in einer Tiefe von 1200 Fuß entweder zerdrückt oder, wenn sie kugelförmig und hermetisch geschlossen waren, mit Wasser angefüllt wurden. In dieser Tiefe beträgt aber auch der Wasserdruck, selbst wenn wir das Gewicht eines Kubikfußes Meerwasser nur zu 66 Pfunden annehmen, auf einen Quadratfuß $1200.66 = 79200$ Pfunde. — Es ist vorgekommen, daß das Holz, welches verwundete Wallfische mit in die Tiefe des Meeres genommen hatten, durch den Druck des Wassers so verdichtet war, daß es nicht mehr schwamm. — Wenn Fahrzeuge einige Zeit in größerer Tiefe unter Wasser gelegen haben, so sind sie nicht mehr recht brauchbar. — Wenn man beim Baden bis auf den Boden untertauchen will, so gelingt es um so schwieriger, je tiefer das Wasser ist, weil das Wasser mit wachsender Tiefe einen um so stärkeren Gegendruck nach oben aus-

übt. — Diejenigen Schalthiere, welche in größeren Tiefen des Meeres zu leben angewiesen sind, haben oft zentnerschwere Schalen, die zu tragen ihnen aber nicht schwer fällt, weil das Wasser ihnen die Bürde sehr erleichtert. — Es ist kürzlich die Frage, ob Thiere in einer Meerestiefe von etwa 12000 Fuß zu leben im Stande sind, durch einen Versuch erörtert worden. Man hat nämlich das Wasser, in welchem verschiedene Thiere lebend sich befanden, mittelst einer hydraulischen Presse einem jener Tiefe entsprechenden Wasserdrucke unterworfen und gefunden, daß die Thiere sofort starben, indem sie gewissermaßen zerdrückt wurden. Der daraus gezogene Schluß, daß dort Thiere nicht leben können, ist, wie ich glaube, falsch, weil die Thiere zwar nicht einen in so kurzer Zeit vorgenommenen Wechsel des Druckes, aber einen nur langsam wachsenden vertragen können, indem dann eine Ausgleichung des von innen wirkenden Gegendruckes stattfindet.



(Fig. 64.)

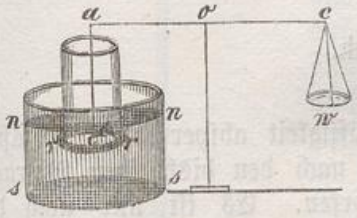
Das obige Prinzip ist namentlich dazu benutzt worden, um aus Pflanzentheilen die heilkräftigen Stoffe auszuziehen oder Extrakte zu machen. Dazu dient die Real'sche Presse (Fig. 64).

Es ist mnuo ein Zylinder von Glas, Porzellan oder Metall, am Boden ou ist ein Abzugsrohr a, welches durch einen Hahn s verschließbar ist, an dem abzuschraubenden Deckel mn befindet sich eine etwa 8 Fuß lange und nur etwa ½ Zoll weite Röhre ec, welche oben sich trichterförmig endigt und unten einen Hahn v besitzt. Innerhalb des Zylinders sind noch zwei siebartig durchbrochene Scheiben angebracht, die eine kk in der Nähe des Bodens, die andere rr darüber, so daß sie in verschiedenen Entfernungen von ihr gelegt werden kann. Das Ganze bringt man auf einem Gestelle an. Zwischen die beiden Scheiben kommt der Körper, aus welchem der Extrakt gemacht werden soll und durch den Trichter c wird die dazu nöthige Flüssigkeit, welche im Stande ist, sich mit dem auszuziehenden Stoffe zu verbinden, aufgegossen. Der Hahn v dient dazu, den Zufluß, der Hahn s den Abfluß nach dem Bedürfnisse zu bewirken oder zu hemmen. Aromatische Flüssigkeiten wird man von a aus sogleich in abgeschlossenen Gefäßen auffammeln.

Der lothrechte Druck nach oben.

Ist das Wasser einer horizontalen inneren Schicht in Ruhe, so ist dies eine Folge von zwei einander entgegengesetzt wirkenden Kräften: das über ihr befindliche Wasser drückt sie mit einem von ihrer Größe

und dem lothrechten Abstande vom Niveau abhängigen Gewichte herab, das unter ihr befindliche mit demselben Gewichte hinauf. Dieser Druck aufwärts folgt zwar schon aus der Fortpflanzung des empfangenen Druckes nach allen Richtungen, läßt sich aber auch durch einen Versuch leicht bestätigen.



(Fig. 65.)

Bei einer Gleichwage (Fig. 65) hängt an der einen Seite a mittelst eines Fadens eine mattgeschliffene Glasscheibe rr mit einem Häkchen e zum Befestigen des Fadens, an der anderen Seite c die Wageschale w, welche so beschwert ist, daß das Gleichgewicht hergestellt ist. Außerdem hat man einen offenen Glaszylinder, dessen unterer Rand gut abgeschliffen sein muß und noch ein Gefäß ss mit Wasser. — Hält man den Glaszylinder lose auf die Glasplatte und taucht diese Seite in's Wasser, so wird es nicht eindringen, weil die Platte durch dasselbe aufwärts gedrückt wird und zwar um so mehr, je tiefer das Eintauchen stattfindet. Man kann demnach von der Wageschale nach und nach Gewichte abnehmen, um das Gleichgewicht mit der Platte herzustellen. Hätte man aber keine Gewichte von w abgenommen, sondern in den Zylinder, während er eingesenkt ist, so viel Wasser gegossen, daß es in ihm so hoch steht, als außerhalb im Gefäße, so wäre durch den hierdurch von obenher auf die Platte erzeugten Druck, der von unten her aufgehoben und das Gleichgewicht wieder hergestellt.

Es läßt sich hierdurch bestätigen, daß der Druck einer Flüssigkeit nach oben für gleich dicke horizontale Schichten derselben abnimmt, wie die ganzen Zahlen in ihrer natürlichen Reihenfolge.

Hat man eine offene Röhre an dem einen Ende mit einer thierischen Blase verbunden, senkt man dieses Ende in's Wasser und verletzt man die Blase durch einen Nadelstich; so springt durch die Oeffnung ein um so höherer Wasserstrahl, je tiefer die Röhre eingetaucht ist.

Bekommt ein Schiff einen Leck, so strömt das Wasser mit um so größerer Gewalt in's Schiff, je tiefer unter dem Wasserspiegel die Beschädigung stattgefunden hat.

Wegen des starken Wasserdruckes müssen daher die Böden der Schiffe sehr stark konstruirt sein; ebenso die Schleußenböden und die tief liegenden Röhren von Wasserleitungen.

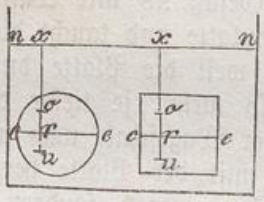
Der kartesianische Taucher kann nur dann tiefer sinken, wenn sein Gewicht zunimmt, weil in größerer Tiefe der Druck nach obenhin wächst.

Wenn Taucher auch nur in mäßig tiefen Stellen des Meeres, z. B. in einem Hafen, Arbeiten verrichten sollen, so werden sie mit einer an die Arme und Beine wasserdicht anschließenden Guttaperchabekleidung versehen, haben an den Stiefeln dicke Bleisohlen und be-

kommen einen über Kopf, Nacken und Brust reichenden Metallpanzer. Der Gegendruck des Wassers macht es möglich, daß sie ungeachtet dieser Last gegen 2 Stunden hintereinander arbeiten können, wobei ihnen natürlich fortwährend frische Luft zugepumpt wird.

Der Seitendruck.

Daß die Seitenwände eines eine Flüssigkeit absperrenden Gefäßes ebenfalls einen Druck erleiden müssen, ist nach den bisherigen Betrachtungen einem Zweifel nicht mehr unterworfen. Es ist nur noch die Größe dieses Druckes zu bestimmen.

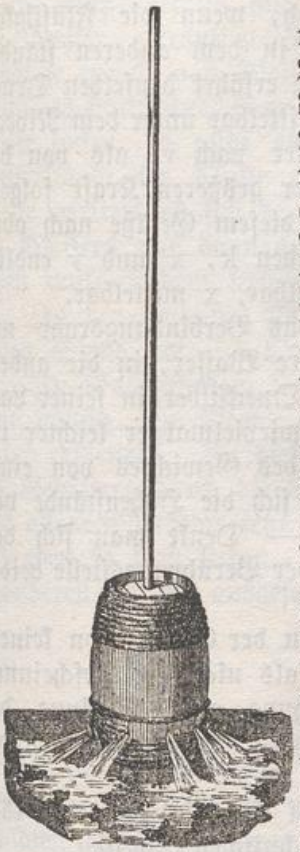


(Fig. 66.)

Denken wir uns in einem Gefäße mit lothrechten Seitenwänden (Fig. 66) zunächst einen Kreis oder ein Quadrat, von welchem zwei Seiten horizontal liegen mögen, in diesen Figuren die sie halbirende Linie ce und zu beiden Seiten derselben Paare von Punkten, wie o und u, welche in gleichen Entfernungen von der ce sich befinden; so wird der Punkt o weniger, der Punkt n aber mehr als r gedrückt, weil o von dem Niveau nn nur um ox, n aber um nx entfernt ist. Da dieses Mehr und Weniger aber gleich ist, so ist der Druck auf o und u zusammen so groß, als der doppelte Druck auf r oder es würde derselbe Gesammtdruck auf die drei Punkte o, r und u stattfinden, wenn die Fläche, in welcher sie liegen, sich um die ce gedreht hätte, bis sie horizontal liegt, also o, r, und u vom Niveau dieselbe Entfernung haben. Diese Betrachtung gilt von jedem denkbaren Paare von Punkten, welche eine solche Lage haben, also von den ganzen Ebenen. Für anders gestaltete Figuren müssen wir durch ihren Schwerpunkt horizontal gehende Linie denken, um diese Betrachtungen anzuwenden. Es wird demnach das hydrostatische Gesetz gelten:

> Der Druck einer Flüssigkeit auf irgend eine Stelle einer Seitenwand ist gleich dem Gewichte einer Säule dieser Flüssigkeit, welche die gedrückte Stelle zur Grundfläche und zur Höhe den Abstand ihres Schwerpunktes vom Niveau hat.

Dieses Gesetz bezieht sich auch auf den Boden eines Gefäßes, welcher nicht eine horizontale Lage hat.

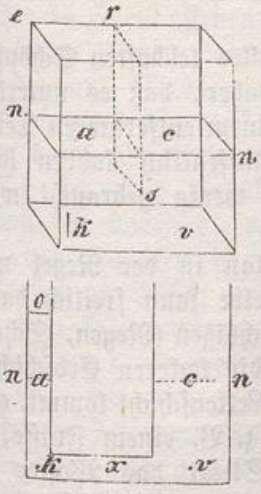


(Fig. 67.)

Es ist nothwendig, daß man die Schleußenthore bei Kanälen namentlich für einen hohen Wasserstand, sehr fest baue, weil sie einen bedeutenden Druck zu ertragen haben. Nehmen wir jeden der beiden Flügel nur 8 Fuß breit und 16 Fuß hoch an, so beträgt der Druck auf das ganze Thor 16.8.66 Pfund = 8448 Pfunde. Auch bei der Anlage von Dämmen muß dies berücksichtigt werden. Sind dieselben den Wellen sehr ausgesetzt, so müssen sie, wie an den Meeren, gegen das Wasser hin sehr flach geneigt sein, damit die Wellen unter möglichst kleinen Winkeln den Damm oder die Dünen treffen und nur eine geringe zerstörende Wirkung haben. — Löcher in den Dämmen, selbst wenn sie nur von Maulwürfen und Mäusen herrühren, müssen beseitigt werden, weil das Wasser, wenn es in dieselben eindringt, den Erdboden hebt. — Ebenso ist es mit den Schleußenboden, die man also dicht machen und sehr gut versichern muß.

Wenn man durch die Decke einer ganz festen mit Wasser gefüllten Tonne (Fig. 67) wasserdicht eine hohe Röhre gehen läßt, so wird beim allmähligen Anfüllen dieser Röhre die Tonne durch das Wasser endlich gesprengt.

Kommunizirende Gefäße.



(Fig. 68.)

Hat man ein Gefäß eu (Fig. 68) zum Theil mit Wasser gefüllt und schiebt man eine an die entgegengesetzten Wände sich gut anschließende Platte rs in das Gefäß und das Wasser, aber nicht ganz bis auf den Boden; so entstehen dadurch zwei Abtheilungen ak und cv, welche unterhalb mit einander noch in Verbindung oder Kommunikation stehen und man hat kommunizirende Gefäße, welches auch Röhren von gleicher oder ungleicher Weite sein können, wie es die Nebenzeichnung andeutet.

Unter allen Umständen steht bei kommunizirenden Gefäßen, wenn Ruhe eingetreten ist, eine bestimmte Flüssigkeit in gleicher Höhe oder die beiden Niveau's liegen in derselben horizontalen Ebene.

Das Gleichgewicht ist nämlich unmöglich, wenn die Flüssigkeit in dem einen Gefäße höher, z. B. bei o, als in dem anderen stände; denn ein Theilchen x in dem Verbindungskanale erfährt denselben Druck, als wenn es wie k oder v in gleicher Tiefe unmittelbar unter dem Niveau läge, es wird also von der Säule ok stärker nach v, als von der Säule cv nach k gedrückt und muß somit der größeren Kraft folgen, nach v hin sich bewegen und die Flüssigkeit in diesem Gefäße nach oben drücken, bis die in demselben Horizonte liegenden k, x und v endlich einen gleichen Druck erleiden, k und v unmittelbar, x mittelbar.

Wäre bei zwei kommunizirenden Röhren das Verbindungsrohr mit Quecksilber erfüllt, gösse man in die eine Röhre Wasser, in die andere absoluten Alkohol; so müßte letzterer, wenn das Quecksilber in seiner Lage bleiben sollte, sovielmal höher über ihm stehen, wievielmal er leichter ist, als Wasser. Da reiner Alkohol nur etwa $^4/_5$ des Gewichtes von einer eben so großen Wassermenge besitzt, so müßten sich die Höhenstände von Wasser und Alkohol wie 4 zu 5 verhalten. — Denkt man sich das Quecksilber fort, so sind diese Höhenstände von der Berührungsstelle beider Flüssigkeiten an zu rechnen.

In allen diesen Betrachtungen ist die Form der Gefäße von keinem Einflusse und ihre Weite so lange auch nicht, als nicht die Erscheinung der Haarröhrchen eintritt, welche eine Erhöhung oder Senkung der darin befindlichen Flüssigkeiten erzeugt, jenachdem Adhäsion stattfindet oder nicht.

Diese Gesetze finden wir sowohl in vielen Erscheinungen des täglichen Lebens, als auch bei Vorrichtungen zu technischen Zwecken.

In den Gießkannen und den ähnlich gestalteten Theekannen steht die Flüssigkeit im Abgußkanale ebenso hoch als im Hauptgefäße, was zu berücksichtigen ist, wenn man ein dergleichen Geräth anfertigen und es gebrauchen will, ohne überzugießen.

Wenn das Wasser in Brunnen ungeachtet alles lebhaften Schöpfens immer dieselbe Höhe behält, so rührt das nur daher, daß es unterhalb in guter Verbindung mit einem Wasserbehälter (einem entfernteren Teiche, Flusse u. s. w.) steht, dessen Stand sich nicht wesentlich ändern kann, wenn auch von ihm etwas und verhältnißmäßig wenig gebraucht wird. Solche Brunnen nennt man Standbrunnen.

In Niederungen mit losem Boden darf man in der Regel nicht tief graben, um auf Wasser zu kommen. Dasselbe kann freilich davon herrühren, daß das aus den atmosphärischen Niederschlägen (Regen, Schnee, Nebel, Thau, Reif) sich ergebende Wasser durch die lockeren Erdschichten sickert, bis es auf eine undurchlassende Lehm- oder Lettenschicht kommt, aber es kann auch mit einem benachbarten Gewässer, z. B. einem Flusse, in mehr oder minder guter Verbindung stehen. Steigt das Wasser im Flusse, so steigt es auch an jenem Orte, bei lockerem Boden schnell, bei festerem langsam; in letzterem Falle kann es sogar noch steigen, während

es im Flusse bereits fällt, weil es noch von den höheren Stellen des mit Wasser getränkten Erdreiches herabkommt. In den Kellern der Gebäude nennt man Wasser, für dessen Erscheinen die angegebene Veranlassung stattfindet, Grundwasser. Ist der Erdboden bis zum nächsten Flusse locker, so nützt alles Auspumpen des Wassers bei noch höherem Wasserstande im Flusse gar nicht; beim Abnehmen der Wasserhöhe im Flusse verliert es sich dann im Keller von selbst, so daß das Auspumpen des Wassers nur dann angemessen und nothwendig ist, wenn der Erdboden zwischen dem Keller und Flusse das Wasser nicht gut durchläßt.

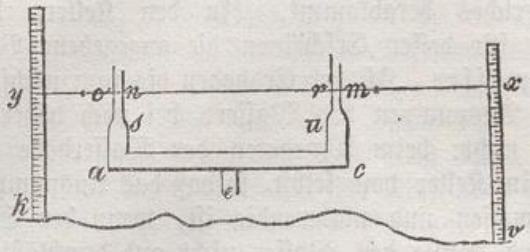
In den einfachen Studirlampen hat das Oel im Brennzylinder denselben Stand, wie im Oelgefäße.

In Gasanstalten, Brennereien, chemischen Laboratorien u. s. w. will man häufig den Stand der Flüssigkeit in einem undurchsichtigen Behälter ermitteln. Zu diesem Zwecke läßt man von dem untersten Theile des Behälters durch die Wand eine Röhre gehen, auf die man lothrecht eine offene Glasröhre setzt. In dieser äußeren Glasröhre wird die Flüssigkeit eben so hoch stehen, wie innerhalb, wenn sie hier nicht etwa einem besonderen Drucke ausgesetzt sind. Dies sind die Standmesser.

Das Nivelliren.

Will man Straßen, Eisenbahnen, Kanäle, Einrichtungen zum Drainiren, zur Berieselung von Wiesen und Feldern, offene Gerinne, in Städten Wasserleitungen u. A. anlegen; so kommt es darauf an, zu wissen, ob ein gewisser Punkt mit einem zweiten, oft sehr weit entfernten in demselben Horizonte liegt oder nicht, und wenn nicht, ob der zweite höher und tiefer sich befindet und um wie viel. Man wird z. B. Wasser in einem offenen Gerinne von dem Punkte a bis zu dem Punkte b nicht leiten können, wenn b mit a in demselben Horizont oder höher liegt. Für die auf Straßen und Eisenbahnen zu verwendenden Kräfte darf der Weg nicht allzusteil in die Höhe gehn; worüber bestimmte, auf Gesetzen beruhende Erfahrungen vorliegen. In geschlossenen Röhren läßt Wasser sich über Anhöhen leiten, wenn sie niedriger liegen als das Niveau des Wassers, von welchem die Röhren ausgehen; für die Anlage von Kanälen ist es wichtig, invoraus die Menge der nöthigen Schleußen zu wissen und so sehen wir, daß die Beantwortung der Frage nach dem Höhenunterschiede oder der relativen Höhe zweier Punkte von der größten praktischen Wichtigkeit ist.

Für alle diese Zwecke ist die Kanalwage geeignet und da das Verfahren bei ihrer Anwendung das Nivelliren heißt, so wird sie auch Nivellirwage genannt. Auf eine Blechröhre ac (Fig. 69), deren Enden rechtwinklig umgebogen sind, kittet man zwei Glaszylindrr ns und ru, welche etwa die Weite von Lampenzylindern haben oder selbst solche



(Fig. 69)

sein können; und versieht die Mitte der Blechröhre mit einer Kapsel e, um sie dadurch auf ein Gestell mit drei Füßen zu stellen. Ist nun in diese kommunizirenden Röhren so viel Wasser gegossen, daß es bei ungefähr horizontaler Lage von a c in den Gläsern bis etwa an die Mitte reicht; so ist es leicht bei ruhigem Wasserstande horizontaler Linien abzustecken, zu untersuchen, um wie viel ein Punkt höher oder tiefer liegt, als ein zweiter (welche Neigung oder welches Gefälle vorhanden ist) und auch auf gewisse Entfernungen ein gewisses Gefälle oder eine gewisse Steigung herborzubringen.

Hat man das Instrument vor sich und sieht man von o aus grade über das Niveau n so, daß auch das andere Niveau r in der Seh- und Visirlinie liegt; so sieht man in einer horizontalen Linie und trifft man mit dieser Linie auf einen Punkt x eines in v lothrecht aufgestellten Maaßstabes, einer sog. Nivellirlatte, so liegt auch x in dieser horizontalen Linie. Stellt man sich, indem das Instrument stehen bleibt, mit dem Auge nach m und sieht über die Niveaus r und n nach dem Punkte y des jetzt in k aufgestellten Maßstabes, so liegt auch y mit n r, also auch mit x in derselben horizontalen Linie.

Um recht genau horizontal zu sehen, ist bei sehr guten Instrumenten ein Fernrohr mit Fadenkreuz oder es sind wenigstens Dioptern oder Schwimmer mit gleich hoch überragenden Plättchen angebracht. An den Nivellirlatten sind durch eine Schnur verschiebbare Tafeln mit schwarzweißen Abtheilungen zum sicheren Einstellen durch ein dem Gehilfen gegebenes Signal vorhanden. Beobachtet man mit Libellen und den Fernröhren, so ist die Tafel nicht nothwendig, und man liest selbst auf dem Maßstabe ab.

Stände bei x auf dem Maßstabe die Zahl 8 Fuß, bei y die Zahl 6 Fuß, so liegt der Fußpunkt v um 2 Fuß tiefer, als der Fußpunkt k. Wollte man also von k aus eine horizontale Linie haben, so müßte man nach v hin um 2 Fuß erhöhen; wollte man aber von v aus die horizontale Richtung haben, so müßte man bei k 2 Fuß abtragen, wie es namentlich bei der Anlage von Eisenbahnen sehr häufig vorkommt.

Hätte man die Absicht in einem offenen Gerinne das Wasser von k bis v zu leiten, so würde dies unmittelbar ausführbar sein, wenn zwischen k und v Erhöhungen nicht mehr vorhanden wären; wären dergleichen da, so müßte man sie abtragen.

Betrüge die horizontale Entfernung von k nach v 30 Ruthen, so

wäre also das Gefälle auf 30 Ruthen 2 Zoll. Man pflegt die Größe des Gefälles durch einen Bruch auszudrücken, dessen Nenner die horizontale Entfernung der beiden Endpunkte und dessen Zähler der Abstand der durch sie gelegten horizontalen Ebenen ist, nachdem man beide in derselben Maßsorte ausgedrückt hat. In diesem Beispiele wäre es also $^2/_{30 \cdot 12 \cdot 12} = {}^2/_{4320}$ oder $^1/_{2160}$. Meistens nimmt man jedoch ein- für allemal 100 Ruthen als horizontale Entfernung. Die Steigung ist natürlich immer gleich dem Gefälle.

Es ist natürlich, daß man bei großen Entfernungen der Punkte x und y und sehr unebener Gegend dazwischen das Instrument wiederholt wird aufstellen müssen. Bei der Wahl von Eisenbahnlinien ist ein Vornivellement erforderlich, um die Höhenunterschiede der ausgezeichnet hoch und tief liegenden Punkte zu bestimmen.

Wollte man Wasser in Röhren über Unebenheiten leiten, so müßte vor Allem ermittelt werden, ob der höchste Punkt noch tiefer liegt, als das Niveau des Behälters, von welchem die Röhren mit Wasser versorgt werden. Ist es nicht der Fall, so muß der Plan aufgegeben oder die Leitung tiefer angelegt werden.

Berieselung.

Pflanzen können weder beim Mangel noch beim Ueberflusse von Wasser gedeihen, sondern nur, wenn der Erdboden mäßig feucht erhalten wird. Bewässerung und Entwässerung sind also für die Landeskultur von unendlicher Wichtigkeit.

Haben Aecker und Wiesen einen die Feuchtigkeit sehr leicht durchlassenden Untergrund, so trocknen sie bei Regenmangel bald aus und die Vegetation stirbt ab. In diesem Falle muß man eine Berieselung anzubringen suchen, d. h. man leitet aus höher gelegenen Wasserbehältern in offenen, zuerst weiteren und von ihnen in engeren Verzweigungen auslaufenden Gerinnen mit geringem Gefälle das Wasser an die gewünschten Stellen. Diese Gerinne müssen an den höher gelegenen Borten des Ackers oder der Wiese liegen und sich von da aus in schrägen Aesten abwärts verbreiten, damit die Bewässerung von den höheren Punkten aus sich gleichmäßig entwickele. Ein zu starker Zufluß muß zeitweise durch Absperrung gehemmt werden. Da, wo ein natürlicher Wasservorrath an den höheren Punkten nicht ist, oder durch offene Gerinne hingebracht werden kann, sollte man, wenn irgend möglich, durch Windmühlenpumpen, welche sehr einfach gebaut sind, das Wasser heraufschaffen. Der Ertrag lohnt auf's reichlichste die Anlagekosten.

Drainirung.

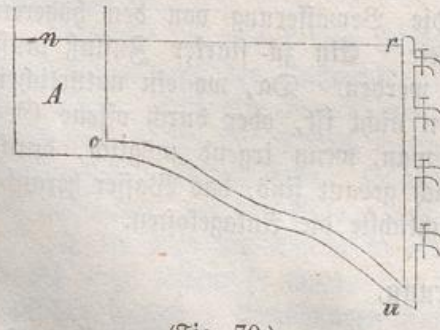
Die Entwässerung könnte zwar auch durch offene Abzugsgräben geschehen, wenn nur das nöthige Gefälle vorhanden ist, aber durch tief

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einschneidende Gräben verliert man nicht nur an nutzbarer Oberfläche, sondern erschwert sich auch die Bewirthschaftung. Ist ein das Wasser nicht durchlassender Untergrund (Lehm, Letten) vorhanden, so sammelt sich über ihm sowohl das durchsickernde Regenwasser, als auch das aus höher gelegenen Orten, selbst aus größeren Behältern herabkommende Gewässer und man hat fortwährend im Untergrunde Wasser, Grundwasser, welches durch die Kapillaranziehung nach oben dringt und den Erdboden fortwährend übermäßig naß erhält, so daß nicht nur die Bäume eingehen, wenn sie mit den Wurzeln etwas tiefer kommen, sondern auch andere Pflanzen gar nicht oder nur kümmerlich wachsen. Liegt in einem solchen Falle unter der das Wasser tragenden Schicht, eine mächtigere Sandschicht, so kann man erstere an einer Menge von Stellen durchbohren, und das Wasser fließt nach der letzteren ab. Dieses Verfahren ist aber theils nicht nachhaltig, theils unsicher und daher wendet man das Drainiren an. Man legt nämlich in einer Tiefe von mindestens 4 Fuß parallele Reihen von Röhren aus gebranntem Thone mit einem sehr mäßigen Gefälle, und läßt diese Stränge in weitere Sammelröhren (Sammeldrain) münden, die es weiter fortführen. — Auf diese Weise kann das Grundwasser höchstens nur bis zu den Drainröhren emporsteigen und der Erdboden darüber wird von der übermäßigen Nässe befreit und auch frei erhalten, ohne daß er durch das abfließende Wasser ausgetrocknet werden könnte.

Wasserleitungen.

In den Wasserleitungen zum häuslichen Gebrauche kommt natürlich ebenfalls das Princip der kommunizirenden Röhren in Anwendung. Sind die Höhen in den Häusern bestimmt, bis zu welchen das Wasser gelangen soll, so muß man entweder natürliche Wasserbehälter aufsuchen, deren Niveau mindestens diese Höhe hat, oder man muß das Wasser durch kräftige Maschinen, namentlich Dampfmaschinen, bis zu dieser Höhe heben oder drücken, und dann durch geschlossene Röhren weiter leiten.



(Fig. 70.)

Von der Sohle des Vorrathsbeckens A (Fig. 70) aus können die Ableitungsröhren o u in beliebiger Richtung ab- und aufwärts gehen, wenn nur die höchsten Punkte noch unter dem Niveau n r des Beckens liegen, bis sie endlich in den Gebäuden aufwärts geleitet werden und in den verschiedenen Stockwerken die mit Hähnen abzusperrenden Seitenröhren a, b, c, d haben. Der Seitendruck in der Steigröhre B nimmt natürlich von unten

nach oben ab und daher strömt das Wasser aus den unteren Röhren mit einer größeren Geschindigkeit, als aus den oberen. Es ist natürlich, daß die in dem Wasser enthaltene Luft bei der Erwärmung des Wassers in Gebäuden in den Röhren emporsteigt, sich in deren höchsten Stellen ansammelt und beim Oeffnen eines Hahnes zuerst und oft gleichzeitig mit dem Wasser herausströmt.

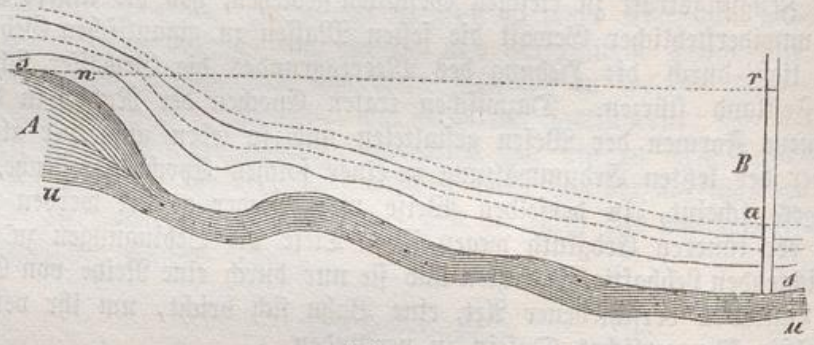
Artesische Brunnen.

Unser Erdkörper hat seit der Zeit, als er sich in seinem feuerflüssigen Zustande kugelförmig gestalten konnte, bis jetzt nachweislich drei großartige Zerstörungs- und Erneuerungsperioden durchzumachen gehabt. Nachdem die Erdrinde sich schon so bedeutend abgekühlt und das Flüssige von dem Festen sich gesondert hatte, daß organische Wesen mit urmächtiger Zeugungskraft zu riesigen Gestalten gediehen, hob die innere Gluth mit unwiderstehlicher Gewalt die festen Massen zu gigantischen Gebirgen und ließ durch die Hebung des Meeresgrundes die Gewässer sich auf das Festland stürzen. Dazwischen traten Epochen der Ruhe, in denen sich neue Formen der Wesen gestalteten und so leben auch wir als die Kinder der letzten Erdumwälzung in einer solchen Epoche der Ruhe, die, wie es scheint, in derselben Weise nicht wieder gestört werden wird, weil der inneren Erdgluth wegen ihrer Tiefe die Bedingungen zu einer vernichtenden Lebhaftigkeit fehlen und sie nur durch eine Reihe von Essen, den Vulkanen verschiedener Art, eine Bahn sich bricht, um ihr verhältnißmäßig kümmerliches Dasein zu verkünden.

Durch jede der wiederholten Ueberfluthungen der Erdrinde haben sich Schichten von den grade im Wasser aufgelösten oder mit ihm fortgeführten Massen gebildet, die ohne eine neue Erhebung ohne Ausnahme horizontal gelagert sein würden, wie wir es an den jüngsten Schichtungen in der That erkennen; die aber, insofern sie älteren Epochen und den aus inneren Erhebungen entstandenen Gebirgsbildungen angehören, gegen den Horizont eine geneigte Lage haben müssen. Es darf uns nicht in Verwunderung setzen, daß der Granit, diese Urgebirgsmasse, also eigentlich die unterste, auf den Gipfeln der Gebirge sich vorfindet, daß ferner die Schichtungen rings um einen Berg aufsteigen und sich wie ein Mantel um ihn gelagert haben und daß endlich diese Schichten durchbrochen und zerklüftet sein müssen, wodurch die sogenannten Gänge, in denen sich oft die herrlichsten Krystalle durch Sublimation gebildet haben, entstanden sind; denn sowie die horizontalen Schichten von unten gehoben und genöthigt wurden, einen größeren Flächenraum um den auf derselben Grundfläche gebildeten Berg einzunehmen, so mußten sie zerklusten.

Die verschiedenen Schichten sind nun entweder so lose, wie der kultivirte Boden, der Sand, loses Steingeroll oder selbst Sandstein, daß

sie das Wasser durchlassen, oder sie sind so fest, wie Lehm, Letten, Felsen verschiedener Art, daß sie das Wasser zurückhalten. Wenn nun in den Gebirgen, wo die wässerigen Niederschläge aus der Atmosphäre sich besonders häufig bilden, das Wasser durch die losen Schichten und inneren Spalten tiefer dringt; so sammelt es sich theils in offenen Becken, theils in unterirdischen Höhlen oft in bedeutenden Massen an. Diese offenen oder bedeckten Gebirgsseen haben bisweilen keine unterirdischen Abflüsse, bisweilen aber stehen sie mit tiefer liegenden durchlassenden und von den Gebirgen aus weit in's Land sich verbreitenden Schichten in Verbindung, werden aber oberhalb von undurchlassenden bedeckt. Im letzten Falle reichen diese Bedeckungen häufig zwar auf große Strecken, hören aber endlich auf und an solchen Stellen brechen dann mächtige Quellflüsse hervor oder es entstehen große Seen, wie in den nordamerikanischen Freistaaten.



(Fig. 71.)

Wenn nun (Fig. 71) A ein solcher unterirdischer und hochgelegener Wasserbehälter ist, von seiner Sohle an eine wasserhaltige Schicht zwischen zwei undurchlassenden u u und s s abwärts geht, wobei letztere noch von einer ganzen Menge verschiedener Schichten bedeckt sein kann und man bohrt von der Erdoberfläche bei a an durch die oberen Schichten bis man durch die letzte s s über dem Wasser gekommen ist; so dringt es aus dem Bohrloche mit um so größerer Heftigkeit, je höher das Niveau des A liegt. Bringt man bei a Ansatzröhren an, so läßt sich die Höhe des Niveaus n von A bestimmen, weil es in dieser Röhre bis zu derselben Höhe r steigt.

Mündet die Röhre bei a oder überhaupt unterhalb r, so springt ein Wasserstrahl aufwärts und man hat einen natürlichen Springbrunnen, wie z. B. der zu Grenelle bei Paris, welcher einen 50 Fuß hohen Wasserstrahl gibt.

Beim Anlegen dieser Brunnen verfährt man anfänglich wie bei gewöhnlichen Brunnen. Man gräbt nämlich ein rundes Loch aus, setzt in dasselbe einen Kranz von doppelten Bohlen, mauert auf diesen bis über die Erdoberfläche so weit man bequem reichen kann, dann schafft

man den Erdboden oder den Sand ringsum unter dem Kranze nach und nach fort, wodurch er mit seinem Mauerwerke sinkt, so daß man wieder aufmauern kann. Dieses Verfahren wiederholt man so lange, als das Mauerwerk beim Herabsinken durch die Reibung an den Wänden der Oeffnung noch nicht leidet oder hört auch damit schon früher auf. Dann wird von der Mitte der Sohle mittelst eines Erdbohrers ein Loch gebohrt und, wenn der Boden lose ist, sogleich eine Gußeisenröhre hineingetrieben; ist der Boden fest, so kann man tiefer bohren und das Eintreiben des Rohres später vornehmen. Das Rohr darf aber nicht durch Rammen hinabgeschlagen werden, weil es leicht springen würde, sondern man muß kräftig wirkende Schrauben anwenden, wobei selbst noch große Vorsicht angewendet werden muß. Wesentlich ist, daß das Loch absolut lothrecht gebohrt werde, weil jede Abweichung die spätere Arbeit bei größerer Tiefe unmöglich macht. Sind die Tiefen, bis zu welchen man ein Rohr eingetrieben hat und somit auch die Reibung sehr bedeutend, so kann man in das erste weite Rohr ein zweites engeres schieben, und in diesem weiter bohren. Kommt man auf Gestein, so muß dies mit excentrischen Stahlbohrern durchbrochen werden, damit für die Röhre eine hinreichend weite Oeffnung gewonnen werde.

Ist man endlich auf den Springquell gekommen, so stürzt das Wasser aus dem Bohrloche bisweilen mit solcher Heftigkeit hervor, daß die Arbeiter kaum Zeit haben sich aus dem Brunnenschachte vor dem Ertrinken zu retten.

Der ungeheure Wasserdruck auf die Wände des Bohrloches macht es auch nothwendig, daß dasselbe ausgefüttert werde, weil sonst selbst der festere Lettenboden abgespült würde, wodurch man, wie z. B. an dem Reformaten-Fort der Festung Posen, fortwährend sehr getrübtes Wasser erhielte, oder Gefahr liefe, daß das Bohrloch bis zum Einsturz des seine Mündung umgebenden Erdbodens ausgespült wurde, was meines Wissens bereits schon einmal vorgekommen ist, so daß eine Mühle, welche durch das Bohrwasser getrieben wurde, verschwand und an ihrer Stelle ein ungeheuer tiefes Wasserloch entstand. — In Posen hat man einem solchen Unglücke dadurch vorgebeugt, daß man auf die Sohle des ausgemauerten Brunnens eine Menge Steingruß und scharfen Kiessand gethan hat, wodurch nächst der Wassermasse im gemauerten Brunnen die Kraft des aufsteigenden Wassers gebrochen und es zugleich geklärt wurde.

Außerhalb dieses Festungswerkes in einer Entfernung von etwa 400 Schritten ist später ein artesischer Brunnen mit eingetriebenem Rohre angelegt worden, welcher vollkommen klares Wasser gibt. Aber in dem benachbarten Rochus-Fort hat man bereits seit dem Jahre 1839 fortwährend hellbraunes Wasser, weil es durch Braunkohlenlager geht, deren mehre sogar auch durchbohrt worden sind. Man kann bei diesem Brunnen das Rohr nicht tiefer bis zu der wohl auch dort vorhandenen

weißen Quelle treiben, weil es bei dem Eintreiben durch eine Schraube mit einer Wirkung von etwa 80,000 Pfunden einen schiefen Sprung in einer Tiefe von mehr als 200′ bekommen und man den oberen Theil schon etwas über diese Stelle schräge fortgetrieben hat. Hier steigt das Wasser in den Ansatzröhren über der Hoffohle zu 32 Fuß Höhe.

Die artesischen Brunnen haben den großen Vorzug einer zu keiner Jahreszeit versagenden bedeutenden Wassermenge, so daß dadurch verschiedene Maschinen in Zuckersiedereien, Brennereien, Brauereien, Färbereien, Eisenwerken betrieben werden können, z. B. im Dorfe Hemmerde treiben mehre Bohrbrunnen 2 Mühlen, deren jede in 1 Sekunde 3 Kubikfuß Wasser verbraucht; bei Königsborn unweit Unna werden die Salinenwerke großentheils durch Bohrwasser betrieben.

Von unendlichem Nutzen sind die von den Franzosen in den Provinzen Algier und Konstantine angelegten äußerst ergiebigen Brunnen für die Landeskultur. — Die früher fast ganz wasserlose und unfruchtbare Gegend zwischen den Kreidehügeln von Louth in England und der Meeresküste ist jetzt durch viele mehre Fuß hoch gehende Brunnen bewässert.

Einen anderen Nutzen gewähren artesische Brunnen, wenn man auf Wasser kommt, welches über Salzlager gegangen ist und sich mit Salz ziemlich gesättigt hat. So ist man z. B. bei Preußisch Minden in einer Tiefe von 2219,5 Fuß auf eine Salzsoole gekommen, die sogar 1994 Fuß unter dem Meeresspiegel liegt.

Vor vier Jahren haben die Nordamerikaner dergleichen Bohrungen angewendet, um das Petroleum, womit jetzt ganz Europa versorgt wird, in größeren Massen zu gewinnen.

Zu Warmbrunn am Riesengebirge hat man mit außerordentlicher Mühe ein Bohrloch durch Felsen getrieben, um eine ergiebigere Schwefelquelle zum Gebrauche für die Bäder zu erhalten und hat seinen Zweck vollständig erreicht.

Weil die Temperatur des Wassers mit wachsender Tiefe zunimmt (bei 90—100 Fuß um 1 °C.), so ist es auch schon zum Beheizen gebraucht worden, wie z. B. in einer Papierfabrik bei Heilbronn. Das Wasser des Brunnens von Grenelle, welches aus einer Tiefe von 1784′ kommt und 50 Fuß über die Oberfläche steigt, hat eine Temperatur von 24 °R. Die ganze Vorstadt St. Germain wird täglich mit 100000 Kubikfuß Wasser versorgt.

Die Bedingungen für das Auffinden artesischer Quellen sind in der Nähe von Gebirgen eher vorhanden, wie z. B. im nördlichen Italien in der Nähe der Appenninen und der Alpen, als in sehr großer Entfernung von ihnen. Trifft man, ohne eine Quelle erhalten zu haben, auf Urgebirgsarten, auf Granite, Dioriten und andere vulkanische Gebilde, wie Lava; so muß man die Arbeit unbedingt aufgeben. Die Unterlage der Quellen müssen Urgebirgsmassen, feste jüngere Felsarten

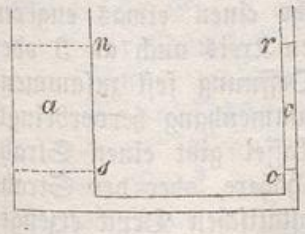
oder wasserdichte Erdarten, wie eisenschüssiger Mergel und Thon sein. Je häufiger die aufgelagerten Schichten mit Thon und Mergel wechseln, desto wahrscheinlicher ist der Erfolg. In großen Entfernungen von den Gebirgen wird man in der Regel viel tiefer bohren müssen, als in deren Nähe, weil dort sich das Erdreich mit seinen Schichten gesenkt hat, während die Gebirge durch Erhebung von Innen sich bildeten.

Diese Brunnen werden zwar allgemein nach der ehemaligen französischen Grafschaft Artois artesische genannt, sie sollten aber eigentlich chinesische heißen, weil dieses unermüdlich fleißige Volk sie weit früher schon angelegt hat, freilich unendlich viel mühsamer mit ihren Seilbohrern, als wir mit den Stangenbohren.

In der Gegend von Kia-ting-fu unter 101,5 Grad östlicher Länge von Paris und 29,5 Grad nördlicher Breite sind auf einer Strecke von etwa 10 französischen Meilen Länge und 5 Meilen Breite über 2000 solcher Brunnen, welche man auch Feuerbrunnen nennt, weil aus ihnen eine Menge Schwefelwasserstoff aufsteigt, welches zum Heizen der Pfannen mit dem Salzwasser benutzt wird. — Man senkt durch die 3 bis 4 Fuß hohe Erdschicht eine hölzerne Röhre von 5 bis 6 Zoll Durchmesser, legt obenauf eine Steinplatte mit entsprechender Oeffnung, läßt hinein einen Felsenbohrer von 300 bis 400 Pfund Gewicht, welcher kronenartig krenelirt und oben ausgehöhlt ist, vermittelst einer Hebelvorrichtung immer etwa aus einer Höhe von 2 Fuß fallen, indem man in das Loch von Zeit zu Zeit Wasser gießt, um die zermalmte Masse in einen Brei zu verwandeln und sie dann mit dem Bohrer herauszuziehen. Das Seil aus Rohr ist zwar nur fingerdick, aber so haltbar, als unsere Darmseiten.

Es ist erklärlich, daß eine solche Arbeit wenigstens 3 Jahre in Anspruch nimmt, wenn auch ununterbrochen gearbeitet wird, denn im günstigsten Falle bringt man in 24 Stunden 2 Fuß zustande und wenn der Ring des Bohrers abbricht, so bedarf es einer Arbeit von 5 bis 6 Monaten, um den alten Bohrer mittelst neuer Widderköpfe zu zermalmen.

Der hydrodynamische Springbrunnen.



(Fig. 72.)

Denkt man sich von zwei kommunizirenden Gefäßen a und c (Fig. 72), in welchen eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, in gleichem Niveau n und r steht, das eine bei o plötzlich abgekürzt; so wird das Wasser der Schicht o von der Wassersäule ns, welche in dem anderen Gefäße über dem Niveau von o liegt, mit einer solchen Kraft aufwärts gedrückt, daß es, wäre die Röhre vorhanden, in ihr bis zum Niveau im anderen Gefäße steigen würde; nun aber die Röhre nicht vorhanden ist, wenigstens das Bestreben in einem frei aufsteigenden Strahle zeigt. Wenn auch das

Niveau in dem Gefäße in gleicher Höhe erhalten wird, so kann der Springstrahl doch nicht seine Höhe erreichen, denn das Wasser findet einen Widerstand bei seiner Bewegung 1) an den Gefäß- und Röhrenwänden und zwar einen um so größeren, je enger und je länger sie sind, 2) an den Wänden der Ausflußöffnung, 3) an der Luft und 4) reißen die bereits abwärts gehenden Wassertheile die noch im Aufsteigen begriffenen zum Theil mit herab.

Je mehr diese Widerstände vermindert werden, desto höher hinauf geht der Strahl. Dieses wird geschehen, 1) wenn sowohl der Wasserbehälter, als auch das Zuflußrohr bis zur Springöffnung eine hinreichende Weite hat, wobei das Zuleitungsrohr desto weiter sein muß, je länger es ist; 2) wenn viele und starke Krümmungen in diesem Rohre möglichst vermieden werden; 3) wenn man die Reibung an der Ausflußmündung möglichst vermeidet, sie also in einer nur dünnen Metallwand anbringt, was allerdings mehr oder minder den Uebelstand mit sich bringt, daß das Wasser sich eher zertheilt, als daß es einen glatten Strahl hervorbringt; 4) wenn man den Strahl im Verhältnisse zu der Zuflußmenge des Wassers nicht zu dick werden läßt; 5) wenn man ihn einwenig von der lothrechten Lage ableitet.

Da sich das Wasser an allen Kantentheilen der Ausflußöffnung stößt, so verengt sich bei einer kreisrunden Oeffnung in einer Platte der Strahl kegelförmig. Bringt man ein dieser Verengung entsprechendes kegelförmiges Ansatzrohr an, so erreicht man eine größere Höhe, als durch ein zylindrisches und erhält einen glatten Wasserstrahl. Die Geschwindigkeit des mittelsten Wasserkernes wird durch das von den Wänden des Rohres zurückgeworfene Wasser vermehrt, indem die bewegten Wassertheilchen einander unter einem spitzen Winkel treffen und nach derselben Gegend sich bewegen.

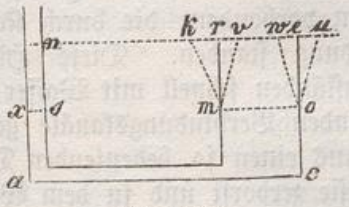
Um bei einem gewissen Durchmesser des Strahles die Wassermenge zu vermindern, kann man den Strahl hohl machen, indem man entweder in die Deckplatte des Ausflußrohres einen mehr oder minder breiten kreisförmigen Spalt einschneidet, wobei der undurchbrochene innere Kreis an 3 oder 4 Stellen mit dem äußeren im Zusammenhange bleiben muß, oder man steckt in ein zylindrisches Ausflußrohr einen etwas engeren massiven Kegel mit der Spitze nach unten, dessen Kreis auch an 3 oder 4 Stellen mit dem Rande der kreisförmigen Oeffnung fest zusammenhängt, wenn man nicht etwa unten einen Zusammenhang hervorbringt.

Die Fontaine an der Wilhelmshöhe bei Kassel gibt einen Strahl von 80 bis 90 Fuß Höhe. Es gibt wohl noch höhere, aber der Strahl derselben ist nicht immer blos durch den hydrostatischen Druck erzeugt.

Daß die Ausflußmündungen mancherlei Gestalt haben können, um verschiedene Figuren herzustellen, versteht sich von selbst. — Es lassen sich noch mancherlei angenehme Abwechselungen und Spielereien anbringen; man kann z. B. durch viele kleine Oeffnungen ein Garbenbündel von

feinen Strahlen erzeugen, mehre dergleichen neben einander von verschiedener Richtung anlegen; das Wasser glockenförmig sich gestalten lassen, indem es durch einen kreisförmigen, nach unten gerichteten Spalt ausläuft; bei kleinen einfachen Strahlen kann man um die Mündung des Rohres einen etwas breiteren Drahtkorb anbringen, so daß eine hohle Metallkugel, welche man hineinwirft, von dem Strahle getragen und oft längere Zeit schwebend erhalten wird, bis sie wieder in den Korb fällt, nach seiner tiefsten Stelle in der Mitte rollt und aufsneue durch den Strahl sich tragen läßt. Von den eine Drehung hervorbringenden Reaktionserscheinungen werden wir später im Zusammenhange sprechen.

Das hydrodynamische Gesetz.



(Fig. 73.)

Ist in zwei kommunizirenden Gefäßen na und rc (Fig. 73) eine Flüssigkeit in Ruhe oder befinden sich die beiden Niveaus in derselben Horizontalebene, so wird jede innerhalb befindliche horizontale Schicht, wie z. B. mo von zwei Kräften im Gleichgewichte erhalten: von der Flüssigkeitssäule moer über mo wird ein Druck nach unten ausgeübt und von der Flüssigkeit unter mo ein eben so großer Druck nach oben, gleichgiltig, ob sich das Gefäß nach unten verengt oder erweitert, gleichgiltig, ob das in Verbindung stehende Gefäß weiter oder enger ist, denn der aufwärts gerichtete Druck jedes Theilchens unter mo richtet sich nur nach der Höhe der Säule ns, welche in dem anderen Gefäße über ihrem Niveau liegt. Die ganze Flüssigkeit zwischen xaco dient nur dazu, sich selbst im Gleichgewichte zu erhalten und den Druck der Säule ns fortzupflanzen.

Wird also statt der Schicht mo ein Verschluß durch einen festen Körper angebracht, und somit die Säule ro außer Wirksamkeit gesetzt; so hat dieser Verschluß nur noch einen Druck nach oben zu ertragen. Dieser einseitige Druck wird unter allen Umständen durch das hydrodynamische Gesetz angegeben, welches sagt:

> der Druck ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, welche die den Verschluß berührende Schicht zur Grundfläche und ihre lothrechte Entfernung vom Niveau im anderen Gefäße zur Höhe hat.

Der Druck auf die Schicht mo sowohl nach unten als auch nach oben kann durch verschiedene Mengen von Flüssigkeiten bewirkt werden. Satt eines Gefäßes von gleicher Weite mit mo kann ein nach oben sich erweiterndes kmou oder ein sich verengendes vmouw aufgesetzt werden, wobei der Druck auf mo sich nicht ändert, wenn nur der Höhenstand des Niveaus in allen Fällen derselbe ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Druck nach oben wird also nicht geändert, wie auch die Form und Größe des Gefäßes sn beschaffen sein mag, wenn nur auch die Höhe des Niveaus in ihm sich nicht ändert. Man kann demnach mit wenigem Wasser in einer engen langen Röhre auf einen Deckel, welcher ein kurzes und weites damit kommunizirendes Gefäß verschließt, einen sehr großen Gesammtdruck ausüben. Dies ist das hydrodynamische Paradoxon.

Verhielten sich die Durchmesser zweier Röhren wie 1 zu 10, also ihre Querschnitte wie 1 zu 100, so würde ein Druck von 50 Pfunden auf sx einen von $100 . 50 = 5000$ auf mo geben was ein unstreitig sehr bedeutender Erfolg mit geringen Mitteln ist.

Es ist daher nicht selten vorgekommen, daß plötzlich statt fruchtbaren Erdbodens tiefe Seen und Teiche entstanden sind. In solchen Fällen waren unter dem Erdboden Höhlen vorhanden, die durch Kanäle mit höher gelegenen Orten in Verbindung standen. Diese Höhlen füllten sich nach und nach oder unter Umständen schnell mit Wasser und wenn nun auch noch die nach oben gehenden Verbindungskanäle gefüllt wurden, so übte das Wasser von diesen aus einen so bedeutenden Druck auf die untere Seite der Erdkruste, daß sie zerborst und in dem Wasser versank.

Der anatomische Heber.

Wenn man ein kurzes Metallgefäß, woran sich, mit ihm kommunizirend, eine enge und lange Metallröhre anschließt, mit Wasser füllt, es mit einer thierischen Blase verbindet und dann in die enge Röhre Wasser nachgießt; so wird die Blase durch den Druck nach oben in allen Stellen gleichmäßig ausgedehnt und man kann dann leicht erkennen, wie ihre Fasern untereinander zusammenhängen; man kann sie gewissermaßen anatomiren und deshalb heißt auch diese Vorrichtung der anatomische Heber.

Ist die thierische Blase über den kurzen Schenkel des anatomischen Hebers so gebunden, daß die ursprünglich äußere Seite nach innen liegt, so schwitzt zufolge des Druckes das Wasser in kleinen Tropfen durch, während dieses bei Umkehrung der Blase nicht stattfindet. Der Harn kann also aus dem Körper durch zarte Kanäle wohl in die Urinblase treten, nicht aber durch dieselben wieder heraus.

Sticht man in die kugelförmig aufgetriebene Blase kleine Oeffnungen, so spritzt das Wasser in feinen Strahlen aufwärts.

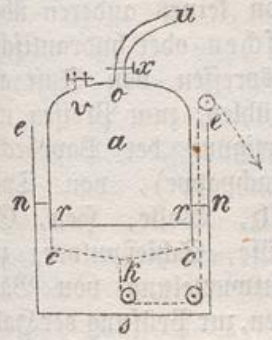
Die hydrodynamische Wage.

Beschwert man die mit einer Blase verbundene Mündung des weiteren Gefäßes mit Gewichten, so wird jede Wassersäule von einer

bestimmten Höhe in dem längeren Schenkel über der des kürzeren im Stande sein auf einer bestimmten Fläche auch ein bestimmtes Gewicht zu heben. Ist das Verhältniß der Durchmesser der Röhre und des Gefäßes gleich 1 zu 10, so trägt die Blase das Hundertfache von dem Gewichte des Wassers, welches in der Röhre von dem Niveau der Blase an bis ans Niveau des engeren Schenkels enthalten ist.

Hydrodynamische Gebläse.

Man benutzt auch den Druck des Wassers, um abgesperrte Luft so zu verdichten, daß sie durch Röhren strömt und entweder zur Unterhaltung eines lebhafteren Verbrennens dient, wie bei den hydrodynamischen Gebläsen oder daß sie selbst brennt, wie bei den Gasometern der Leuchtgasanstalten, so wie der physikalischen und chemischen Laboratorien.



(Fig. 74.)

Ein hydrodynamisches Gebläse würde wesentlich in Folgendem bestehen (Fig. 74): ese ist ein Behälter mit Wasser, auf dasselbe ist ein unten offenes und oben bei o mit einer Ausströmungsröhre versehenes zylinder- oder kastenförmiges Gefäß coc aus Metall oder Holz umgestürzt, während die Röhre ou abgesperrt ist. Das Gewicht des Gefäßes coc drückt die in ihm enthaltene und unten durch das Wasser abgesperrte Luft in a zusammen und zwar um so mehr, je schwerer es ist und je mehr es belastet ist. Der Wasserstand rr im Gefäße wird niedriger sein, als der außerhalb, welchen wir uns bei nn denken wollen, weil ihn die Expansivkraft der zusammengedrückten Luft herabdrückt. Die Kraft aber, mit welcher die Luft in a zusammengedrückt wird, ist gleich der Summe des Gewichtes des Gefäßes und einer Wassersäule, welche seine Oeffnung cc zur Grundfläche und den Unterschied der Höhe der beiden Wasserstände außerhalb und innerhalb zur Höhe hat.

Wird die Röhre ou durch den Hahn x geöffnet, so strömt aus ihr ein Luftstrahl bis der Raum a mit Wasser erfüllt ist, wenn das Gefäß coc aus Metall besteht. Da das Luftgefäß beim Ausströmen der Luft sinkt, so mußte das Rohr ou in einen beweglichen Schlauch übergehen. Man kann daher statt dessen das Ausströmungsrohr durch den Boden des Wasserbehälters so hoch hinauf in das Luftgefäß gehen lassen, daß selbst beim höchsten Wasserstande in dasselbe Wasser nicht eindringt.

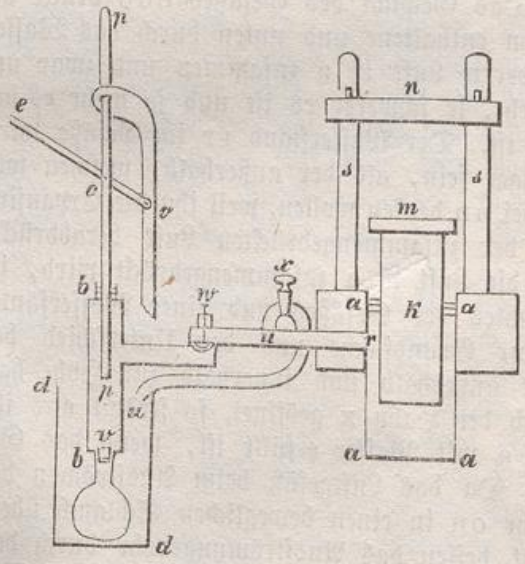
Will man einen fortwährenden Luftstrahl haben, so muß man zwei oder mehre solche Vorrichtungen anbringen, es so einrichten, daß die Luftgefäße abwechselnd in verschiedenen Zeiten ihren Zweck erfüllen und

daß die Ausströmungsröhren in einen gemeinschaftlichen Behälter münden, von wo dann die zusammengedrückte Luft durch ein einziges Rohr abgeleitet wird.

Statt das Gefäß zu belasten, namentlich wenn es von Holz ist, kann es auch durch unten angebrachte Ketten ek mittelst einiger Leitrollen herabgezogen werden. Hat es seinen Dienst verrichtet, so muß es wieder aufwärts gezogen werden, indem man gleichzeitig von oben durch eine hinreichend weite Oeffnung v Luft hineinläßt und letztere wieder absperrt, wenn das Gefäß aufsneue blasen soll.

Hydrodynamische Presse.

Endlich benutzt man das hydrodynamische Paradoxon und das Prinzip der ungeschwächten Fortpflanzung eines auf eine abgesperrte Flüssigkeit ausgeübten Druckes noch zur Konstruktion zwar ziemlich einfacher, aber außerordentlich wirksamer Maschinen, die, wenn es auf Beseitigung eines Widerstandes für kurze Wege ankommt, von keinen anderen übertroffen werden. Es sind dies die hydrodynamischen oder hydraulischen Pressen. Man wendet sie u. a. an zum Auspressen von Saft aus Pflanzen, z. B. im Rübenzuckerfabriken, in Oelmühlen, zum Pressen und Glätten von Papier (in Druckereien, zur Anfertigung der Pappdeckel, Dachpappe), von Tuch, Filz, Wolle, Heu, Gemüse, Schießpulver, zur Entwurzelung von Bäumen, zur Prüfung der Haltbarkeit von Ketten (für Anker, Brücken u. a.) zum Biegen von kalten Eisenplatten zu Schiffspanzern, zum Heben und Schieben von großen Lasten u. s. w.



(Fig. 75.)

10 Pfunde Druckkraft, welche auf 1 Quadratzoll des eine Flüssigkeit absperrenden Gefäßes ausgeübt werden, bringen auf einen irgendwie gelegenen Flächenantheil dieses Gefäßes von 20 Quadratzollen einen Gesammtdruck von $20 . 10 = 200$ Pfunden hervor; aber diese 10 Pfunde Druckkraft, wirksam auf eine Fläche von 10 Quadrat-

zollen (auf jeden Quadratzoll also 1 Pfund), bringen auf dieselbe Fläche von 20 Quadratzollen einen Gesammtdruck von nur 1 . 20 = 20 Pfunden hervor. Wir können also die Regel aufstellen:

> Für einen bestimmten, durch eine von außen wirkende Kraft ausgeübten Druck nimmt der fortgepflanzte Druck in demselben Verhältnisse ab, in welchem die drückende Fläche zunimmt.

Man wird also mit einer bestimmten Kraft durch Fortpflanzung des von ihr ausgeübten Druckes mittelst einer Flüssigkeit einen um so größeren Erfolg erzielen, *je kleiner die Fläche ist, auf welche die Kraft wirkt, und je größer die Fläche ist, auf welche der Druck fortgepflanzt wird.*

Fig. 75 soll eine Vorstellung von dem Wesen der Brahma'schen Maschine geben, ohne daß sie alle besonderen Einzelheiten wiedergibt. bb ist der *Druckzylinder*, welcher am Boden ein nach oben sich öffnendes Kegelventil v hat und unten ein Sieb s trägt, damit nur klares Wasser aus dem Behälter dd, in welchem er steht, in ihn gelange; pp ist der wasserdicht oben durchgehende *Druckkolben*, welcher bei c durch die um o drehbare Stange eo auf- und abwärts bewegt werden kann. Von dem Druckzylinder geht ein Rohr rr nach dem *Preßzylinder aaaa*, durch dessen Decke wasserdicht der *Preßkolben* k mit seiner oben außerhalb befindlichen *Preßplatte* m geht. Der Preßzylinder ist durch starke Säulen ss mit der an ihnen befestigten Gegenplatte n verbunden. Das Verbindungsrohr rr enthält bei w ein sich nach oben öffnendes Kegelventil und läßt sich durch ein bei x abschließbares Seitenrohr uu mit dem Behälter dd in Verbindung setzen.

Vor dem Gebrauche schraubt man die wasserdichte Liederung des Druckzylinders ab, füllt alle Räume mit ausgekochtem, also luftfreiem Wasser an, schraubt den Zylinder wieder zu und preßt durch einen Druck bei e den Druckkolben herab. Da das Ventil schon wegen seines Gewichtes die untere Oeffnung geschlossen hat, so öffnet das gedrückte Wasser das Ventil w, dringt in den Preßzylinder und treibt den Preßkolben aufwärts.

Wird der Druckkolben nicht mehr bewegt, so schließt sich das Ventil w wegen seines Gewichtes und wird, wenn man dann den Kolben aufwärts zieht, durch das Wasser vom Preßzylinder aus, sogar herabgedrückt, während v durch das Wasser im Behälter aufgestoßen wird, so daß der Druckzylinder mit neuem Wasser gespeist wird.

So kann durch wiederholtes Ziehen und Drücken des Druckkolbens die Preßplatte m immer höher und näher an die Gegenplatte n getrieben und ein zwischen ihnen befindlicher Körper mehr und mehr zusammengepreßt werden. Die Bewegung des m geht sovielmal langsamer als die des n, wie vielmal der Querschnitt des ersteren größer, als der des letzteren ist.

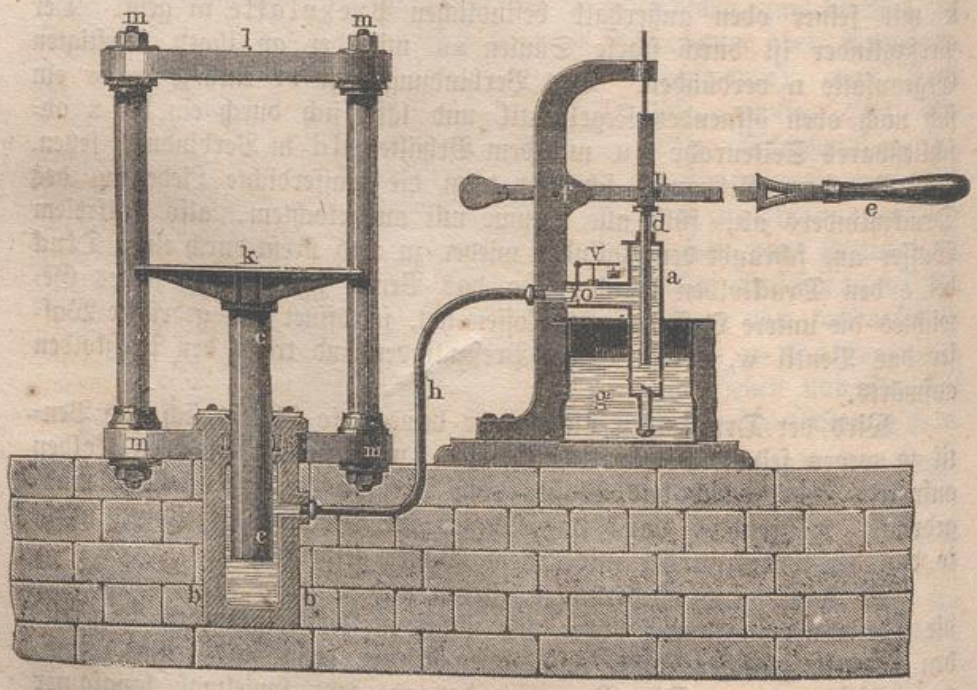
Die Berechnung des theoretischen Erfolges hat keine Schwierig-

keiten. Wäre co gleich 3 Zoll, eo gleich 30 Zollen, also co der zehnte Theil von eo, so würde eine Kraft von 1 Pfunde bei e einer von 10 Pfunden bei c oder eine von 50 Pfunden bei e einer von 500 Pfunden bei c das Gleichgewicht halten. Drückt man also mit einer Kraft von 50 Pfunden bei e abwärts, so geht der Druckkolben mit 500 Pfunden abwärts.

Sind ferner die Durchmesser der beiden Kolben 2 Zolle und 40 Zolle oder 1 Zoll und 20 Zolle, so verhalten sich ihre Querschnitte wie 1 zu 400 oder der Querschnitt des Preßkolbens ist das 400fache von dem des Druckkolbens und eine von diesem ausgeübte Kraft wird durch jenen das 400fache werden; also ist die Wirkung des Preßkolbens 50 . 10 . 400 oder 200000 Pfunde = 2000 Zentnern.

Daß die Preßplatte m nicht mit dieser vollen Kraft von 2000 Zentnern aufwärts gehen kann, ist natürlich, weil verschiedene Reibungswiderstände, nämlich bei o, bei c und an den beiden Stopfbüchsen und das Gewicht deß Preßkolbens mit seiner Platte zu überwinden sind; der Rest aber ist immerhin noch sehr bedeutend.

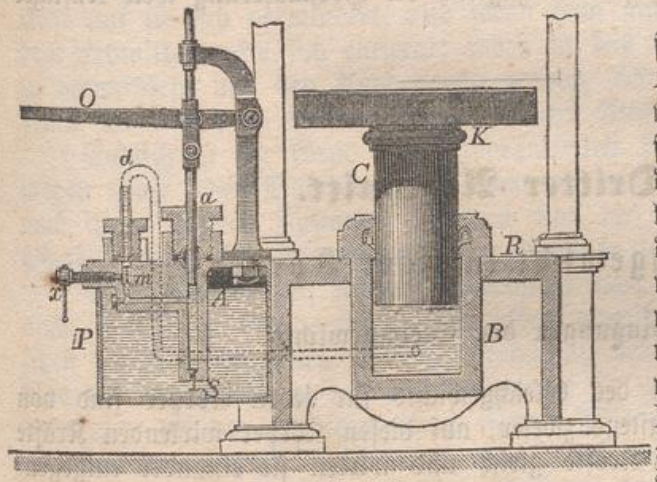
Wenn das Verhältniß des Nutzeffektes zum theoretischen wie 32 zu 34 angenommen wird, was man im Allgemeinen annehmen kann, so ist in diesem Beispiele immer noch ein Erfolg von fast 149000 Pfunden.



(Fig. 76. [1])

Die Einrichtungen im Einzelnen sind für die verschiedenen Zwecke verschieden. In Fig. 76 [1] ist a der in einem Wasserbehälter g stehende

Druckzylinder, mit einem Saugventile am Boden; d ist der durch eine Stopfbüchse gehende Druckkolben, welcher bei u durch den Hebel e f bewegt werden kann; in dem Preßzylinder b b befindet sich der Preßkolben c c, welcher oben die Preßplatte k trägt, die gegen eine andere l in dem festen Rahmen m m sich bewegen läßt. Der Druckzylinder ist durch ein Seitenrohr mit einem nach außen sich öffnenden Ventile o und dann durch das starke Verbindungsrohr h mit dem Preßzylinder verbunden. Geht der Druckkolben abwärts, so wird das Ventil o geöffnet; hört man auf zu drücken, oder geht er aufwärts, so wird es durch den von k aus wirkenden Widerstand geschlossen; das Saugventil macht die entgegengesetzte Bewegung. v ist das Sicherheitsventil.



(Fig. 76. [2])

In Figur 76 [2] steht der Druckzylinder A mit seinem Bodenventile S in dem Wasserbehälter P; a ist der massive Druckkolben, welcher durch den Hebel O bewegt wird; B ist der starkwandige Preßzylinder mit dem Preßkolben C, welcher die Preßplatte K trägt. Der Druckzylinder A hat einen Abflußkanal, welcher zuerst horizontal nach links, dann aufwärts geht, dort bei m ein nach oben sich öffnendes Ventil hat, und sich dann bei d abwärts krümmt, um in den Zylinder B geleitet zu werden.

Zieht man den Preßkolben in die Höhe, so tritt Wasser aus P durch das Ventil S nach A; drückt man ihn hinab, so wird das Wasser durch das Ventil m nach oben und in den Zylinder B gepreßt. Durch Wiederholung des Vorganges wird B mit Wasser versorgt, und endlich der Kolben C emporgetrieben.

Für die Arbeiten des 12700 Meter oder 40175 rhl. Fuß langen Tunnels, welchen man zur Eisenbahn-Verbindung von Piemont mit Frankreich durch den Mont Cenis bricht, wird auch eine hydraulische Presse verwendet, um durch sie Luft für Arbeit der Steinbohrer und zur Ventilation des Tunnels zusammen zu pressen.

Die kolossalen Röhren der Menai-Röhrenbrücke in England zwischen der Insel Anglesea und dem Festlande, von denen jede der mittleren 31360 Zentner wog, wurden auch durch hydraulische Pressen über 200 Fuß hoch gehoben.

Um das größte aller vorhandenen Schiffe, den früheren Leviathan, jetzigen Great Eastern, vom Stapel zu lassen, wirkte man auf den Quadratzoll mit 20000 Zentnern, wobei Metallzylinder eines Apparates von mehr als 7 Zoll Dicke zersprengt und die stärksten Doppelbalken wie Zündhölzer zerbrochen wurden.

In England wendete man u. a. eine hydrodynamische Presse an, welche mit einem Drucke sogar von 40000 Zentnern auf den Quadratzoll wirkte, um die stärksten Eisenplatten im kalten Zustande zu den Schiffspanzern zu krümmen.

Durch die hydraulische Presse lassen sich Holzarten im Stamme mit den verschiedenartigsten Farben durch und durch versehen, was für Fourniere sehr wichtig ist, da zugleich die Holzmaserung weit kräftiger hervortritt.

Dritter Abschnitt.

Gleichgewicht luftiger Körper.

Bedingungen des Gleichgewichts.

Die Bedingungen des Gleichgewichts für jeden Körper sind von dem Verhältnisse wenigstens zweier, auf diesen Körper wirkenden Kräfte abhängig. Sind diese Kräfte gleich und wirken sie einander entgegengesetzt, so ist Gleichgewicht vorhanden.

Wir wissen, wie bei einem festen Körper eine Kraft, welche in einem Punkte seiner Schwerlinie angreift, der Gravitationskraft zur Erde das Gleichgewicht hielt, oder wie zwei Kräfte, welche beide auch die Anziehungskräfte der Erde sein konnten, den festen Körper im Gleichgewichte hielten, wenn er um einen bestimmten Punkt drehbar war, und die Kräfte eine Drehung nach entgegengesetzten Richtungen hervorbringen wollten. Wir wissen auch wie bei tropfbaren Körpern die Schwere nur durch die Kohäsionskraft der sie als Gefäße umschließenden festen Körper im Gleichgewicht zu halten war, wozu eigentlich auch das die Meere umschließende Festland zu rechnen ist.

Anders aber verhält es sich mit den luftigen Körpern, welche als gewichtig zwar auch den Gesetzen der Schwere unterworfen sind, aber noch eine ihnen eigenthümliche Eigenschaft, die Spannkraft oder Expansivkraft, und einen damit in Verbindung stehenden, sehr hohen Grad von Elastizität besitzen.

Alle luftigen Körper haben nämlich das Bestreben, einen größeren Raum einzunehmen, wenn sie daran durch einen äußeren Druck nicht

verhindert werden. Hat man z. B. in der Tiefe des Wassers in einer thierischen Blase nur etwas Luft, welche die Blase nicht erfüllt; so schwillt sie um so mehr an, je weiter man sie nach dem Niveau bringt, weil dadurch der äußere Druck auf sie vermindert wird und bekommt außerhalb des Wassers ein noch größeres Volumen. Bringt man sie dann noch unter eine Glasglocke, aus welcher durch eine Luftpumpe, welche wir später werden kennen lernen, die sie umgebende Luft nach und nach beseitigt wird, so nimmt die in der Blase eingesperrte Luft immer größere Räume ein und kann unter Umständen durch den von Innen wirkenden Druck die Blase sogar zersprengen.

Die Luft dehnt sich aber nicht blos dann aus, wenn der von außen auf sie ausgeübte Druck, sondern auch, wenn die Anziehungskraft der Erde auf sie sich vermindert, also wenn man mit abgesperrter Luft von dem Erdmittelpunkte sich entfernt; indeß ist das nicht bedeutend und nicht zu verwechseln mit der Ausdehnung zufolge der Verminderung des äußeren Druckes beim Aufwärtssteigen in der Atmosphäre.

Endlich ist der Grad der Ausdehnbarkeit der luftigen Körper, sie mögen Gase oder Dämpfe sein, noch von einem allen Körpern, also auch ihnen eigenen Zustande, welchen man die Temperatur nennt, abhängig, indem ihre Ausdehnung mit Zunahme der Wärme wächst.

Sind die luftigen Körper ausdehnbar oder expansibel, so sind sie auch in gleichem Grade zusammendrückbar oder kompressibel oder besitzen die Fähigkeit einen kleineren Raum einzunehmen, was sie aber nicht blos bei der Zunahme des von außen auf sie ausgeübten Druckes, sondern auch bei der Abnahme ihrer eigenen Wärme thun. Diese Raumverminderung kann so weit gehen, daß ihre Molekel bei einer hinreichend großen Annäherung einen tropfbar flüssigen, ja sogar einen festen Körper bilden können. Bis jetzt ist es nur erst bei manchen Gasen gelungen sie zu tropfbaren oder selbst festen Körpern zu verwandeln, die Dämpfe aber sind ohne Ausnahme dieser Verwandlung fähig.

Daß die Eigenschaft der luftigen Körper, sich ausdehnen und zusammendrücken zu lassen, mit einem hohen Grade von Elastizität verbunden ist, zeigen sie, weil sie von selbst wieder den früheren Raum einnehmen, wenn die Kraft, welche sie ausdehnte und zusammendrückte, unter unveränderten sonstigen Umständen zu wirken aufhört. Läßt sich ein Stempel ohne Schwierigkeit, aber mit luftdichtem Verschlusse, in einem Zylinder von Glas oder Metall nach dem Boden hin drücken, so wird er durch die zusammengepreßte Luft zurückgestoßen, wenn die drückende Kraft zu wirken aufhört.

Wenn ein Metall, wie etwa beim Prägen von Münzen, zusammengedrückt und dichter geworden ist, so tritt eine rückwirkende Kraft nicht mehr hervor, und die angewendete lebendige Kraft kann insofern als verloren angesehen werden; wird aber ein luftiger Körper zusammengedrückt und ändert er hierbei nur die Dichte, nicht aber seinen Aggregatzustand,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

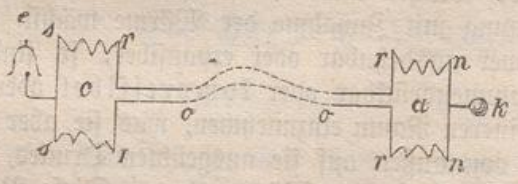
so tritt die rückwirkende Kraft ganz in demselben Maße als lebendige Kraft auf, wie die angewendete drückende Kraft.

Aus diesen Eigenschaften der luftigen Körper lassen sich alle Erscheinungen, welche sie darbieten, ableiten. Da die Dämpfe nicht als dauernde luftige Körper angesehen werden können, sondern vorzüglich durch die Wärme ihr Bestehen sichern, so werden sie am besten in der Wärmelehre abgehandelt, so daß wir hier zunächst nur von den eigentlichen Gasen sprechen wollen.

Gleichgewicht in einem geschlossenen Raum.

Aus den für die luftigen Körper bekannten Eigenschaften und den Bedingungen des Gleichgewichtes derselben ergeben sich ohne Schwierigkeit zwei gesetzmäßige Thatsachen:

1) in einem geschlossenen Raume ist die Expansivkraft der darin enthaltenen Luft an allen Stellen dieselbe, und
2) der auf irgend einer Stelle der abgesperrten Luft ausgeübte Druck pflanzt sich ungeschwächt durch die übrige Luft fort, bis die Expansivkraft überall dieselbe ist.



(Fig. 77.)

Diese Thatsache hat man zu Luftklingelzügen benutzt. Ihre Einrichtung läßt sich leicht aus folgenden Angaben erkennen. In Fig. 77 sind a und c zwei luftdicht abgeschlossene Behälter, jeder aus zwei Holzscheiben von wenigen Zollen Durchmesser bestehend, deren Ränder mit in Falten gelegtem Kautschuck oder Leder luftdicht an einander befestigt sind, so daß man sie einander nähern und von einander entfernen kann; die beiden Scheiben rr sind irgendwie befestigt und durch ihre Oeffnungen oo geht ein beliebig langes und beliebig gerichtetes Kautschuckrohr, welches also die Behälter a und c mit einander verbindet. Wird die Scheibe nn am Knopfe k von rr weggezogen, also der Raum a erweitert, so strömt von c aus sofort durch das Rohr oo Luft dorthin und die Scheibe ss bewegt sich, weil der innere Druck auf sie vermindert ist, sofort nach a hin. Ist also an die Scheibe ss ein Metallklöppel angebracht, welcher an eine Glocke e schlägt, so hat man den gewünschten Glockenlaut; drückt man nn hinein, so wird die Glocke an der entgegengesetzten Seite angeschlagen.

Da mit jedem Zuge und Drucke nur ein Schlag gemacht wird, so läßt es sich wohl denken, daß man eine ähnliche Vorrichtung zum Telegraphiren anwenden könnte, wobei sich die Leitungsröhren im Erdboden anbringen und so gegen Zerstörung durch muthwillige Hände schützen

ließen. Die Anzahl und Schnelligkeit aufeinander folgender Laute könnte wie beim Morseschen Schreibtelegraphen die verschiedenen Buchstaben bedeuten. Statt des Klöppels x ließe sich wohl auch ein Stift anbringen, wenn die Einrichtung etwas verändert würde, so daß durch ihn auf ein mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorüberbewegtes Papier Punkte und Striche gemacht werden könnten, wie beim Morseschen Schreibtelegraphen.

Auf das Prinzip der ungeschwächten Fortpflanzung des Druckes, welches eigentlich auch schon bei dem Luftklingelzuge seine Anwendung fand und uns bereits von den tropfbaren Flüssigkeiten als ungemein wichtig bekannt ist, stützt sich ein in mehrfacher Beziehung belehrendes, bereits gelegentlich erwähntes Spielzeug, nämlich der kartesianische Taucher.



(Fig. 78.)

Ein etwa 8 Zoll hohes und 1¼ Zoll weites Zylindergefäß von Glas wird zum größten Theile, z. B. bis nn (Fig. 78) mit Wasser gefüllt; in das Wasser legt man eine kleine hohle Glasfigur, der man meist eine abenteuerliche Gestalt gibt, wie etwa die hirnverbrannte Phantasie zu Zeiten sich den Teufel vorgestellt hat, nämlich mit Hörnern, Pferdefüßen und einem gekrümmten röhrenartigen Schwänzchen x, welches am Ende offen ist. Das Körperchen muß gerade so tief eintauchen, daß eben nur die Hörnerspitzen über das Wasser vorragen. Sinkt es von selbst nicht so tief ein, so muß man es dadurch etwas schwerer machen, daß man Wasser in dasselbe schafft. Dieses geschieht, wenn man das Glaskörperchen, also auch die Luft in ihm, etwas erwärmt, wodurch ein Theil derselben sich durch das Schwänzchen entfernt. Bringt man es nun schnell unter kälteres Wasser, so dringt bei seiner Abkühlung etwas davon hinein, wodurch es mit Beibehaltung seines Volumens schwerer wird, also tiefer einsinkt; hat man die obige Tiefe erreicht, so verbindet man den Glaszylinder luftdicht mit einer recht nachgiebigen Kautschukplatte k.

Drückt man nun auf die Kautschukplatte mit einem Finger, so wird die Luft darunter in a zusammengedrückt, dieser Druck wird auf das Niveau nn und von da durch die ganze Flüssigkeit, also auch bis an die Oeffnung des Schwänzchens fortgepflanzt. Die Folge davon ist, daß etwas Wasser ins Körperchen dringt, welches die Luft in ihm zusammendrückt, wodurch es, ohne sein Volumen zu ändern, schwerer wird und sinkt Man hat es vollkommen in seiner Gewalt es bis zu beliebigen Tiefen, c oder e, einsinken zu machen und hat somit zugleich den praktischen Beweis geliefert, daß mit vergrößerter Tiefe unter dem Niveau der Wasserdruck nach oben wächst, weil ja das Körperchen schwerer gemacht werden muß, um es in größeren Tiefen zum Schweben zu

bringen. Von einer nach unten vermehrten Dichtigkeit des Wassers kann für so niedrige Wassersäulen nicht die Rede sein.

Beim Nachlassen des Druckes auf k, vermindert sich auch der Druck der Luft auf nn und des Wassers auf x, so daß die im Körperchen abgesperrte Luft sich ausdehnen kann und einen Theil des Wassers heraustreibt. Geschieht letzteres schnell genug, oder in kurz auf einanderfolgenden Absätzen, was man natürlich in seiner Gewalt hat; so dreht sich das Körperchen nach der der Oeffnung am Schwänzchen entgegengesetzten Richtung, was bei den Reaktionserscheinungen seine Erklärung finden wird.

Gleichgewicht der Atmosphäre.

Auf das verbreiteste aller Gase, nämlich die atmosphärische Luft, wirkt zunächst die Schwere, und deshalb kann sie sich ungeachtet ihrer Expansivkraft in den Weltraum nicht entfernen, sondern ist mit allem, was in ihr sich befindet, in alle Ewigkeit an sie gefesselt. Jedes Lufttheilchen aber drückt wegen seines eigenen Gewichtes auf das unter ihm befindliche, dieses kann seitwärts nicht entweichen, weil die dort befindlichen einen gleichen Gegendruck ausüben; es wird also zusammengedrückt, ohne daß es sein Gewicht verliert. In diesem Zustande will es sich mit derselben Kraft, mit welcher es zusammengedrückt wurde, wieder ausdehnen und drückt nach allen Seiten, also auch nach unten hin mit dieser Kraft, die es durch das Gewicht des ersten Theilchens empfangen hat; also das dritte Theilchen darunter hat das Gewicht des zweiten und die dem Gewichte des ersten gleiche Expansivkraft desselben zu tragen. Diese Betrachtung gilt durch die ganze Atmosphäre und ergibt:

1) daß die Atmosphäre die kugelähnliche Gestalt der Erde angenommen hat,
2) daß die Dichtigkeit und die Druckkraft der Atmosphäre im Zustande des Gleichgewichts nach der Erdoberfläche hin zunimmt,
3) daß in ihrem Innern der Druck ein allseitiger ist, und
4) daß ein irgendwie ausgeübter Druck ungeschwächt nach allen Richtungen sich fortpflanzt.

Hat man an einer bestimmten Stelle der Erdoberfläche ein mit Luft aus dieser Stelle erfülltes Gefäß, so ist der Druck der inneren Luft auf die Gefäßwände ebenso groß, als der äußeren an demselben Orte zu derselben Zeit. Begibt man sich mit der abgesperrten Luft nach oben, so wird die Expansivkraft der inneren Luft um so mehr die der äußeren übertreffen, je höher man steigt, und es kann der Fall eintreten, daß die Gefäßwände dem inneren Drucke nicht mehr widerstehen

können; begibt man sich nach unten, so wird der äußere Druck größer, als der innere.

Da die Erdanziehung immer kleiner wird, je höher die Luft in der Atmosphäre sich befindet, und da in größeren Höhen ihre Expansivkraft wegen verminderter Dichtigkeit geringer ist, als in kleineren, so muß es Orte geben, in welchen die Schwere und Expansivkraft der Luft einander aufheben und diese kann man in der angegebenen Beziehung als das Ende der Atmosphäre ansehen. — Da man Explosionen von Meteoren, die in einer Höhe von 50 englischen Meilen stattfanden, an der Erdoberfläche noch hörte, so muß die Luft in dieser bedeutenden Höhe doch noch eine ziemliche Dichtigkeit haben, obwohl ihre Schwere hier schon geringer ist, als die Expansivkraft.

Die Luft hat in einer Stube dieselbe Spannkraft als im Freien in derselben horizontalen Schicht zu derselben Zeit. Es ist nicht möglich, daß die Dichtigkeit und auch die Spannkraft an zwei mit einander verbundenen Orten verschieden sei, weil der erhöhte Druck an einer Stelle auch eine sofortige Erhöhung an der anderen zeigen muß. Es reichen dazu die kleinsten Oeffnungen hin, und selbst durch ganz dicke Mauern stellt sich das Gleichgewicht her.

Die Diffussion der Atmosphäre.

Die atmosphärische Luft ist nicht ein einfacher Körper. Dies läßt sich auf folgende Weise zeigen.

Wenn man in einem abgesperrten Raume, welcher atmosphärische Luft enthält, etwas Quecksilber erhitzt, so vermindert sich das Volumen der Luft, und das Quecksilber verwandelt sich theilweise in einen rothen festen Körper; aber die Verminderung der eingeschlossenen Luft überschreitet nicht eine gewisse Gränze. Die zurückgebliebene Luft ist nicht mehr atmosphärische, denn ein Licht erlischt darin sofort und ein Thier erstickt. Wird nun der aus dem Quecksilber entstandene rothe Körper für sich stärker erhitzt, so entwickelt sich eine Luftart, in welcher ein glimmend hineingebrachter Span mit lebhafter Farbe brennt, und sogar Stahl funkensprühend mit lebhaftem Glanze zerschmilzt.

Die in dem Gefäße zurückgebliebene Luft heißt Stickstoff, die aus dem rothen Körper entwickelte Sauerstoff und seine Verbindung mit dem Quecksilber ist Quecksilberoxyd. In 100 Raumtheilen atmosphärischer Luft sind stets 21 Raumtheile (23 Gewichtstheile) Sauerstoff und 79 Raumtheile (76 Gewichtstheile) Stickstoff. Die ihr noch beigemengten Antheile von Kohlensäure, Wasserdampf und Ammoniak sind von Umständen abhängig; in einem erhöhten Grade aber das Vorhandensein von Salz (in der Nähe der Meere und selbst bis auf 20 Meilen Entfernung), von Staub (wie der Wüstenstaub), von Blüthenstaub verschiedener Gewächse, von Essen-, Hütten- und Höhenrauch u. a.

In den den Erdkörper umgebenden 5,193154 Billionen Kilogrammen atmosphärischer Luft sind enthalten 3,990419 Stickstoff, 1,199619 Sauerstoff und 3116 Kohlensäure. In 10000 Raumtheilen atmosphärischer Luft sind durchschnittlich etwa 4 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Der Ammoniakgehalt, welcher für das Gedeihen der Pflanzen wichtig ist, wie Gewitterregen zeigen, ist sehr veränderlich von 1 Zehnmilliontel bis 5 Hunderttausendtel gefunden worden.

Man hat berechnet, daß in Paris durch das Verbrennen und Athmen mindestens 3 Millionen Kubikmeter Kohlensäure entwickelt werden (durch letzteres freilich nur 51000), man hat aber durch direkte Versuche in menschenerfüllten abgesperrten Räumen ihre Menge doch nur höchstens auf 0,01 gefunden, meistens geringer, so daß sie für die Gesundheit gerade nicht sehr gefährlich wird, zumal sie ungeachtet ihres größeren spezifischen Gewichtes wegen ihrer ziemlich hohen Temperatur beim Ausathmen sich mehr in die obersten Theile solcher Räume begibt, als nach unten, wo sie überhaupt durch den Zufluß kälterer Luft bald verdrängt wird. Hat das kohlensaure Gas die Temperatur der atmosphärischen Luft, so läßt es sich in ihr auf kurze Zeit aus einem Glase in ein anderes übergießen wie Wasser und macht sich bemerklich, daß man ein Licht, auf welches man es gießt, auslöscht. Die Diffusion der in der Atmosphäre vorhandenen Gase setzt bald das normale Mischungsverhältniß wieder her, wenn es durch den Verbrauch des einen oder durch die Erzeugung des anderen gestört worden ist.

Hat man nämlich in zwei Gefäßen, die durch einen, wenn auch engen Kanal, z. B. ein Kapillarröhrchen, mit einander verbunden werden können, zwei Luftarten getrennt aufgefangen, z. B. Wasserstoff und Kohlensäure, welche keine chemische Verwandtschaft zu einander besitzen, und stellt man dann die Verbindung her; so verbreitet sich jedes Gas auch in das andere Gefäß und erfüllt schließlich beide Gefäße mit überall gleicher Dichte und Spannkraft, als wäre das andere Gas gar nicht vorhanden. Diese Verbreitung, welche man Diffusion nennt, findet auch dann statt, wenn die beiden Gase dieselbe Spannkraft besaßen und das Gefäß mit dem leichteren Gase das obere ist: es steigt also hier die schwerere Kohlensäure allmählig aufwärts, der leichtere Wasserstoff geht abwärts, bis das Gemenge in beiden Räumen überall eine gleiche Spannkraft hat.

> Die Spannkraft, womit beide Gase schließlich den gegebenen ganzen Raum einnehmen, ist gleich der Summe der Spannkräfte, mit welchen sie einzeln diesen Raum einnehmen würden.

Wäre eines der Gefäße luftleer gewesen, so würde die Einströmung des Gases aus dem anderen Gefäße schneller geschehen, als es bei dem vorhandenen Widerstande eines anderen Gases geschieht. Es ist höchst auffallend, daß die Verbreitung der Gase durch vorhandene Widerstände

nur verzögert, nicht aber völlig aufgehoben werden kann, was eine Bestätigung der Porosität aller Körper ist. Man hat z. B. Wasserstoff in einer Glasflasche gesammelt, diese durch einen Glaspfropfen gut geschlossen, die Flasche so in Quecksilber umgestürzt, daß ein großer Theil des Halses damit bedeckt war, und hat nach 1 bis 1½ Jahren gefunden, daß das Wasserstoffgas zum Theil oder ganz durch atmosphärische Luft ersetzt war.

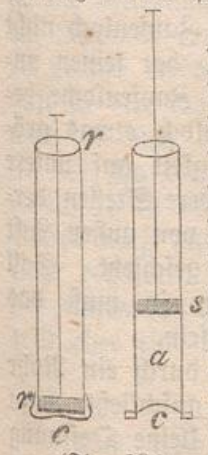
Ist zwischen zwei verschiedenen Gasen eine Scheidewand aus einem zwar festen, aber ziemlich porösen Körper, wie etwa einer thierischen Blase oder aus ungebranntem Thone u. a.; so durchdringen sie dieses Hinderniß mit ungleicher Kraft, selbst wenn ihre Expansivkraft ursprünglich dieselbe war.

Die Diffusion hat einige Aehnlichkeit mit den Erscheinungen der Endosmose und Exosmose, wenn die Gase durch einen porösen Körper getrennt sind und Verwandtschaft zu einander haben.

Ist eine unbeschädigte Glasglocke über eine andere, die einen ganz feinen Riß hat und Wasserstoff enthält, gestürzt, befindet sich im Zwischenraume atmosphärische Luft, und sind die Gase durch Wasser in demselben Niveau abgesperrt, was ihre gleiche Expansivkraft anzeigt; so durchdringen diese beiden Luftarten den Riß mit großer Lebhaftigkeit in entgegengesetzter Richtung, aber das Wasserstoffgas rascher, was sich durch den Höhenunterschied der Sperrflüssigkeit zeigt.

Der Druck der freien Atmosphäre.

Wir haben bereits aus den Eigenschaften der luftigen Körper überhaupt und der atmosphärischen Luft insbesondere die Nothwendigkeit ihres nach allen Seiten hin gerichteten Druckes kennen gelernt. Wir wollen nun an einer Reihe von ganz einfachen Erfahrungen diesen Druck bestätigen und prüfen und dann seine Größe kennen zu lernen suchen.



(Fig. 79.)

Hat man bei einer offenen Röhre r r (Fig. 79) den in sie gut passenden Stempel s bis an das eine Ende o geschoben, dieses Ende luftdicht mit einer weichen Blase c verbunden und zieht man dann diesen Stempel zurück (2), so wird die Blase durch den Druck der äußeren Luft um so mehr in die Röhre gepreßt, je weiter der Stempel zurückgezogen wird und kann, namentlich wenn sie trocken ist und zwischen ihr und dem Stempel in a sich möglichst wenig Luft befand, leicht zerdrückt werden. Dieses geschieht bei allen Lagen der Röhre. — Hier ist also der Fall, daß auf die beiden Flächen der Blase ungleiche Kräfte wirken: von innen die geringe Druckkraft der wenigen und nach ihrer Raumerweiterung wenig dichten Luft, welche etwa noch in der Röhre war, bevor man den Stempel zurück-

zog; von außen der unveränderte und verhältnißmäßig große Druck der freien Atmosphäre.

Hält man eine offene Röhre mit der einen Mündung ins Wasser und saugt man durch die andere Luft aus ihr, so steigt das Wasser in der Röhre um so höher, je mehr man die Luft aus ihr saugt. Hier ist auch der Druck auf das innere Wasser durch das Saugen kleiner geworden, als der äußere, unverändert gebliebene ist.

Hat man ein Trinkglas bis an den Rand vollständig mit Wasser gefüllt, bedeckt man es mit einem Blatte Papier, welches man an den Rand ringsum dicht andrückt, legt man dann die eine Hand aufs Papier, kehrt das Glas um und wartet bis das im Innern in Bewegung gerathene Wasser zur Ruhe gelangt ist, so fließt das Wasser nicht aus, weil der auf das Papier von der Atmosphäre ausgeübte Druck es verhindert. Je enger das Glas ist, desto leichter gelingt es, weil sich das Wasser im Innern eher beruhigt und auf verschiedene Stellen des Papiers nicht mit verschiedener Kraft stößt.

Der Druck der Atmosphäre auf die Mündung eines gefüllten Gefäßes kann auch mittelbar durch eine tropfbare Flüssigkeit in einem anderen Gefäße ausgeübt werden, wenn sie die Mündung absperrt. Ein mit Wasser gefülltes und so auf Wasser umgekehrtes Trinkglas, daß seine Mündung noch unter dem Niveau liegt, bleibt gefüllt.

Hierher gehört auch das Füllen von Gefäßen mit sehr engen Oeffnungen, nachdem man die innere Luft entweder durch Aussaugen oder anfänglich durch Erwärmen und dann, wenn schon etwas Flüssigkeit eingedrungen ist, durch das Kochen derselben beseitigt hat.

Ferner sammelt man verschiedene Luftarten in Flaschen dadurch, daß man diese zuerst mit Wasser, oder nach den Umständen mit Quecksilber, Oel anfüllt, sie in der sogenannten pneumatischen Wanne auf den Spiegel der darin befindlichen Flüssigkeit derselben Art umstürzt und dann die Luftarten von unten in die Flaschen leitet.

Daß Flüssigkeit aus einer Tonne durch das enge Zapfenloch nicht abfließen will, wenn das Spuntloch gut verschlossen ist, hat keinen anderen Grund, als den von der Atmosphäre auf die am Zapfenloche befindliche Flüssigkeit ausgeübten Druck. Ist das Zapfenloch etwas größer, so ist der von innen wirkende Druck der Flüssigkeit auf untere Theile der Oeffnung um so viel größer, als der auf obere Stellen derselben, daß dort tropfbare Flüssigkeit ausströmt, hier von außen Luft eindringt, was wegen Ungleichheit der Kräfte stoßweise geschieht. Soll also die Flüssigkeit mit einem Strahle herausdringen, so muß das Spundloch geöffnet oder wenigstens hinreichend gelüftet sein.

Wenn bei Thee- und Kaffeekannen das Ausgießen durch ein Rohr stattfindet, so muß der Deckel, zumal wenn er sich dicht anschließt, wozu noch die Dünste der warmen Flüssigkeit beitragen, eine kleine Oeffnung

haben, damit durch sie die äußere Luft eindringen und die Flüssigkeit beim Ausgießen allein ihrem Gewichte folgen kann.

Nimmt man die Oeffnung einer abgeschnittenen Federpose, deren anderes Ende noch geschlossen ist, in den Mund, saugt man von der darin befindlichen Luft einen Theil aus und verschließt die Oeffnung schnell mit der Zunge, so bleibt die Pose an der Zunge frei hängen, weil sie durch den äußeren, stärker wirkenden Atmosphärendruck festgehalten wird.

Wenn man aus einer nur mit Luft gefüllten Blase durch Saugen einen Theil der Luft entfernt, so fällt sie bei fortgesetztem Saugen mehr und mehr zusammen, weil der innere Druck gegen den äußeren immer kleiner wird.

Wenn man in die Körperhaut eine kleine Wunde macht, auf sie ein Gläschen setzt, aus welchem durch das Zurückziehen eines Stempels ein Theil der Luft fortgeschafft wird; so fließt das Blut aus der Wunde um so lebhafter, je stärker die Luftverdünnung im Gläschen ist, weil es der äußere Luftdruck aus der Entfernung um das Gläschen um so mehr hineinpreßt. Die Beseitigung eines Theiles der Luft im Gläschen kann auch durch die Wärme geschehen. Erkaltet das warm aufgesetzte Glas, so nimmt die innere Luft denselben Raum mit geringerer Dichtigkeit ein, und der Erfolg muß derselbe sein. Dies sind die Schröpfköpfe und künstlichen Blutegel.

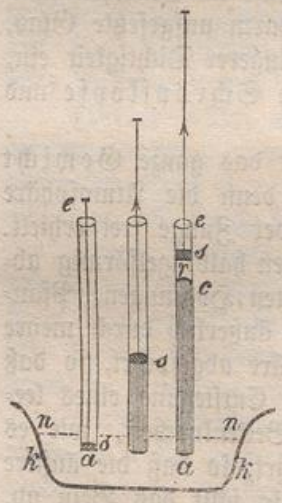
Es ist ein Glück, daß wir beim Gehen nicht das ganze Gewicht unserer Arme und Beine zu heben haben, denn die Atmosphäre hilft sie uns tragen, wie sie die Federpose an der Zunge frei erhielt. Die Arm- und Bein-Knochen befinden sich mit ihren halbkugelförmig abgerundeten Enden (dem Kopfe) in ebenso ausgetieften Höhlungen (Pfannen) anderer Knochen; der Zwischenraum ist aber äußerlich durch mehre sich luftdicht anschließende Häute von der Atmosphäre abgesperrt, so daß sie die Gliedmaßen an den Körper drückt und die Entstehung eines leeren Raumes verhindert. Wenn man daher den Beckenknochen, wie es bei Leichen wiederholt gemacht worden ist, durchbohrt, so daß die äußere Luft in den inneren Zwischenraum dringen kann, so fällt das Bein ab, was bei einer bloßen Durchschneidung der Muskeln noch nicht der Fall ist. — Da die Atmosphäre in höheren Schichten weniger dicht ist, als unten, so ist auch ihre Expansiv- oder Druckkraft dort geringer, und das Laufen muß uns auf hohen Bergen und Plateaus in der dünneren Luft mehr ermüden, als unten in der Tiefebene, namentlich wenn der Wechsel des Aufenthaltes schnell eingetreten ist; denn geschieht es langsam, so tritt eher eine Ausgleichung des Druckes ein.

Messung des Atmosphärendruckes.

Wie jede bestimmte Kraft auch nur einer bestimmten Leistung fähig ist, so muß dieses auch mit dem Drucke der atmosphärischen Luft

zu einer bestimmten Zeit und an einem bestimmten Orte der Fall sein. Um die Größe dieses Druckes zu erkennen, müssen wir die Bedingungen des Gleichgewichtes aufheben. Haben wir nämlich in der freien Atmosphäre irgendwo eine dünne Scheibe, so wird der Druck auf eine Stelle von gewisser Ausdehnung in der einen Seitenfläche durch den ebenso großen Gegendruck auf dieselbe Stelle in der entgegengesetzten Seitenfläche aufgehoben, und die Scheibe wird wenigstens durch diese zwei Kräfte nicht in Bewegung gesetzt, sondern sie bleibt im Gleichgewichte oder in Ruhe; wenn aber der Druck auf die eine Seitenfläche aufgehoben oder wenigstens vermindert werden könnte, so käme der auf die andere Seite wirkende zur Geltung und würde die Scheibe in seinem Sinne in Bewegung setzen, und zwar um so mehr, je größer sie ist.

Es wird zur Aufsuchung eines Maßes für den Atmosphärendruck aber besser sein, statt eines festen und wenig leicht beweglichen Körpers eine tropfbare Flüssigkeit zu wählen, weil ihre Theile außerordentlich leicht verschiebbar sind, jedem geringsten Drucke nachgeben und ihn ungeschwächt durch ihr ganzes Innere fortpflanzen.



(Fig. 80.)

Hat man ein Gefäß kk (Fig. 80) mit Queckfilber, eine an beiden Enden offene Glasröhre ae von etwa 32 Zoll Länge, paßt in dieselbe ein Stempel s luftdicht ein, schiebt man diesen Stempel bis an das eine Ende a der Röhre, hält man dieses Ende unter das Queckfilber-Niveau nn (1) und zieht dann den Stempel aufwärts (2), so folgt ihm das Queckfilber sofort und ohne einen Zwischenraum zu lassen; denn die Atmosphäre drückt auf das Niveau nn des Queckfilbers, dieser Druck pflanzt sich durch das Queckfilber bis zur Mündung a der Röhre fort und preßt es nun aufwärts, weil dort ein Druck abwärts auf dasselbe nicht mehr vorhanden ist, indem er durch den Stempel gehindert wird einzutreten.

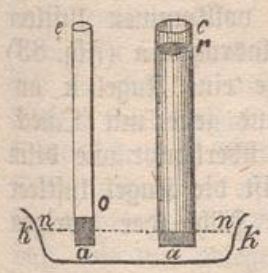
So folgt nun das Queckfilber dem Stempel eine Strecke aufwärts, bis es endlich bei noch weiterem Hinaufziehen des Stempels stehen bleibt, eine nach oben erhaben abgerundete Fläche bildend, so daß zwischen ihm und dem Stempel ein vollkommen leerer Raum r (3) entsteht, wenn nicht etwa das Queckfilber oder das Glasrohr etwas Luft in sich enthielten.

Wir sehen also, daß die Atmosphäre eine Queckfilbersäule von nur gewisser Höhe durch ihren Druck zu erzeugen und zu tragen vermag. Diese Säule reicht aber nicht von dem unteren Ende a der Röhre bis zu der höchsten Stelle c, sondern nur von dem Niveau n bis c und

beträgt, wenn wir den Versuch an dem Meeresspiegel anstellen, so ziemlich 28 pariser Zolle oder $2\frac{1}{3} = \frac{7}{3}$ Fuß; denn das Stück von a bis n wird nicht durch die Atmosphäre getragen, sondern von dem Quecksilber im Gefäße, indem dieselbe Flüssigkeit in verbundenen oder kommunizirenden Behältern in gleicher horizontaler Höhe steht. Würde der Stempel, nachdem er oben angelangt ist, ganz aus der Röhre gezogen, so würde das Quecksilber in dieser sofort bis zum äußeren Niveau herabfallen. (Eigentlich würde es zuerst tiefer fallen, aber nach einigen Schwankungen sich bald ruhig ins Niveau einstellen.)

Die Höhe hängt durchaus nicht von der Weite und Gestalt der Röhre ab. Daß Haarröhrchen nicht genommen werden können, versteht sich von selbst.

Nimmt man statt des Quecksilbers eine andere Flüssigkeit, z. B. Wasser, welches 13,59 mal leichter ist als Quecksilber, so folgt sie dem Stempel zu einer sovielmal größeren Höhe, wievielmal die neue Flüssigkeit leichter ist, als die frühere; bei Wasser also 13,59 mal $\frac{7}{3}$ Fuß, d. i. 31,71 Fuß. Spiritus würde zu einer noch größeren Höhe aufsteigen, und so werden sich die Höhen verschiedener Flüssigkeiten, wie umgekehrt ihre spezifischen Gewichte verhalten, geradeso wie es für kommunizirende Röhren stattfand. Hätte die Luft überall die Dichtigkeit, wie sie an der Erdoberfläche stattfindet, so würde die Atmosphäre eine Höhe von etwas über 1 Meile haben. Die Dichtigkeit des Quecksilbers übertrifft die der Luft 10614mal, und die des Wassers 773mal.



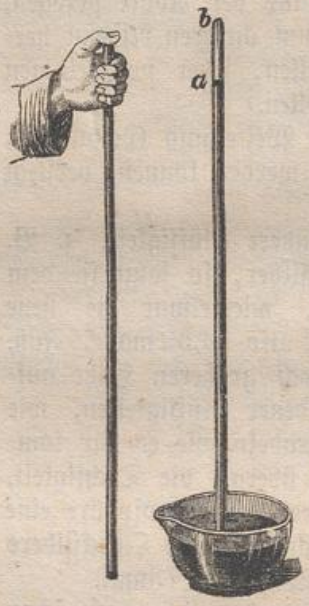
(Fig. 81.)

Diese Betrachtung gilt eigentlich auch schon für den obigen Versuch. Taucht man nämlich zwei gleiche oder ungleich weite offene Röhren (Fig. 81) ae und ac in ein Gefäß mit Quecksilber, so steigt es in beiden so hoch, daß ihr Niveau mit dem äußeren in derselben Ebene nn liegt. Füllt man nun in die eine ae einen Zoll Quecksilber bis o auf, so wird man in die andere 13,59 Zoll Wasser bis r füllen müssen, um das vorige Niveau zu bewahren. Das Quecksilber in den beiden Röhren von n ab abwärts und in dem Gefäße zwischen den Röhren dient nur dazu den Druck der aufgefüllten Flüssigkeiten fortzupflanzen, wie es schon bei den kommunizirenden Gefäßen entwickelt worden ist.

Nun kann man sich statt der durch die Röhre ar abgesperrten Wassersäule eben so gut auf das Quecksilber im ganzen Gefäße Wasser bis zu derselben Höhe r aufgegossen denken, ohne den Stand o des Quecksilbers in der Röhre zu verändern.

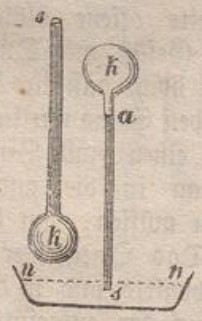
Im vorigen Versuche ist die freie atmosphärische Luft auf das Quecksilber im Gefäße ausgegossen gewesen, und sie vermochte es eine Quecksilbersäule von 28 Zollen oder eine Wassersäule von 31,71 Fuß

im kommunizirenden Rohre zu tragen. Daß in diesem Rohre der Luftdruck von oben beseitigt werden mußte, um die Größe des von unten wirkenden Druckes zu bestimmen, ist aus dem Angeführten klar Es halten also eine Queckſilberſäule von 28 Zollen und die freie Atmoſphäre einander das Gleichgewicht.



(Fig. 82.)

Hat man keinen Stempel zu der Röhre, ſo kann der obige Verſuch auch anders, und zwar ſo angeſtellt werden, wie es Torizelli, der Entdecker des Luftdruckes, gethan hat. Man ſchmilzt die eine Oeffnung der etwa 30 Zoll langen Glasröhre zu, füllt ſie mit Queckſilber, hält auf die Mündung den Finger (Fig. 82, 1), kehrt die Röhre um, ohne Luft in dieſelbe zu laſſen, führt die Mündung unter das Niveau des Queckſilbers in einem Gefäße (2) und nimmt dann erſt den Finger weg. Nachdem dies geſchehen iſt, ſo fällt das Queckſilber von dem verſchloſſenen oberen Ende ſofort etwa um 2 Zoll bis a, ſo daß ba luftleer iſt und das Queckſilber von a bis zum Niveau im Gefäße wie in dem früheren Verſuche etwa 28 Zolle ſteht. Der obere leere Raum heißt die torizelliſche Leere.



(Fig. 83.)

Es iſt klar, daß man dieſen Verſuch dazu benutzen kann, ein Gefäß vollkommen luftleer zu machen. Iſt an das Glasrohr sa (Fig. 83) von etwa 30 Zollen Länge eine Kugel k angeblaſen, füllt man ſie und jene mit Queckſilber, und verfährt man überhaupt wie beim torizelliſchen Verſuche, ſo iſt die Kugel luftleer geworden, wenn as die Höhe der vorigen Queckſilberſäule iſt.

Nachträglich kann man von s aus irgend eine Luftart in die Kugel aufſteigen laſſen, um ſie beſonders zu unterſuchen, wenn die Kugel ſich abnehmen und abſperren läßt.

Wollen wir die Größe des Atmoſphärendruckes auf eine Fläche von beſtimmter Ausdehnung in Gewichten darſtellen, ſo hat dies keine Schwierigkeiten. Da es gleichgiltig iſt, wie weit in den obigen Verſuchen die Röhre iſt, ſo wollen wir uns zunächſt eine vorſtellen, deren horizontaler Querſchnitt grade ein Quadratfuß iſt. Da ferner die Atmoſphäre eine Waſſerſäule von 31,71 Fuß Höhe trägt, und in dieſem Falle in der Röhre 31,71 Kubikfuß Waſſer enthalten ſind, von denen

jeder 66,1 Pfunde wiegt, so ist das Gewicht der ganzen Wassersäule 31,71 mal 66,1 Pfund, d. i. 2196,031 Pfunde; also:

die Atmosphäre übt auf jeden Quadratfuß einen Druck von mehr als 2000 Pfunden, und auf jeden Quadratzoll einen von fast 15 Pfunden aus.

Das auf der ganzen Erdoberfläche lastende Gewicht der Atmosphäre beträgt mehr als 100,000 Billionen Zentner. Wäre kein Atmosphärendruck vorhanden, so würden die Gewässer völlig verdunsten und die Pole würden nur Eismassen haben.

Wenn wir die Körperoberfläche eines erwachsenen Menschen zu 15 Quadratfuß annehmen, so wird dieser Mensch durch die Atmosphäre mit 15 mal 2196 Pfunden, d. i. mit fast 33,000 Pfunden gedrückt. Daß wir diesen enormen Druck nicht nur nicht übel, sondern unter den gewöhnlichen Umständen gar nicht empfinden, hat seinen Grund darin, daß nicht nur die Höhlungen im Inneren unseres Körpers, sondern auch alle Körperbestandtheile: die Knochen, Muskeln, Nerven, das Blut u. s. w. bis auf die Zellen, Luft von derselben Spannkraft enthalten, wodurch das Gleichgewicht hergestellt wird.

Vermag doch eine dünne Seifenblase von 3 Zoll Durchmesser den auf ihre Außenfläche wirkenden Druck von mehr als 400 Pfunden auszuhalten und zwar nur durch den Gegendruck der geringen Menge der eingeschlossenen Luft. Ebenso klar ist es, daß der Druck der Atmosphäre uns weder seitwärts noch abwärts pressen kann.

Begeben wir uns aber in kurzer Zeit auf hohe Berge oder, was auffallender wirkt, steigen wir mit einem Luftballon schnell in höhere Schichten der Atmosphäre, welche eine dünnere Luft enthalten; so drängt sich die Luft in unserem Körper zur Herstellung des gestörten Gleichgewichtes nach außen und namentlich geht das lufthaltige Blut nach der Oberfläche des Körpers. Daher röthen sich die Augen, man bekommt Ohrenstechen, es entsteht Nasenbluten, ja sogar aus Lippen und Zahnfleisch dringt das Blut, es erfolgt ein Andrang nach dem Gehirn, so daß, wie wir gelegentlich schon bemerkt haben, bei bedeutenden Erhebungen in kurzer Zeit Bewußtlosigkeit die Folge ist. Begibt man sich aber allmählig aus dichterer Luft in dünnere, so findet zwischen der Dichtigkeit der in unserem Körper und außerhalb desselben befindlichen Luft eine solche Ausgleichung statt, daß wir eine unangenehme Empfindung nicht haben.

Begibt man sich schnell in dichtere Luft, wie es der Fall ist, wenn man sich in der Taucherglocke unter den Meeresspiegel herabläßt, so findet der umgekehrte Fall statt und es fällt, namentlich anfänglich, schwerer zu sprechen, weil die dabei aus den Lungen kommende Luft einen größeren äußeren Widerstand an der dichteren zu überwinden hat.

Barometer.

Der Druck der Atmosphäre ist weder an verschiedenen Orten zu derselben Zeit, noch an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten stets derselbe. Die gewöhnlichsten Beobachtungen zeigen schon, daß die von der Luft getragene Queckſilberſäule am Fuße eines hohen Thurmes länger ist, als die in großer Höhe, daß sich die Länge der Säule bei veränderter Richtung des Windes, bei Veränderung des Feuchtigkeitszustandes der Luft und in anderen Fällen, z. B. bei Erdbeben, bei hereinbrechenden Stürmen mehr oder weniger bedeutend ändert. Man hat daher seit längerer Zeit schon in sehr verschiedener Weise Instrumente hergestellt, welche es gestatten, den Atmosphärendruck jederzeit genau zu bestimmen; sie heißen Barometer, Schweremeſſer für die Luft.

Wir wollen hier nur drei Arten anführen, nämlich das für gewöhnliche Zwecke dienende Phiolenbarometer (Gefäßbarometer), das zu wissenschaftlichen Zwecken verwendete Heberbarometer, welches mit Benutzung eines besonders eingerichteten Maßstabes (Nonius) die Messung der getragenen Queckſilberſäule bis auf Hundertel einer pariser Linie gestattet, und das Aneroidbarometer, was für Reisen, namentlich auf dem Meere geeignet ist.



(Fig. 84.)

1) Das Gefäßbarometer. An eine oben geschlossene (Fig. 84) etwa 32 Zoll lange überall gleich weite Glasröhre von 2½ Linien innerem Durchmesser schließt sich eine nur gegen 2 Zoll lange zweite, die zu einem oben offenen birnförmigen Gefäße ausgeblasen ist; der größte Theil der langen Röhre, die kurze und ein Theil des Gefäßes enthalten Queckſilber, der oberste Theil der langen Röhre ist aber luftleer. Diese Vorrichtung ist an einem Brettchen befestigt, auf welchem ein in Zolle und Unterabtheilungen eingetheilter Maßstab angebracht ist, der seinen Nullpunkt am Niveau des Queckſilbers im Gefäße hat. Es ist für die gewöhnlichen Beobachtungen nicht nothwendig, den Maßstab von unten an in seine Unterabtheilungen zu zerlegen, sondern erst, wie hier in der Zeichnung von 24 Zollen an, weil an der Erdoberfläche selbst das Queckſilber niemals tiefer fällt.

Das Füllen des langen Schenkels geschieht natürlich durch die Mündung des kurzen, indem man das Glasrohr so weit neigt, daß das Queckſilber über die Biegung weg in den langen Schenkel bis ans geschlossene Ende fließt. Hat man so den langen Schenkel gefüllt und bringt man dann das Instrument in die Lage der Zeichnung, so entsteht natürlich die torizellische Leere und das Gefäß wird

zum Theil gefüllt. Es ist aber für die Richtigkeit des Instrumentes unerläßlich, daß der oberste Raum wirklich luftleer ist und bleibt. Dies zu bewirken, hat seine Schwierigkeiten und wird daher bei diesen Instrumenten leider meistens vernachlässigt. Das Queckſilber muß nämlich selbst durch lange anhaltendes Kochen von der in ihm enthaltenen Luft befreit werden, und die an den inneren Röhrenwänden mit großer Hartnäckigkeit anhaftende Luft kann auch nur durch das Kochen des Queckſilbers in ihr fortgeschafft werden.

Nun fragt sich, welches ist bei diesem Instrumente die von der Atmosphäre getragene Queckſilbersäule, welche man den Barometerstand nennt? Es ist jedesmal die Säule in dem langen Schenkel, welche von dem hier durch den Strich angedeuteten Niveau des Queckſilbers im Gefäße bis ans Ende dieses Schenkels reicht, weil der Theil unter dem Striche nach dem Gesetze der kommunizirenden Röhren von dem Queckſilber im anderen Schenkel bis zum Niveau getragen wird.



(Fig. 85.)

Nur wenn das Niveau des Queckſilbers im Gefäße mit dem Nullpunkte des Maßstabes zusammentrifft, gibt dieses Gefäßbarometer den Barometerstand, also auch den Luftdruck richtig an; für jeden anderen Luftdruck aber um so ungenauer, je enger das Gefäß ist; denn vermindert sich der Luftdruck, so fällt das Queckſilber im langen Schenkel, steigt also im Gefäße, freilich um weniger, aber immer so, daß daß das jetzige Niveau über dem Nullpunkte des festen Maßstabes liegt. Wenn man also auf dem Maßstabe den neuen kleineren Barometerstand abliest, so ist er immer noch zu groß, weil von ihm noch die Erhebung des Niveaus im Gefäße abgezogen werden müßte.

Steigt dagegen bei wachsendem Luftdrucke das Queckſilber im langen Schenkel, so fällt es, wenn auch weniger, im Gefäße, und das neue Niveau ist unter dem Nullpunkte des Maßstabes, so daß zu dem abgelesenen Barometerstande noch diese Senkung addirt werden müßte, um den richtigen Barometerstand zu bekommen.

Auf diese Weise geben also die gewöhnlich gebräuchlichen Gefäßbarometer niedrige Barometerstände zu hoch und hohe zu niedrig an, wenn ihr Maßstab für einen mittleren Stand eingerichtet worden ist.

2) Von diesen Fehlern frei sind die für meteorologische und andere wissenschaftliche Zwecke eingerichteten Heberbarometer (Fig. 85). Der Unterschied dieses Barometers von dem vorigen besteht zunächst darin, daß der kürzere Schenkel kein Gefäß trägt, sondern um einige Zolle verlängert und genau gleich weit mit dem längeren ist, so daß das Queckſilber, wenn es im langen Schenkel steigt oder fällt, in diesem um gleichviel be-

ziehungsweise fällt oder steigt. Weil nun die Barometerhöhe stets von dem Niveau des Queckfilbers im kürzeren Schenkel als Nullpunkt zu rechnen ist, so muß die Einrichtung so getroffen sein, daß der Nullpunkt des Maßstabes immer mit diesem Niveau zusammen gelegt werden kann. Demnach kann man, wie hier in der Zeichnung, durch eine an dem unteren Theile des Glasrohres angreifende Schraube dieses mit dem Niveau des kürzeren Schenkels auf den Nullpunkt einstellen, oder, was noch zweckmäßiger ist, den Maßstab durch eine Schraube mit seinem Nullpunkte auf das Niveau bringen.


(Fig. 86.)

Da das Queckfilber sich im Glase nach oben halbkugelförmig abrundet oder eine konvexe Fläche bildet, so geschieht das genaue Einstellen unten in den Nullpunkt, so wie das Einstellen oben für das Ablesen am besten dadurch, daß man einen horizontal frei oder in einem Mikroskope ausgespannten schwarzen Faden als Berührungslinie der Queckfilberkuppe zu erhalten sucht, wie es Fig. 86 angibt.

Feinere Instrumente schützt man vor dem Zerbrechen dadurch, daß man die Glasröhre fast vollständig in einer Holzumfassung verbirgt und von ihr nur die Theile oben und unten sichtbar werden läßt, in denen für gewöhnlich die Schwankungen des Queckfilbers stattfinden.

Um die Stellen des Glases, an denen im kürzeren Schenkel das Queckfilber mit der Luft in Berührung kommt, immer rein zu erhalten, was für das genaue Einstellen in den Nullpunkt wichtig ist, gibt man dem Instrumente in den Zwischenzeiten seines Gebrauches eine schräge Lage, so daß der leere Raum auch erfüllt wird. Wenn man nach dem Herablassen desselben beobachten will, so muß man darauf sehen, daß es genau im Lothe hängt, und daß das Queckfilber an der Röhre nicht haftet, was durch einige mäßige Schläge mit dem Finger an das Instrument vermieden wird.

Da das Queckfilber, wie jede andere Flüssigkeit, etwas Luft anzieht, so ist es nothwendig, das Barometer, wenn auch immer nur nach mehren Jahren, auszukochen. Wenn beim Neigen des längeren Schenkels das Queckfilber nur einen matten oder gedämpften Schlag an den Verschluß gibt, so ist dies ein Zeichen, daß der obere Raum nicht absolut luftleer ist, und man wird in diesem Falle sogar oft ein Luftbläschen über dem Queckfilber erkennen. Solche Barometer sind untauglich, weil sie stets einen zu niedrigen Stand angeben, indem die abgesperrte Luft das Queckfilber etwas herabdrückt.

Damit der Verschluß beim Anschlagen des Queckfilbers nicht zerstoßen werde, läßt man die Röhre gegen das obere Ende sich etwas verengen und dann wieder erweitern, wodurch der Stoß geschwächt wird.

Will man das Instrument auf Reisen verwenden, so gibt man dem kürzeren Schenkel einen besonderen Verschluß, indem man einen kegelförmigen Kork, durch welchen ein Haarröhrchen geht, bis auf das Queck-

silber schiebt, nachdem dieses durch Neigen die torizellische Leere ausgefüllt hat. Trägt man ein Barometer auf kurze Strecken, so muß man es stets so schräg halten, daß die torizellische Leere ausgefüllt bleibt, weil sonst das Quecksilber durch die Schwankungen aus dem kürzeren Schenkel fließen würde.

3) Auf Seereisen lassen sich Quecksilberbarometer zu genauen Beobachtungen nicht anwenden, weil die nie ausbleibenden Schwankungen der Schiffe ein genaues Einstellen unmöglich machen, überdies aber sind sie Verletzungen und dem Verluste eines Theiles des Quecksilbers allzuleicht ausgesetzt. Auf dem Meere kommt es weniger auf eine zusammenhängende Reihe von feinen Beobachtungen an, als vielmehr auf die Beantwortung der Frage, ob der Luftdruck zu- oder abnimmt, und in welchem Maße dieses ungefähr geschieht.



(Fig. 87.)

Für solche Zwecke, so wie für Luftfahrten und Fußreisen, sind die Aneroidbarometer geeignet. Fig. 87 gibt das Bourdonsche Metallbarometer an.

Innerhalb einer kreisförmigen Metallkapsel befindet sich eine luftleere, flachgedrückte, also bandförmige Röhre von dünnem Messingbleche, welche fast einen vollständigen Kreis bildet. Sie ist nur in ihrer Mitte bei M an den Rand der dosenförmigen Kapsel befestigt, so daß sie übrigens ganz frei beweglich schwebt, indem die größere äußere Fläche der Kapselwand, die kleinere innere dem Mittelpunkte zugewendet ist, und die schmaleren Kanten der Röhre nach dem Boden und der Decke der Kapsel liegen. An den freien Enden a und e befinden sich zwei Drähte ab und dc, welche an den Enden eines Stäbchens bc angreifen, welches in seiner Mitte einen gezahnten Kreisbogen nm festhält; die Zähne dieses Bogens greifen in die Zähne eines kleinen Getriebes, dessen Axe den großen auf der Außenfläche befindlichen Zeiger trägt. Außerdem ist in der Mitte des Stäbchens bc eine dünne Spirale befestigt, deren Ende mit ab verbunden ist.

Da die innere Fläche der Röhre kleiner ist, als die äußere, so ist unter allen Umständen der Druck der Atmosphäre auf jene geringer, als auf diese. Nimmt nun dieser Druck zu, so nimmt er für die größere Fläche mehr zu, als für die kleinere, und die Röhre wird sich mehr krümmen müssen, der gezahnte Bogen bewegt sich von n nach m hin und die Spitze des Zeigers von links nach rechts. Nimmt der Atmo-

sphärendruck ab, so nimmt er für die äußere Fläche der Röhre mehr ab, als für die innere, und sie muß flacher werden, die Enden a und d müssen auseinander und der Zeiger muß zurückgehen, welche Bewegungen durch den Zug der Spirale unterstützt, aber nicht bewirkt werden dürfen.

Wenn man nun die gleichzeitig stattfindenden Barometerstände eines guten Heberbarometers auf den Umfang der Kapsel an die Stellen, welche der Zeiger jedesmal einnimmt, aufzeichnet, so leistet dieses Instrument wenigstens so viel, daß man Unterschiede des Luftdruckes von ¼ Linie Barometerstand noch wahrnehmen kann.

Zu leugnen ist zwar nicht, daß das Aneroidbarometer nach und nach etwas unempfindlicher wird, und daß man den Einfluß des Temperaturwechsels nicht in einer solchen Weise durch Rechnung beseitigen kann, wie wir es bei den Quecksilberbarometern später werden kennen lernen; es bietet aber viele Bequemlichkeiten und doch auch eine ziemliche Genauigkeit auf lange Zeit dar.

Barometerbeobachtungen.

Wir wissen bereits, daß die Expansivkraft der Luft, also auch die Kraft, mit welcher sie auf das Quecksilber des Barometers drückt, in einer Stube eben so groß sein muß, wie in derselben Horizontalebene außerhalb. Es zeigen ferner die gewöhnlichsten Erfahrungen schon, daß die Wärme, die Luft und die Metalle, hier das Quecksilber und die Skale oder den Maßstab des Barometers ausdehnen. Daraus folgt nun, daß bei demselben äußeren Luftdrucke das Barometer in der Stube je nach der Verschiedenheit der Temperatur auch einen verschiedenen Stand haben wird, daß man also genöthigt ist, um aus der in der Stube gemachten Beobachtung den wahren Luftdruck zu ermitteln, den Einfluß der Temperatur zu beseitigen.

Um nun vergleichende Beobachtungen für verschiedene Zeiten und denselben Ort oder für verschiedene Orte und dieselbe Zeit oder verschiedene Zeiten und Orte anstellen zu können, muß man alle Beobachtungen durch Rechnung so abändern, daß sie für dieselbe Temperatur, als welche man Null Grad angenommen hat, gelten.

Durch äußerst genaue Beobachtungen weiß man, daß sich das Quecksilber für jeden Wärmegrad nach Celsius um 0,00018, und Messing um 0,0000189 seiner Länge ausdehnt, und hat nun Tabellen entworfen, durch welche der beobachtete Barometerstand auf 0 Grad zurückgeführt wird. Bei Vernachlässigung des Einflusses einer höheren Temperatur des Quecksilbers wäre der Barometerstand zu hoch, und bei Nichtberücksichtigung dieses Einflusses auf die Metallskale zu niedrig angegeben worden.

Wenn an einem bestimmten Orte zu einer bestimmten Zeit der Luftdruck, also auch der Barometerstand ein gewisser ist, so wird er ein

kleinerer, wenn man sich senkrecht über oder nahe neben ihm erhebt. Bliebe bei diesen Erhebungen die Temperatur der Luft überall dieselbe, so würde es keine großen Umstände machen, aus dem Fallen des Barometerstandes die Größe der Erhebung zu ermitteln, indem bei 0 Grad an der Erdoberfläche das Queckſilber um 1 Linie fällt, wenn man sich um 73 Fuß erhoben hat und bei weiteren Erhebungen um je 73 Fuß der Barometerstand gesetzmäßig immer um weniger abnehmen muß. Da aber die Luft nach oben kälter, also dichter wird, so drückt sie mehr, als es in derselben Höhe der Fall sein würde, wenn der Temperatur dieselbe wärmere geblieben wäre; also würde man die Erhebung nach dem beobachteten zu großen Barometerstande zu klein beurtheilen. Kommt man bei der Erhebung in der Atmosphäre in eine warme Luftströmung mit lockerer Luft, welche weniger drückt; so ist der Barometerstand niedriger, als er der betreffenden Erhebung zukommt, wenn die Temperatur dieselbe geblieben wäre, also beurtheilt man die Erhebung mit Beibehaltung der höheren Temperatur allzu groß. Will man in diesen Fällen also die wirkliche Erhebung ermitteln, so muß der Einfluß des Temperaturwechsels beseitigt werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß eine Luftsäule für jeden Zentesimalgrad zunehmender Wärme sich um 0,003665 ihrer Länge ausdehnt.

Da das Barometer für die Beurtheilung von Witterungsverhältnissen entschieden ein höchst wichtiges Instrument ist, und da es hierbei nicht auf einzelne Beobachtungen, sondern auf große Reihen derselben ankommt, so wollen wir die dabei vorkommenden allgemeinen Verhältnisse anführen.

Wollte man den mittleren Barometerstand für einen Tag recht genau haben, so müßte man das Instrument in gleichen Zwischenzeiten recht oft, etwa stündlich, beobachten, die sämmtlichen Beobachtungen addiren und die erhaltene Summe durch die Anzahl dividiren. Da dies aber schwer ausführbar ist, so hat man drei Zeiten des Tages zu ermitteln gesucht, von denen das Mittel der angestellten Beobachtungen fast genau mit dem vorigen zusammen fällt, und diese Zeiten sind 6 Uhr früh, 2 Uhr Mittags und 10 Uhr Abends. 7 Uhr früh ist weniger gut, als 6 Uhr.

Wenn man diese täglichen Mittel von fünf Tagen addirt und die Summe durch fünf dividirt, so bekommt man die fünftägigen Mittel, und in gleicher Weise kann man die monatlichen und die Jahresmittel für einen bestimmten Ort aus den Beobachtungen berechnen.

Hat man diese Beobachtungen und Rechnungen, bei welchen stets die für 0 Grad Temperatur berechneten Zahlen zum Grunde gelegt werden, für eine recht große Anzahl von Jahren angestellt, so hat man Resultate erreicht, aus denen sich das Gesetzmäßige des Atmosphärendruckes ermitteln läßt. Obwohl erst in den letzten Jahrzehnten mit ganz guten Instrumenten an sehr vielen Orten der Erdoberfläche, na-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mentlich in Europa, besonders in Deutschland, und vorzugsweise in Preußen, genaue Beobachtungen angestellt worden sind, so lassen sich doch bereits einige allgemeine Resultate angeben, wovon wir das Wichtigste anführen.

Es gibt regelmäßige Schwankungen, die sich nach Tages- und Jahreszeiten richten, und unregelmäßige. Jene werden durch diese, besonders in den gemäßigten Zonen, sehr verdeckt und können nur durch größere Beobachtungsreihen erkannt werden.

Bei diesen Betrachtungen ist es wichtig, den Barometerstand, wie er hervorgebracht wird durch den Druck der Luft und den in ihr enthaltenen Wasserdunst zu unterscheiden von dem Drucke der bloßen trockenen Luft, welchen man natürlich dadurch erhält, daß man von dem beobachteten Barometerstande den durch die in der Luft zu dieser Zeit grade vorhandenen Dämpfe bewirkten abzieht. Der Dampfdruck muß natürlich besonders ermittelt werden, wozu wir in der Lehre von der Wärme die nöthigen Instrumente und Anleitungen geben werden. Zunächst betrachten wir den Gesammtdruck.

In Europa ist der Gang des Barometers so ziemlich folgender: zwischen 9 und um 10 Uhr vormittags und 10 Uhr abends steht es am höchsten, zwischen 3 und 4 Uhr nachmittags und um 4 Uhr früh steht es am tiefsten. Im Sommer rücken die Zeiten für den dem Mittage vorangehenden höchsten und nachfolgenden tiefsten Stand etwas von dem Mittage fort.

In den Tropen ist der Wechsel des Luftdruckes am regelmäßigsten, nnd es beträgt der Unterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Stande 1,3 Linien; in den gemäßigten Zonen weniger (in Wien 0,4, in Paris 0,3); in den Polargegenden wird er nach und nach unmerklich. In höheren Regionen der Atmosphäre verschwinden diese Schwankungen auch nach und nach; auf dem Rigi z. B. betragen sie nur noch 0,1 Linie. Manche Inseln, wo ein fortwährender Ueberfluß an Wasserdampf ist, und manche Binnenländer, wo der Wasserdampf sehr fehlt, haben täglich nur einmal einen höchsten und tiefsten Stand.

In Betreff der jährlichen Schwankungen ist für unsere gemäßigte Zone zu bemerken, daß im Allgemeinen in den kältesten Zeiten des Jahres der stärkste Luftdruck stattfindet und in der warmen sich der niedrigste zeigt; doch sind auch hier zwei höchste Barometerstände, nämlich im Januar und August, und zwei tiefste, im April und Oktober, bemerklich, wobei der Unterschied zwischen dem mittleren höchsten und tiefsten Stande nur etwa 1½ Linie beträgt.

Die unregelmäßigen Schwankungen bewegen sich in den Tropen nur innerhalb enger Gränzen und haben mit zunehmender geographischer Breite einen wachsenden Spielraum, so daß für das mittlere Deutschland zwischen den überhaupt vorkommenden höchsten und tiefsten Barometerständen ein Unterschied von fast 2½ Zoll liegt. Durchschnittlich

ist der Unterschied bei 15 Grad nördlicher Breite 2 Linien, bei 25 Gr. Br. 4 Linien, bei 40 Gr. 8 Linien, bei 70 Gr. sogar 18 Linien.

Will man die Ursachen für die Aenderungen des Barometerstandes erforschen, so muß man Zweierlei berücksichtigen, nämlich daß durch die Zunahme der Wärme 1) die Dichtigkeit der Luft, also auch ihr Druck vermindert, 2) aber die Verdunstung des Wassers an der Erdoberfläche befördert und somit der Druck der Dünste vergrößert wird.

Es kommt bei dieser Verminderung und Vermehrung nicht blos auf die Tages- und Jahreszeiten und die geographische Breite eines Ortes an, sondern auch auf seine sonstige Lage und Umgebung. Inseln haben in der heißen Jahreszeit einen großen Dunstdruck aufzuweisen, wasserarme Binnenländer einen geringen, dort muß also der Gesammtdruck auf das Barometer größer sein als hier. Die große Auflockerung der Luft über dem Innern Asiens bringt dort einen niedrigen Barometerstand hervor, während er an den Orten, wohin die emporsteigende Luft abfließt, höher werden muß.

Die Abnahme des Dunstdruckes mit Zunahme der geographischen Breite wird durch folgende Tabelle deutlich:

Bei einer nördlichen Breite von	0	Gr.	beträgt	der	Dunstdruck	8,0	Linien.
=	=	=	=	=	10	=	=	=	=	7,8	=
=	=	=	=	=	20	=	=	=	=	7,6	=
=	=	=	=	=	30	=	=	=	=	6,5	=
=	=	=	=	=	40	=	=	=	=	5,6	=
=	=	=	=	=	50	=	=	=	=	4,0	=
=	=	=	=	=	60	=	=	=	=	2,0	=
=	=	=	=	=	70	=	=	=	=	0,5	=

Während in den Tropengegenden der Dunstdruck am größten ist, muß der Druck der dunstfreien oder trockenen Luft am geringsten sein; in den Polargegenden ist es umgekehrt. Daraus ergibt sich, daß weder dort noch hier der Gesammtdruck am größten sein wird, sondern daß dies etwa bei 30 Grad Breite, in der sogenannten subtropischen Zone, der Fall ist. Ferner folgt, daß in unseren Breiten der zweite höchste Jahresstand des Barometers im August nur durch den überwiegenden Dunstdruck hervorgebracht ist, so daß wir ohne Dunstdruck nur einmal einen höchsten, also auch nur einmal einen tiefsten Barometerstand hätten, wie es in wasserarmen, natürlich aber auch in sehr wasserreichen Gegenden wirklich der Fall ist, weil in diesem Falle der Einfluß des Wasserdampfes ein während des ganzen Jahres sich ziemlich gleich bleibender ist.

Wie bei ruhiger Luft die regelmäßigen täglichen Schwankungen entstehen, läßt sich leicht nachweisen. Der erste höchste Stand wird dadurch hervorgebracht, daß in den unteren Schichten der Atmosphäre noch kältere Luft vorhanden ist, während in den oberen durch den Einfluß der Sonnenwärme die neblichen Dünste in Dampf verwandelt werden; bei

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

steigender Temperatur an der Erdoberfläche wird die ganze Luft darüber leichter, und da um 2 Uhr nachmittags die größte Wärme stattfindet, so ist um 3 Uhr, nachdem die aufgestiegene warme Luft theilweise seitwärts abgeflossen ist, der erste tiefste zu bemerken. Da sich aber durch die Wärme an der Erdoberfläche das Wasser mehr und mehr in Dämpfe auflöst, so muß das Queckfilber wieder steigen und erlangt erst abends 10 Uhr, nachdem sich in den tiefsten Schichten der Dampf niedergeschlagen und die Luft abgekühlt hat, das zweite Mal einen höchsten Stand, um dann in der Nacht bei fortwährender Niederschlagung der Dämpfe, ohne daß die Luft sich noch bedeutend abkühlt, das zweite Mal einen tiefsten Stand zu erlangen.

Die unregelmäßigen Schwankungen werden vorzüglich durch die Winde erzeugt, die nach ihren Richtungen kalte oder warme Luft zuführen und entweder das Wasser in Dampf auflösen, oder die Dämpfe in Wasser verwandeln.

Kommt bei uns ein Südwind, so bringt er vom Aequator her wärmere, dünnere, leichtere, aber mit mehr Dampf versehene Luft. Trifft nun diese Luft auf kältere, so entstehen aus den vorher unsichtbaren Wasserdämpfen Wolken und Regen und das Barometer sinkt; weht aber dieser warme Südwind längere Zeit über uns hinweg, so nimmt er noch mehr Wasser in Dunstgestalt auf, und das Barometer steigt. Wenn dagegen ein kalter, dichterer und schwererer Polarstrom mit weniger Dampf ankommt, so wird er zwar die vorhandenen Dünste der wärmeren Luft, auf die er trifft, auch in Wasser verwandeln, was ein Fallen des Barometers bewirkt; wenn er aber andauert, so muß es steigen, und zwar mehr, als bei einem andauernden Südwinde.

Wir können also im Allgemeinen sagen, bei südlichen Winden fällt und bei nördlichen steigt das Barometer; bei Regen fällt es, bei heiterem Wetter, wenn die Luft mit unsichtbarem Dampf erfüllt ist, steigt es oder steht hoch.

Diese Betrachtungen sind es, welche dem Barometer den Namen Wetterglas gegeben haben, als ob man unter allen Umständen durch dasselbe das Wetter invoraus angeben könne, was durchaus nicht der Fall ist. Das Barometer für sich allein zeigt nichts weiter an, als den Druck der Luft und der in ihr in sehr verschiedener Menge enthaltenen Wasserdämpfe. Zur Beurtheilung des Wetters gehört noch die Untersuchung des Dunstdruckes, dessen Größe von der Menge und Temperatur der vorhandenen Wasserdämpfe abhängt, die Beobachtung des Windes nach Richtung, Wechsel und Dauer, und die Berücksichtigung der geographischen Lage des Beobachtungsortes.

Denken wir uns z. B., daß an einem Orte die Luft so viel Wasser in Dunstgestalt enthielte, als sie nur immer bei der betreffenden Temperatur zu tragen vermag, so kann heiteres oder trübes Wetter folgen, jenachdem ein warmer oder kalter Wind einbricht, weil jener

die Dünste noch mehr auflösen, dieser aber verdichten wird, so daß nur im letzten Falle Nebel oder Niederschläge entstehen.

Ferner wird es nicht gleichgiltig sein, durch welche Drehung ein Wind aus einer gewissen Richtung, z. B. ein Nordwind, entstanden ist, ob er nämlich vorher ein Nordwest oder Nordost war; für Deutschland wird nämlich jener Feuchtigkeit, dieser Trockenheit bringen, denn jener kam vorzüglich über Meere, dieser über Länder.

Endlich ist die geographische Lage bestimmend für den Wassergehalt der Winde aus gewissen Richtungen. Die Westwinde z. B. sind für das westliche Europa feucht, weil sie die Dünste des atlantischen Ozeans mit sich führen, aber für die Ostküste Nordamerikas sind sie trocken, weil sie das vom stillen Ozean aufgenommene Wasser größtentheils an der von der Norden nach Süden im Westen des Kontinents sich hinziehenden Gebirgswand abgesetzt haben.

Wir sehen also, daß es weggeworfenes Geld ist, wenn man sich ein Wetterglas mit den bekannten feststehenden Bezeichnungen, wie sie auf den häufig ausgebotenen und dabei meist sonst noch schlechten Instrumenten enthalten sind, anschafft, um an ihm allein einen sicheren Anhaltspunkt fürs künftige Wetter zu haben. Bei anhaltend heiterem Wetter steht das Barometer hoch und bei anhaltend schlechtem tief; diese Thatsachen sind aber nur Folgen und keine Ursachen. Aber eines ist doch unzweifelhaft, nämlich schnelles und bedeutendes Fallen des Barometers kündigt einen hereinbrechenden Sturm, seltener nur ein bedeutendes Gewitter an. Der Grund davon liegt wohl darin, daß das nach unten wirkende Gewicht der Luft durch die horizontal wirkende Kraft des Windes vermindert wird, wie wir es früher bei einem schnell fahrenden Schlittschuhläufer oder Eisenbahnzuge erwähnten.

Durch eine sehr große Reihe von Beobachtungen auf der meteorologischen Station Posen veranlaßt, machte ich bereits vor einer Reihe von Jahren in den öffentlichen Blättern darauf aufmerksam, daß man diese Barometerbeobachtung benutzen solle, um auf telegraphischem Wege die Schiffer in den verschiedenen Häfen des benachbarten Meeres von dem Auslaufen abzuhalten oder andere durch Signale zurückzurufen. In der That sind an der englischen und zum Theil an der französischen Küste eine Menge von Stationen für solche Warnungssignale angelegt, durch welche schon so manches Schiff vor dem Untergange gerettet worden ist.

Es bleibt der Zukunft vorbehalten, aus den bereits angestellten, ungemein zahlreichen und den noch lange Zeit hindurch anzustellenden Beobachtungen ein noch gründlicheres System der Meteorologie aufzubauen, durch welches wir nicht blos das Geschehene zu erklären im Stande sind, sondern auch, wenn auch nur die nächsten Ereignisse vorherzubestimmen vermögen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Barometrische Höhenmessung und Mariottes Gesetz.

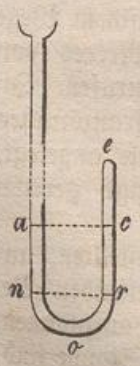
Sehr wesentliche und wenig unsichere Dienste leistet uns das Barometer in der Geographie, nämlich zu den Höhenmessungen.

Wenn wir auch Bedenken tragen müssen, in diesem Werke eine Anleitung zu dem Verfahren für Höhenmessungen zu begründen, so müssen wir der Wichtigkeit der Sache wegen doch Einiges anführen und schließlich eine Formel angeben, nach welcher diejenigen Leser, welche im Stande sind, mit Logarithmen zu rechnen, Höhenbestimmungen vornehmen zu können.

Selbst wenn man auch nur in einem höheren Gebäude mit einem Barometer von dem untersten nach dem obersten Stockwerke geht, findet man, daß das Queckſilber fällt. Dieses Fallen beträgt, wenn man vom Meeresspiegel an 73 Fuß oder fast 4 Meter aufwärts steigt, 1 pariser Linie; steigt man nun weitere 73 Fuß aufwärts, so kann das Queckſilber nicht wieder um 1 Linie fallen, sondern um weniger, weil die Luft nach oben zu weniger dicht ist, oder, wenn man es wieder um 1 Linie wollte fallen sehen, so müßte man höher, als 73 Fuß steigen.

Dieses Fallen des Barometerstandes steht aber mit dem Steigen in der Atmosphäre nicht in einem willkührlichen, sondern in einem gesetzmäßigen Zusammenhange, denn die Dichtigkeit der Luft steht bei einer bestimmten Temperatur im graden Verhältnisse zu dem Drucke, welchem sie ausgesetzt ist, und welchen sie auch wieder ausübt, denn mit der Dichtigkeit wächst ihre Expansivkraft im graden Verhältnisse und das Volumen im umgekehrten.

Es hat keine Schwierigkeit dieses auch für die zukünftigen Betrachtungen, namentlich bei der Beurtheilung der Wirkungen des Dampfes höchst wichtige, nach Mariotte benannte Gesetz durch die Erfahrung zu bestätigen.



(Fig. 88.)

Man nimmt eine überall genau gleichweite zweischenklige Glasröhre (Fig. 88), von welcher das Ende des langen Schenkels offen und trichterförmig, der kürzere e geschlossen ist. Gießt man bei lothrechter Stellung der Doppelröhre etwas Queckſilber ein, so wird es die Luft im kürzeren Schenkel zwar zusammendrücken und wegen des dadurch hervorgebrachten größeren Widerstandes nicht so hoch stehen, als im längeren Schenkel; aber man kann es durch Herauslassen einiger Luftblasen, indem man das Instrument neigt, leicht dahin bringen, daß das Queckſilber in beiden Schenkeln bei lothrechter Stellung des Instrumentes genau in derselben Horizontalebene sein Niveau hat, z. B. in n und r. Ist dies erreicht, so drückt die im kürzeren Schenkel abgesperrte Luft auf das Queckſilber desselben ebenso stark, als die freie Atmosphäre auf das Queckſilber des offenen Schen-

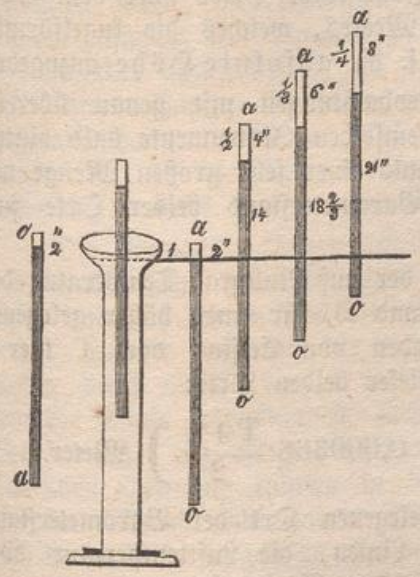
kels und die abgesperrte Luft ist dem Drucke einer Atmosphäre ausgesetzt.

Füllt man nun bei unveränderter Lage des Instrumentes auf n so viel Queckſilber, daß durch seinen Druck die Luft im kürzeren Schenkel, welche zuerst den Raum re einnahm, auf die Hälfte ihres Volumens beschränkt ist, nämlich auf ce, wenn ce = ½ re ist; so zeigt es sich, daß die Länge der Queckſilbersäule, welche von dem Niveau des c oder von a aus bis ans Ende reicht, dem grade stattfindenden Barometerstande gleich ist, daß also auf a ein doppelter Atmosphärendruck lastet, welcher bis c ungeschwächt fortgepflanzt wird, daß also auch die auf die Hälfte ihres früheren Volumens zusammengedrückte Luft dem doppelten Atmosphärendrucke das Gleichgewicht hält.

In gleicher Weise würde der dreifache Atmosphärendruck die Luft auf den dritten Theil ihres Raumes beschränken u. s. w. Das Gesetz hat sich bei einem Drucke, welcher das Hundertfache eines Atmosphärendruckes angibt, noch als richtig gezeigt.

Von anderen Luftarten werden manche durch Vermehrung des Druckes tropfbar und dann nimmt ihre Expansivkraft an der Gränze dieser Verwandlung ab.

Daß das obige Gesetz nicht blos für einen größeren, sondern auch für einen kleineren Druck gilt, als für den einer Atmosphäre, läßt sich auf folgende Weise zeigen.



(Fig. 89.)

Eine überall gleich weite Glasröhre oa, von etwa 36 Zollen Länge (Fig. 89), wird bis auf etwa 2 Zolle mit Queckſilber gefüllt, die Mündung o verschlossen, unter das Queckſilberniveau eines hinreichend langen Zylinderglases gebracht und dann der Verschluß aufgehoben.

Es ist natürlich, daß beim Umkehren der Röhre die 2 Zoll Luft aufwärts an den Verschluß steigen und dort auch 2 Zoll von der Röhrenlänge einnehmen, ferner daß beim Oeffnen der Röhre dicht unter dem Niveau das Queckſilber in ihr mehr fällt und nicht eine so hohe Säule bildet, als beim Versuche von Torizelli, weil über dem Queckſilber Luft ist, welche einen Theil des Atmosphärendruckes aufhebt, und zwar um so weniger,

je länger die Röhre ist, je mehr also die 2 Zoll Luft sich ausbreiten können.

Drückt man die Röhre in den Zylinder hinab, so verengt sich der Raum für die abgesperrte Luft mehr und mehr, ihre Druckkraft auf das Quecksilber wächst, bis sie endlich der von der äußeren Luft gleich ist, wenn das Quecksilber in der Röhre mit seiner Kuppe im Niveau des Quecksilbers im Zylinder steht. Die Luft nimmt dann in der Röhre wieder 2 Zolle ein, wie es nebenbei angedeutet ist.

Zieht man die Röhre dann aufwärts, so vergrößert sich sowohl die Länge der Luft-, als auch die der Quecksilbersäule, aber in einer ganz gesetzmäßigen Weise: nimmt nämlich die Luft einen 2, 3, 4 .... mal größeren Raum ein (4, 6, 8 .... Zolle), so gehören dazu Quecksilbersäulen, die von dem zu dieser Zeit stattfindenden Barometerstande (z. B. von 28 Zollen) $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ .... sind, also 14″, 18⅔″ 21″ ...., so daß zu dem vollen Barometerstande $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ .... fehlen und die abgesperrte Luft nur noch $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ .... von dem ganzen Atmosphärendrucke erleidet, wobei ihre Dichtigkeit auch nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ .... von der früheren ist.

Diese Betrachtungen gelten in aller Strenge natürlich nur dann, wenn die Temperatur der Luft und des Quecksilbers unverändert bleibt, aber führen mit ihrer Berücksichtigung dazu aus der Größe der gleichzeitig oder wenigstens in einer ganz kurzen Zwischenzeit beobachteten Barometerstände zweier ungleich hohen Orte den Höhenunterschied, d. i. die relative Höhe oder auch die Höhe eines Ortes über dem Spiegel des unter diesem Orte gedachten Meeres, welches die kugelförmige Gestalt der Erde verlangen würde, d. i. die absolute Höhe anzugeben.

Kann man nicht gleichzeitige Beobachtungen mit genau übereinstimmenden Instrumenten oder mit demselben Instrumente bald hintereinander anstellen, so muß man den aus einer sehr großen Menge von Beobachtungen erhaltenen mittleren Barometerstand beider Orte zum Grunde legen.

Wenn für einen bestimmten Ort der auf Nullgrad Temperatur des Quecksilbers zurückgeführte Barometerstand B, für einen höher gelegenen Ort b, die Lufttemperatur nach Graden von Celsius dort T hier t heißt, so ist der Höhenunterschied x dieser beiden Orte:

$$18398\ (\log B - \log b)\left(1 + 0{,}000366\,\frac{T+t}{2}\right) \text{ Meter.}$$

Wäre z. B. für den niedrig gelegenen Ort der Barometerstand 334,5 Linien, für den höheren 302,6 Linien, die Lufttemperatur dort 16° C., hier 7° C.; so wäre der besondere Ausdruck:

$$18398\ (\log 334{,}5 - \log 302{,}6)\left(1 + 0{,}000366\,.\,\frac{16+7}{2}\right)$$

Ausrechnung:

$\frac{16+7}{2} = \frac{23}{2}$ ist 11,5, multiplizirt mit 0,000366, gibt als Produkt 0,0042090, dazu addirt 1, , gibt 1,0042090

log 334,5 ist 2,5243961
log 320,6 ist 2,5059635
ihr Unterschied 0,0184326

Also der obige Ausdruck ist jetzt:

18398 . 0,0184326 . 1,0042090.

Durch Ausführung der beiden Multiplikationen erhält man:

340,82 Meter als Höhenunterschied der beiden Orte.

Bei einer Erhebung von 8 Meilen würde der Barometerstand nur noch 1 Millimeter betragen und die Dichtigkeit der Luft so gering sein, wie man sie nur durch die besten Luftpumpen erreichen kann; bei 13000 Fuß Höhe ist die Dichtigkeit etwa ½ von der an der Oberfläche des Meeres. — Bei 760 Millimeter Barometerstand und 0° Temperatur wiegt ein rheinländischer Kubikfuß trockene Luft 39,98 Gramme oder 656,47 preußische Gran.

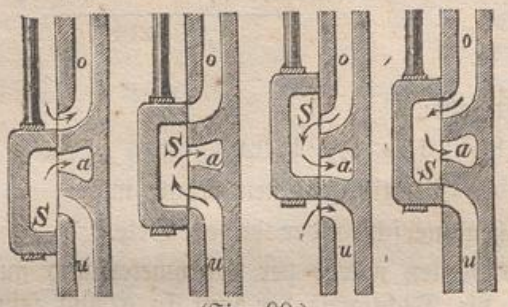
Von den Ventilen und Hähnen.

Da wir in den folgenden Betrachtungen öfterer werden Veranlassungen haben, Vorrichtungen anzuwenden, um zwei, drei oder vier Räume entweder mit einander zu verbinden oder sie ganz oder theilweise von einander abzuschließen; so wollen wir, um späterer Einschaltungen und Unterbrechungen überhoben zu sein, hier das Wesentlichste davon im Zusammenhange anführen. Bei manchen dieser Vorrichtungen ist es gleichgiltig, ob die Räume tropfbare Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe enthalten; manche dagegen sind nur für besondere Zwecke geeignet.

Die Ventile können bei Luftpumpen zunächst Blasenventile sein, welche sehr dauerhaft sind. Man nimmt ein recht gleichmäßig dickes und mit keinem Fett überzogenes Stück einer Schweinsblase und bindet dasselbe naß auf die recht eben, aber matt geschliffene Metallplatte, durch welche die zu verschließende kleine Oeffnung geht. Nachdem die Blase getrocknet ist, schließt sie sehr genau und unterbricht die Verbindung. In einiger Entfernung von der in der Metallplatte befindlichen Oeffnung müssen in die Blase einige kleine Löcher gestochen werden. Durch unbedeutende Hebungen und Senkungen der Blase wird die Verbindung hergestellt oder unterbrochen.

Die Scheibenventile sind entweder Klappen, welche sich nach einer Seite hin öffnen lassen, oder Schieber, welche hin und her geschoben werden können, und heißen im letzten Falle auch Schieberventile.

Die Klappenventile bestehen wie bei den Straßenpumpen entweder aus Sohlenleder, welches einseitig befestigt, dabei beweglich angebracht und beschwert ist, oder aus Metallplatten.



(Fig. 90.)

Die Schieberventile sind je nach den Zwecken sehr verschieden geformt. Wir wollen eines anführen, wie es bei Dampfmaschinen brauchbar ist. In Fig. 90 führe der Kanal o nach der einen und u nach der anderen durch den Kolben gebildeten Abtheilung des Stiefels, a stehe mit der äußeren Luft (oder mit dem Kondensator) in Verbindung und S sei der an einer Stange befindliche Schieber mit zwei über einen hohlen Raum hervorragenden ebenen Flächen, welche bei ihrer mittelst der Stange bewirkten Bewegung die Mündungen der beiden Kanäle genügend bedecken. Die Luft, das Wasser oder der Dampf haben rings um die Außenfläche des Schiebers und die Stange ungehinderten Zutritt, können aber, je nach der Stellung der Schieberflächen von dem oberen oder dem unteren Kanale abgehalten werden.

In Fig. A. wird durch den oberen Kanal o dem oberen Theile des Stiefels Dampf zugeführt und aus dem unteren Theile u kann der Dampf nach a entweichen.

In Fig. B. ist der Schieber so weit hinaufgerückt, daß das Entweichen von unten zwar noch stattfindet, aber der Zutritt sowohl nach oben als auch nach unten noch unterbrochen ist, weshalb der entwickelte Dampf (oder die atmosphärische Luft) sich um die Außenfläche des in einem abgesperrten Raume sich bewegenden Schiebers verdichten (kondensiren) muß und dann durch seine Ausdehnung (Expansion) bei der weiteren Benutzung um so kräftiger wirkt, je mehr dieses stattfand.

In Fig. C. ist der Schieber so weit hinauf bewegt, daß der Dampf nur durch den unteren Kanal u in den unteren Raum des Stiefels gelangen, der aber im oberen befindliche nach a entweichen kann.

In Fig. D. ist der Schieber auf dem Rückwege begriffen, sperrt den unteren Kanal, gestattet aber dem Dampfe noch nicht den Zutritt in den oberen Raum, aus welchem er noch nach a entweicht, weshalb derselbe vor dem Eintritte in den oberen Raum sich auch verdichtet, wie es in Fig. B. für den unteren Raum stattfand.

Soll das Schieberventil seinen Zweck, namentlich auch, wie in diesem Beispiele, als Expansivschieber erfüllen, so müssen seine Bewegungen sehr regelmäßig in den genau abgegränzten Zeitabschnitten während der ganzen Bewegung des Kolbens sich vollenden. Dies thut die Maschine selbst zuverlässiger, als irgend eine Menschenhand. Zu



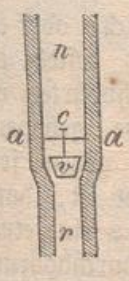
(Fig. 91.)

diesem Zwecke ist die Axe W des sogenannten Schwungrades, dessen Zweck wir bei den Maschinen selbst näher werden kennen lernen, zugleich die Axe einer unrunden Scheibe (Fig. 91), so daß beide in genau derselben Zeit eine Umdrehung machen. Diese Scheibe hat nicht einen kreisförmigen, sondern aus den Bogen von vier Kreisen mit verschiedenen Radien und demselben Mittelpunkte zusammengesetzten Umfang. An diesem Umfange schleifen bei ihrer Drehung die Stahlrollen, welche an den Enden zweier, in festen Rahmen beweglichen Stangen E und E' angebracht sind, so daß diese auf und ab oder hin und her geschoben werden, jenachdem sie auf einen größeren oder kleineren Radius der Scheibe treffen.

Bei der gezeichneten Lage hat die Stange E die tiefste Stellung, welche der Figur 90, A entspricht; hat sie sich um den vierten Theil der ganzen Drehungszeit fortbewegt, so ist a unter der oberen Rolle und der Schieber steht wie Figur B, in welcher Lage er so lange verharrt, als seine Rolle noch den Bogen desselben Radius berührt; ist d unter der Rolle, so hat der Schieber die höchste Stellung in Figur C, um dann en Rückweg anzutreten.

Es ist klar, daß man den Umfang der unrunden Scheibe für jede beliebige, der Expansion des Dampfes gewidmete Zeit einrichten kann.

Eine andere Art von Verschluß wird durch die Kegel- und Kugelventile bewirkt, und die letzteren zerfallen noch in Druck- oder Hebelventile.



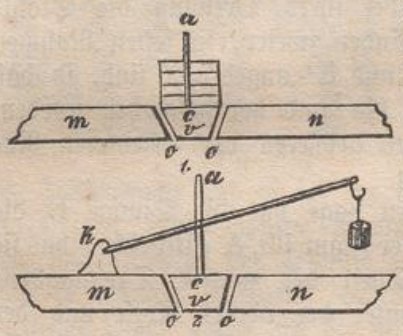
(Fig. 92.)

Sollen die Räume n und r (Fig. 92) von zylinderförmigen Röhren abwechselnd in Verbindung gesetzt und von einander abgesperrt werden, so dient dazu ein Kegelventil: v ist ein abgekürzter Kegel von Metall, dessen Mantel in eine Vertiefung genau eingeschliffen ist; von seiner oberen größeren Fläche geht eine kurze Stange vc mit einem Knopfe oder Querstücke lose durch die Oeffnung einer Querleiste aa. Das Spiel auf- und abwärts kann nur bis zu dieser Leiste gehen und dadurch wird die Verbindung hergestellt und unterbrochen. Statt des Kegels kann eine Kugel in eine halbkugelförmige Vertiefung, in welcher von unten aus die Verbindung stattfindet, eingelassen werden.

Um das Zerspringen der Dampfkessel nicht eintreten zu lassen, wendet man Druck- oder Hebelventile an, welche durch die Spannkraft der Dämpfe eher geöffnet werden, als der Kessel in Gefahr ist, durch sie zersprengt zu werden.

Es ist durch die Erfahrung festgestellt worden, wie groß die Haltbarkeit des Kessels bei einer gewissen Metallstärke ist, oder wie viele Atmosphärendrucke, die man in Pfunden auf einen Quadratzoll angeben kann, der Kessel zu ertragen vermag, ehe er zersprengt wird.

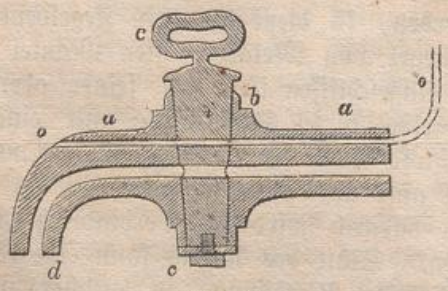
Ist nun eine Oeffnung von gewisser Größe, z. B. einem Quadratzolle vorhanden, so wird man dieselbe durch ein Ventil schließen, welches mit einer geringeren Kraft angedrückt wird, als es die höchste Spannkraft, welche der Kessel ohne Gefahr vertragen kann, anzeigt. In Fig. 93 bedeutet mn ein Stück der Kesselwand, oo die Oeffnung darin, v das hineinpassende Ventil mit dem Stiele ca. Die Belastung des Ventils kann entweder (1) durch Gewichte geschehen, die man auf den Stiel aufschiebt, oder (2) durch Gewichte, welche man bei e an den um den festen Endpunkt k drehbaren Hebel anhängt. Für besondere Zwecke, wie bei den Aeolipilen, kann das Ventil auch durch eine elastische Feder angedrückt werden. Es ist natürlich, daß das Ventil durch die Dämpfe um so eher wird herausgeworfen werden, je weniger es belastet ist. Das Einrosten desselben muß natürlich verhindert werden, um nicht Gefahr herbeizuführen.



(Fig. 93.)

Daß solche Ventile auch zur Messung des Druckes von tropfbaren und anderen luftigen Körpern als Dämpfen angewendet werden können, ergibt sich aus dem Obigen von selbst.

Endlich dienen noch die verschiedenartigen Hähne zur Herstellung und Aufhebung der Verbindung zweier oder mehrer Räume. Sie bestehen aus einem Rohre, Gehäuse und Schlüssel.



(Fig. 94.)

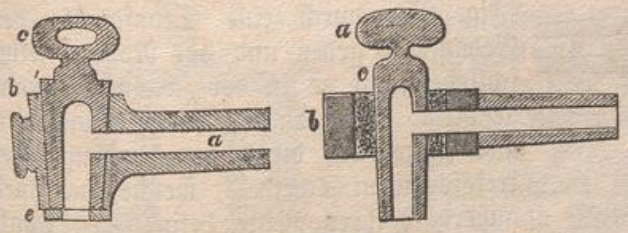
1) Der Guerickesche oder einfache Hahn (Fig. 94) besteht aus einem zylindrisch durchbohrten und gegen das eine Ende gebogenen Rohre aad, welches gegen seine Mitte stärker gearbeitet ist, damit in dieses Gehäuse be eine etwas weitere kegelförmige Durchbohrung, welche lothrecht durch die erste geht, gemacht werden kann. In diese Oeffnung ist der mit einem Handgriffe c versehene Schlüssel i genau eingeschliffen. Der Schlüssel ist senkrecht so durchbohrt, daß, wenn er die Oeffnung schließt, das Bohrloch der Röhre mit dem des Schlüssels beim angemessenen Drehen zusammentrifft.

Der Schlüssel, so wie die Oeffnung des Gehäuses sind deshalb kegelförmig, damit bei der während des Gebrauches durch die Reibung unvermeidlichen Abnutzung immer noch ein dichter Verschluß stattfinde. Weil aber in diesem Falle der Schlüssel tiefer in das Gehäuse dringt, wird seine Durchbohrung nicht zylindrisch, sondern länglich rund (elliptisch) mit dem größeren Durchmesser in der Längenrichtung gemacht. Damit endlich der Schlüssel durch den Druck der ausströmenden Flüssigkeit nicht emporgehoben werde, wird er unten bei e durch ein breiteres Querstück, welches in ihn eingeschraubt werden kann, fest an das Gehäuse geschraubt.

Wird der Schlüssel um den vierten Theil seines Umfanges gedreht, so steht seine Durchbohrung auf der des Rohres lothrecht und die Verbindung ist aufgehoben. Um die innere Stellung auch äußerlich zu erkennen, ist der Griff länglichrund in der Richtung der Durchbohrung gemacht.

Benutzt man den Hahn zur Verbindung zweier Gefäße, so ist das Rohr grade; will man aber Flüssigkeiten aus Gefäßen durch ihn ablassen, so ist das eine Ende d gekrümmt, wie es die Zeichnung angibt; er heißt dann Faßhahn. Damit die tropfbare Flüssigkeit aus dem Zapfenloche eines Fasses durch einen Hahn abgelassen werden kann, ohne das Spundloch für den Zutritt der äußeren Luft zu öffnen, müssen Rohr und Schlüssel noch eine feine Durchbohrung oo haben, durch welche die äußere Luft nur während des Ablassens in das Faß und dann über die Flüssigkeit eindringt.

Statt atmosphärischer Luft kann man aus einem besonderen Gefäße z. B. Kohlensäure hineinlassen, wie es beim Abzapfen gegorner Flüssigkeiten angemessen ist, um sie vor dem Verderben zu bewahren.

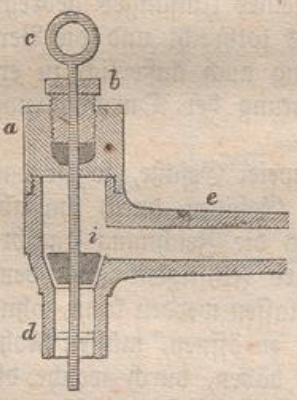


(Fig. 95.)

2) Will man durch einen einfachen Hahn Flüssigkeiten nur ablassen, so kann man ihm die Form des Kopfhahnes (Fig. 95) geben. Hier ist das Ende des Rohrs b durch das verdickte Gehäuse geschlossen, der in dasselbe eingepaßte Schlüssel ce ist von seinem spitzeren Ende an der Länge noch bis etwas über die Oeffnung des Rohres a eingebohrt und zur Verbindung beider Kanäle noch eine Seitenverbindung angebracht. Beim Absperren ist es angemessen, den Schlüssel um die Hälfte seines Umfanges zu drehen, obwohl bei nicht großen Bohröffnungen der Zweck schon durch eine Viertelsdrehung erreicht wird. Auch hier wird der Schlüssel durch die Flüssigkeit, sowohl beim Verschlusse, als auch beim Fließen nach oben gedrückt und er muß daher unten auch angeschraubt werden können.

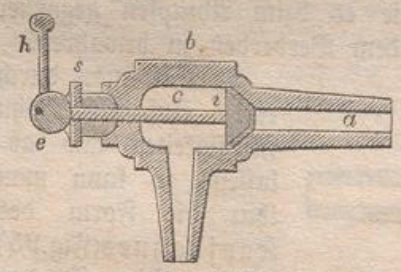
Ist der Hahn aus Holz gemacht, so füttert man des besseren Verschlusses wegen den Kopf mit durchbohrtem Korkholze aus, welches nach seiner Abnutzung leicht erneuert werden kann.

3) Eine recht bequeme Art von Hähnen sind die Ventil- oder Klapphähne, besonders wenn sie die Einrichtung haben, daß sie sich nach dem Gebrauche durch den Druck der Flüssigkeit von selbst schließen, wie ich es an den öffentlichen Trinkanstalten in Nordamerika meist gefunden haben, und wie es bei unseren Wasserleitungen nachzuahmen wohl angemessen wäre, weil ein unwillkührliches Laufen nicht stattfindet, indem nach dem jedesmaligen Gebrauche der Verschluß von selbst geschieht.



(Fig. 96.)

Der Haupteinrichtung nach ist es ein Kopfhahn. Das Gehäuse a (Fig. 96) trägt oben eine Stopfbüchse b, durch welche wasserdicht eine runde Metallstange mit einem Griffe c geht; an der Stange ist ein Kegelventil i befestigt, welches zum besseren Anschlusse mit Leder oder Guttapercha umgeben ist, und zum Abschlusse des vom Gehäuse nach unten ausgehenden Rohres dient. Damit das Ventil immer in grader Richtung gehe, ist die Stange durch eine Oeffnung in einem Querstücke d geführt. Bei der in der Zeichnung dargestellten Lage des Ventils ist das Wasser im Rohre e abgesperrt und kommt erst in den Fluß, wenn das Ventil aufwärts gezogen wird.

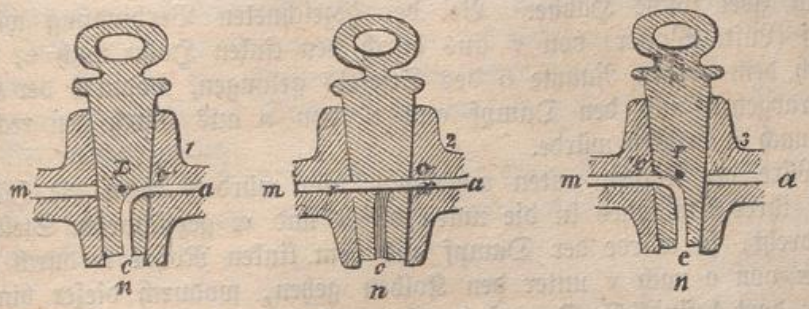


(Fig. 97.)

Statt dieser Einrichtung kann die Ventilstange in der Richtung des Rohres (Fig. 97) durch eine Stopfbüchse des Gehäuses b gehen und das Rohr a selbst schließen, wie es in der Zeichnung grade geschieht. Das Ende s der Stange wird hier festgedrückt durch den Umfang einer kreisförmigen Scheibe e, welche um einen außerhalb ihrer Mitte befindlichen Punkt (exzentrisch) mittelst des Griffes h drehbar ist. Dreht man nun h weg, so kann sich s dem Drehpunkte nähern, das Wasser stößt durch seinen Druck das Ventil auf und fließt unten am Gehäuse aus; dreht man h aber hin, so drückt die Scheibe das Ventil wieder hinein. Die gradlinige Bewegung des Ventils wird durch die Form des hohlen Raumes im Gehäuse bedingt.

Es läßt sich nun auch leicht eine solche Einrichtung denken, daß der Wasserdruck selbst die Zuflußröhre abgesperrt, und ein Druck mit dem Finger die Verbindung herstellt, so daß, wenn letzterer aufhört, der Abfluß auch aufhört.

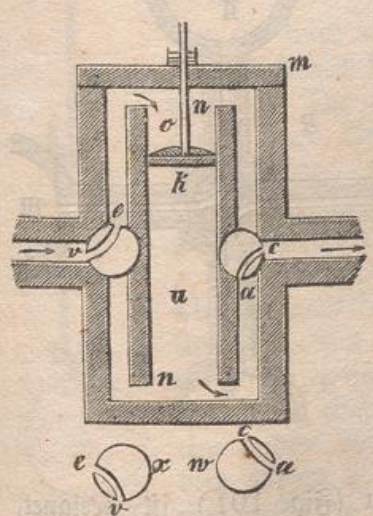
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



(Fig. 98.)

4) Der Senguerdsche Hahn (Fig. 96) ist in zweifacher Weise durchbohrt, um drei verschiedene Räume a, m, n in beliebiger Weise paarweise mit einander zu verbinden. Steckt der Schlüssel im Gehäuse, in welches die beiden Räume a und m mittelst Röhren münden, so geht die eine Bohrung (1) von o aus in einer flachen Krümmung nach dem spitzeren Ende c des Schlüssels, wodurch die Räume a und n verbunden werden; dreht man den Schlüssel um den vierten Theil seines Umfanges in zweite Lage, so ist der Anfang o seiner ersten Durchbohrung durch die innere Wandung des Gehäuses bedeckt und eine zweite lothrecht durch den Schlüssel geführte Bohrung xr verbindet die Räume a und m; dreht man noch weiter und wieder um den vierten Theil, so tritt o an die Mündung des m, x und r sind bedeckt und es ist die Verbindung zwischen m und n hergestellt.

5) Von diesem für Luftpumpen geeigneten Hahne unterscheidet sich der Zweiweghahn, welcher für Dampfmaschinen brauchbar ist. Die Bohrung geht von dem Umfange des Schlüssels lothrecht nach der Axe hin und in einer Krümmung unter einem rechten Winkel wieder nach außen, so daß die Oeffnungen um ¼ des Umfanges von einander entfernt sind.

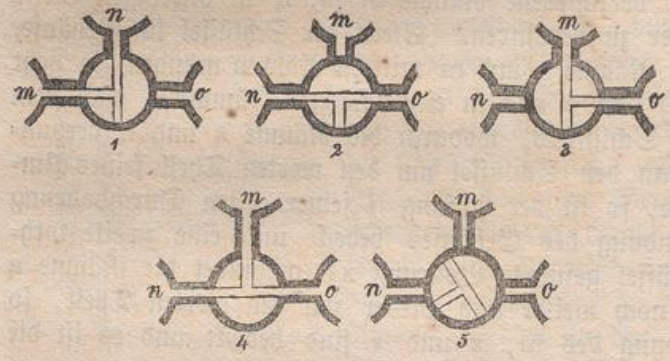


(Fig. 99.)

Seine Anwendung wird durch die Zeichnung (Fig. 99), worin sein Querschnitt viermal sichtbar ist, bald deutlich werden. mm sei ein Metallzylinder, k ein darin luftdicht beweglicher Kolben, dessen Stange durch eine Stopfbüchse s geht. Sowohl sein oberer Raum o, als auch sein unterer u sei durch Seitenrohre einerseits mit einem Dampfkessel, andererseits mit der äußeren Luft oder einem kalten Raume (Kondensator) in Verbindung. An den beiden Stellen, wo die Seitenrohre rr mit den Verbindungsrohren zusammen treffen, befin-

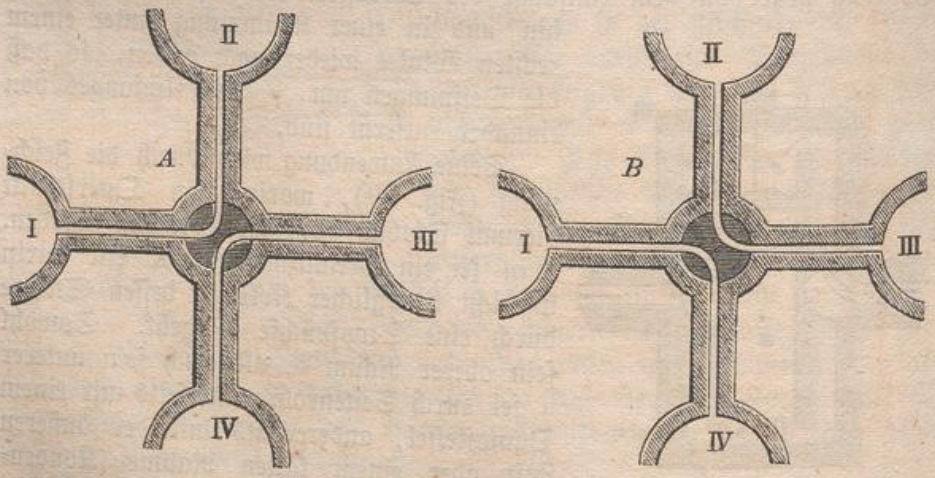
den sich zwei solche Hähne. Bei der gezeichneten Verbindung würde Dampf (Luft, Wasser) von v aus durch den linken Hahn nach e, von da nach dem oberen Raume o des Stiefels gelangen, wodurch der Kolben herabgehen und den Dampf aus u von a aus durch den rechten Hahn nach c drücken würde.

Wäre der Kolben unten angelangt und würden dann die Hähne um ¼ ihres Umfanges in die unten bei x und w gezeichneten Stellungen gedreht, so würde der Dampf aus dem linken Rohre r durch den Hahn x von e nach v unter den Kolben gehen, wodurch dieser hinauf und der dort befindliche Dampf durch den Hahn w von c nach a ausgedrückt würde. So kann durch abwechselnde und rechtzeitige Drehung der beiden Hähne das Spiel des Kolbens unterhalten werden.



(Fig. 100.)

6) Der Dreiweghahn. Bei diesem Hahne ist der Schlüssel einmal durch seine Mitte ganz durbohrt und die zweite Bohrung geht rechtwinklich auf der ersten blos bis zu seiner Mitte. Fig. 100 zeigt im Querschnitte wie er von den drei Räumen m, n und o je zwei verbindet: m mit n, n mit o, m mit o, oder alle drei, oder wie er alle drei von einander abschließt.

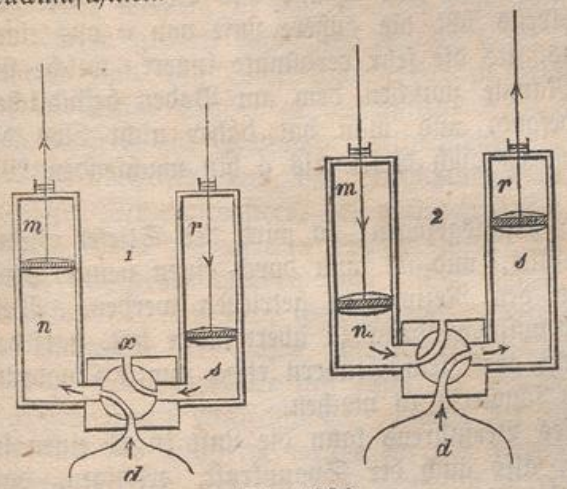


(Fig. 101.)

7) Der Leupoldsche Vierweghahn (Fig. 101) ist geeignet, um von vier Räumen zwei und zwei miteinander zu verbinden oder von

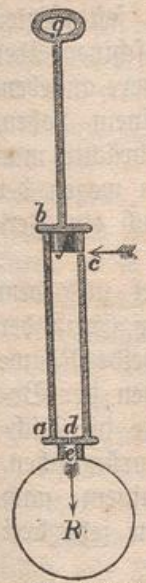
einander zu trennen. Es sind nämlich bei ihm zwei mit einander nicht in Verbindung stehende Durchbohrungen, also ringsum in einem Kreise vier Oeffnungen, voa denen jede von der nächsten um einen Quadranten entfernt ist. In der Stellung A ist einerseits I mit II und III mit IV verbunden, in der Stellung B aber ist I mit IV und II mit III in Verbindung gesetzt.

Man kann diese Hähne bei solchen Dampfmaschinen anwenden, bei welchen der verbrauchte Dampf ins Freie geleitet wird, also bei Hochdruckmaschinen.



(Fig. 102.)

Fig. 102 stellt das Spiel eines solchen Hahnes im Querschnitte dar. In der ersten Zeichnung werden von den vier Räumen d, n, s und x die Räume d und n einerseits und s mit x andererseits verbunden. Käme also aus d Dampf, so würde derselbe von n aus den linken Kolben aufwärts drücken, und der Dampf von s aus ins Freie durch x entweichen können; in der zweiten Zeichnung sind n und x, so wie d und s verbunden und die Kolben bewegen sich in entgegengesetzter Richtung.



(Fig. 103.)

Luftpumpen.

Es wird nicht selten nothwendig, die Luft in einem abgeschlossenen Raume entweder zu verdichten oder zu verdünnen. Die besonders dazu eingerichteten Instrumente nennt man Luftpumpen, welche also Verdichtungs- und Verdünnungspumpen sein können; bisweilen aber versteht man unter Luftpumpen nur die zur Verdünnung der Luft geeigneten Pumpen.

1) Die Verdichtungspumpe. Es sei (Fig. 103) ab ein metallner Zylinder oder Stiefel, gegen das eine Ende sei eine Seitenöffnung c angebracht; in denselben Passe ein massiver Stempel oder Kolben f luftdicht, welcher durch eine Stange mit einem Griffe g oder auf irgend eine andere Weise hin und her bewegt werden kann; von dem Boden des Stiefels aus gehe eine kurze Röhre bis in ein metallnes Gefäß R, den Rezipienten, und gegen

das Ende der Röhre sei eine sich nach letzterem öffnende Klappe bei e, oder ein Ventil.

Wenn der Stiefel von e aus mit Luft erfüllt ist, und man bewegt den Kolben nach dem Boden hin, so wird die Luft im Stiefel verdichtet, das Ventil dadurch aufgedrückt und der größte Theil der Luft begiebt sich nach dem Rezipienten R, so daß jetzt hier verdichtete Luft sich befindet.

Hört die Bewegung des Kolbens auf, und tritt er den Rückweg an, so verschließt die verdichtete Luft von R aus das Ventil. Bei dieser Zurückbewegung des Kolbens übt die äußere Luft von c aus einen größeren Druck auf ihn aus, als die sehr verdünnte innere, welche sich etwa noch in dem kleinen Raume zwischen dem am Boden befindlichen Kolben und dem Ventile befand, und man hat daher nicht blos die Reibung zu überwinden, sondern auch diesen bis c hin wachsenden Widerstand.

Ist der Kolben über c hinausgezogen, so wird der Stiefel wieder mit atmosphärischer Luft gefüllt, und sie kann durch einen neuen Stoß auch wieder größtentheils in den Rezipienten getrieben werden. Weil man oft einen mehrfachen Atmosphärendruck zu überwinden hat, darf der Querschnitt des Stiefels nicht groß sein, sondern etwa nur 1 Quadratzoll, um die Arbeit nicht zu schwierig zu machen.

Durch Fortsetzung dieses Verfahrens kann die Luft in R einen so hohen Grad der Dichtigkeit, also auch der Spannkraft, erlangen, daß selbst ein starkes Metallgefäß zersprengt wird, was höchst gefährlich ist, weil die Explosion die Metallstücke mit großer Kraft fortschleudert. Man darf also für ein Gefäß von gewisser Stärke und Stoffbeschaffenheit die Verdichtung nicht bis zu einer erfahrungsmäßig festgesetzten Gränze treiben. Wir werden bei Gelegenheit der Dampfmaschinen über diese, selbst durch Landesgesetze festgestellten Gränzen das Nähere angeben.

Hätte man den Rezipienten mit kalter Luft bis zu einem hohen, aber noch ungefährlichen Grade von Spannkraft erfüllt, und brächte man ihn dann ins Warme, z. B. in den Sonnenschein, so kann wegen der durch die Wärme erzeugten namhaften Ausdehnung auch noch ein Zersprengen stattfinden.

Kennt man das Raumverhältniß zwischen dem Stiefel und dem Rezipienten, so läßt sich aus der Anzahl der Kolbenstöße der Grad der Verdichtung leicht berechnen. Nehmen wir z. B. an, daß beide Räume gleich sind, und vernachlässigen wir den kleinen Raum zwischen der Bodenfläche und dem Ventile, so ist nach dem ersten Kolbenstoße die Dichtigkeit der Luft im Rezipienten das Doppelte von der ursprünglichen, denn die Luft aus zwei gleichen Raumtheilen befindet sich in einem; nach dem zweiten Stoße ist sie das Dreifache, weil der Rezipient jetzt drei Raumtheile von Luft enthält u. s. w.

Verdichtungspumpen werden zu verschiedenen Zwecken gebraucht.

Sollen Taucher in ihrer Glocke längere Zeit in der Tiefe eines Gewässers sich aufhalten, um dort verschiedene Arbeiten zu verrichten, so muß man ihnen durch eine Verdichtungs- oder Druckpumpe in Schläuchen immerfort frische Luft zuführen, so daß am Rande der Taucherglocke stets Luftblasen entweichen.

Wird eine Kautschuckflasche von geringem Durchmesser in heißem Wasser oder in Aether erweicht, so kann sie durch zeitweises Hineinpumpen von Luft, oder Hineinlassen von verdichteter Luft außerordentlich ausgedehnt werden, so daß sie einen Durchmesser bis zu 3 Fuß bekommt.

Um in großen Aquarien, wie sie z. B. in New-York in Barnums Museum sind, den Wasserthieren das zu ihrem Wohlbefinden unentbehrliche lufthaltige Wasser zu verschaffen, wird in die Behälter von unten durch Röhren und Schläuche fortwährend atmosphärische Luft gepumpt.

Unentbehrlich sind die Verdichtungspumpen zur Herstellung von künstlichen Mineralwässern, die man vorzüglich mit Kohlensäure versorgt, nachdem ihnen die anderen Stoffe, welche die verschiedenen Zwecke verlangen, beigegeben worden sind. Der ganze Apparat besteht aus drei Haupttheilen: aus dem Gasentwickelungsgefäße mit der zum Reinigen und Sammeln des Gases nöthigen Vorrichtung, aus der Druckpumpe und dem Wasserbehälter mit einer zur Vertheilung des Gases im Wasser angemessenen Einrichtung. Durch die Maschine zum Füllen und Verkorken des Wassers, welche für sich besteht, muß die Berührung des Wassers mit der äußeren Luft möglichst vermieden werden.

Die verdichtete Luft wird ferner als bewegende Kraft bei den Windbüchsen angewendet. Gibt man dem Rezipienten eine längliche abgerundete Form, annähernd an die eines Flintenkolbens, und richtet man ihn so ein, daß er von der Pumpe kann ab- und an einen Flintenlauf geschraubt werden; so bedarf es nur noch einer starken Stahlfeder mit einem Stifte, welcher beim Zurückschlagen der gelösten Feder das Ventil nach dem Rezipienten einen Augenblick aufstößt, um einen Theil der verdichteten Luft ins Rohr zu lassen, wodurch eine Kugel oder Schrotkörner, die man zwischen zwei Pfropfen in den Lauf gebracht hat, mit gleicher Kraft, wie durch Schießpulver, herausgeschleudert werden können. Der Knall ist hierbei viel unbedeutender, weil nicht noch an der Mündung des Laufes eine besondere Gasentwickelung stattfindet, wie es beim Schießpulver zum Theil stattfindet, sondern weil die treibende Kraft auch außerhalb des Laufes vorzüglich nach dieser einen Richtung wirksam ist.

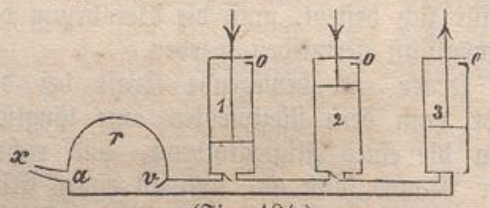
Ein Knall kann übrigens nur auf doppelte Weise entstehen:

1) daß in einer Flüssigkeit (Luft, Wasser) plötzlich ein leerer oder fast leerer Raum gebildet wird, so daß die umgebende Flüssigkeit von allen Seiten nach der Mitte dieses Raumes zusammenstürzt und sich daselbst mit Heftigkeit aneinander schlägt. So ist es u. a., wenn man eine mit Knallgas (2 Maß Wasserstoff und 1 Maß Sauerstoff) gefüllte

Seifenblase anzündet, oder wenn man Dämpfe von kochendem Wasser in ein Gefäß mit kaltem Wasser leitet (bei Lokomotiven und deren Tendern, in Brennereien u. s. w.), worin sie zu Wasser von sehr geringem Volumen werden, so daß hier das Wasser nach der Mitte des fast leeren Raumes zusammenstürzt und sich aneinander schlägt.

2) Ein Knall kann noch dadurch entstehen, daß ein Stoff von sehr geringem Volumen, wie Schießpulver, Knallsilber (Knallbonbons) plötzlich in einen anderen von sehr großem verwandelt wird. In diesem Falle wird die den kleinen Körper umgebende Luft plötzlich nach allen Seiten auseinander getrieben, und stürzt dann von allen Seiten wieder nach der Mitte dieses Ortes zurück, wodurch auch ein Schlag entsteht.

Eine weitere Anwendung finden die Luftdruckpumpen bei den Zylindergebläsen. Es ist nämlich für viele technische Zwecke bei Feuerungen unerläßlich, oder wenigstens sehr zweckmäßig, wenn das Feuer fortwährend eine sich gleich bleibende Wärme entwickelt. Dieses kann nur durch eine möglichst gleichmäßige Zuführung von Feuerungsmaterialien geschehen, wozu vorzüglich die atmosphärische Luft wegen ihres Sauerstoffgehaltes gehört. Es ist also nothwendig, außer den Kohlen oder einem anderen Brennstoffe für einen sich möglichst gleich bleibenden Strom zugeführter Luft zu sorgen, und dies leisten in einem ziemlich genügenden Maße die Gebläse mit drei Zylindern.



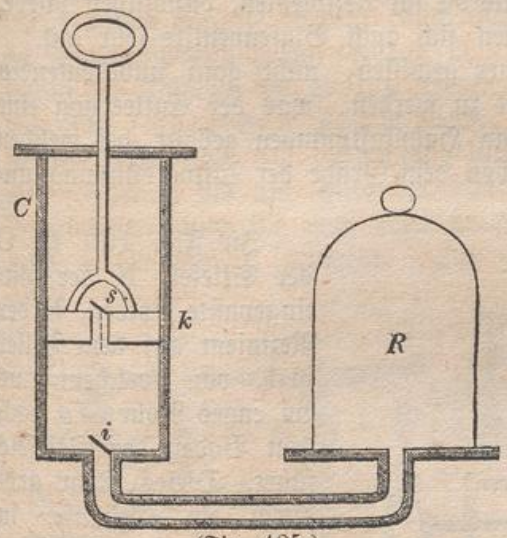
(Fig. 104.)

In Fig. 104 bedeuten 1, 2, 3 die drei Verdichtungspumpen mit ihren Bodenventilen, durch welche sie in Verbindung mit einem gemeinschaftlichen Kanale cv stehen, der in einen größeren Metallbehälter r als Rezipienten mündet, und an seinem Ausgange ein sich dahin öffnendes Ventil v hat; von diesem Rezipienten oder Windkessel führt endlich ein Rohr ax nach dem Feuer hin. Das Ausflußrohr muß man kegelförmig zuspitzen, wobei die Seiten mit der Axe einen Winkel zwischen 3 und 12 Graden machen, und die Innenfläche polirt sein muß.

Die drei Kolbenstangen werden durch irgend eine Kraftmaschine und zwar so in Bewegung gesetzt, daß die Zeit für den ganzen Hin- und Rückweg im Stiefel in drei gleiche Theile getheilt ist, welche sie abwechselnd nach einander zurücklegen. Beginnt der erste Kolben das letzte Drittel des Hinweges, so muß der zweite Kolben das zweite Drittel auch des Hinweges, aber der dritte das dritte Drittel des Rückweges beginnen, oder: ist der erste Kolben unten angekommen, so beginnt der zweite das letzte Drittel des Hinweges und der dritte ist oben angelangt u. s. f.

Auf diese Weise wird fortwährend, und zwar mindestens von einer der drei Pumpen in den Windkessel Luft geschafft, so daß die Verdichtung in ihm und das Ausströmen aus ihm niemals unterbrochen wird.

2) Die Verdünnungspumpe, auch Evakuations- oder Entleerungspumpe genannt. Die Hauptbestandtheile sind dieselben wie bei der Verdichtungspumpe, nur daß die Verbindungen der Räume andere sind. Wegen der Wichtigkeit der Apparate hat man sich, namentlich in neuerer Zeit, viele Mühe gegeben, dieselben zu vervollkommnen, und daher ist die Art ihrer Herstellung im Ganzen und Einzelnen sehr verschieden; wir wollen aber nur das Wichtigste anführen.



(Fig. 105.)

Fig. 105 stellt eine ganz einfache Ventil-Luftpumpe dar. C ist ein sehr gut ausgedrehter Metallzylinder oder Stiefel, an dessen Boden ein nach innen sich öffnendes Ventil i sich befindet; in den Stiefel paßt luftdicht ein Stempel oder Kolben k, welcher in der Mitte eine Oeffnung mit einem nach außen sich öffnenden Ventile s hat; die Kolbenstange geht lose durch die Decke des Stiefels; an den Boden desselben schließt sich ein Rohr, welches zu einer recht eben geschliffenen Scheibe, dem Teller, führt, und auf diese paßt mit ihrem Rande luftdicht eine Glasglocke R, welche der Rezipient, Aufnehmer, heißt, weil sie zum Aufnehmen der Gegenstände dient, mit denen man im luftverdünnten Raume Versuche anstellen will, weshalb er auch verschiedene Formen hat.

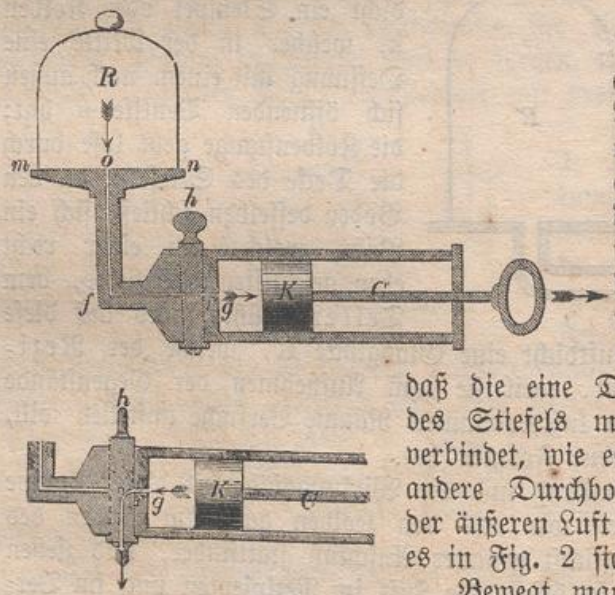
Die Art der Handhabung und die Wirkungsfähigkeit dieser Pumpe ergibt sich leicht. Denken wir uns den Kolben ganz am Boden des Stiefels, so daß ein möglichst genauer Anschluß stattfindet, und ziehen wir ihn dann aufwärts, so öffnet die Luft im Rezipienten und im Verbindungsrohre wegen ihrer Spannkraft das Ventil i und verbreitet sich hinter dem Kolben im Stiefel. Ist der Kolben, dessen Ventil durch den Druck der äußeren Luft geschlossen bleibt, bis ans Ende des Stiefels gelangt, so ist die Luft im Rezipienten schon und um so mehr verdünnt, je weiter der Stiefel ist, denn sie erfüllt jetzt beide Räume gleichmäßig. — Wird der Kolben herabgedrückt, so kann die unterhalb desselben befindliche Luft durch das Ventil, welches sich schließt und durch den vergrößerten Luftdruck geschlossen wird, nicht wieder zurück in den Rezipienten, sondern geht durch das beim weiteren Hineindrücken des

Kolbens durch sie geöffnete Kolbenventil nach außen. Dieses Ventil wird aber erst dann geöffnet, wenn der Druck der inneren Luft größer ist, als der von der äußeren und der Widerstand des Ventils.

So wird bei jedem neuen Zuge des Kolbens nach oben die Luft immer weniger dicht, und bei jedem Drucke ein Theil derselben herausgeschafft; aber eine vollständige Entleerung des Rezipienten ist nicht möglich, weil die schon stark verdünnte Luft in ihm und der Verbindungsröhre das Bodenventil nicht mehr zu öffnen vermag, und weil ungeachtet sehr sorgfältiger Arbeit die untere Fläche des Kolbens sich niemals so dicht an den Stiefel schließt, als daß nicht eine dünne Luftschicht von größerer Dichtigkeit, als die im Rezipienten, dazwischen bliebe.

Für solche Luftpumpen eignen sich auch Blasenventile sehr gut.

Weil die Ventile immer einer gewissen, nicht ganz unbedeutenden Druckkraft bedürfen, um geöffnet zu werden, was der Entleerung eine zu enge Gränze steckt, so hat man Hahnluftpumpen gebaut, bei welchen das Drehen durch eine äußere, von dem Grade der Luftverdünnung unabhängige Kraft bewirkt wird.



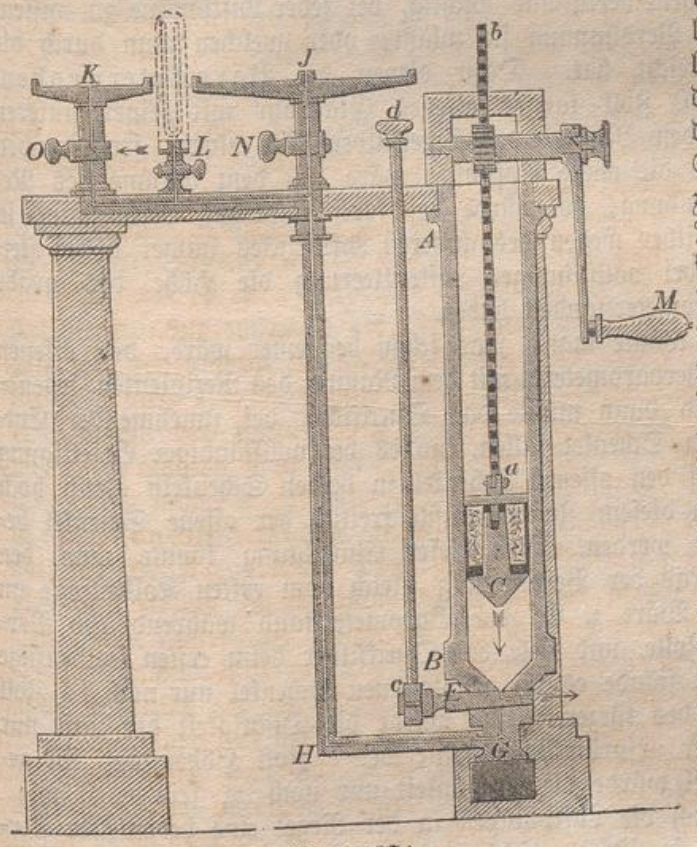
(Fig. 106.)

In Fig. 106 ist C der Stiefel, K der hineingepaßte Kolben, R der Rezipient auf dem Teller mn, von welchem aus ein enges Rohr ofg nach dem Boden des Stiefels führt. Dieses Rohr geht durch ein Gehäuse, in welches ein Senguerdscher Hahn so eingepaßt ist, daß die eine Durchbohrung den Raum des Stiefels mit dem des Rezipienten verbindet, wie es Fig. 1 zeigt, und die andere Durchbohrung den Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung setzt, wie es in Fig. 2 sichtbar ist.

Bewegt man den Kolben weg vom Boden des Stiefels, wie es der Pfeil am Griffe zeigt, so geht bei der ersten Hahnstellung die Luft aus dem Rezipienten nach dem Stiefel in der Richtung der Pfeile, ohne daß sie einen Widerstand zu überwinden hat. Ist der Kolben am Ende des Stiefels angelangt, so dreht man den Hahn in die zweite Stellung, wodurch der Rezipient und das Rohr bis an den Hahn abgesperrt, der Rezipient aber mit der äußeren Luft in Verbindung gesetzt wird. Es ist also klar, daß sofort von der äußeren Luft in den Rezipienten strömt; wird aber der Kolben nach dem Boden hin bewegt, so muß

diese Luft und die vorher schon vorhandene durch den Hahn entweichen. Hat man den Kolben bis dicht an den Boden des Stiefels gebracht, so dreht man den Hahn wieder in die erste Stellung, und kann eine neue Verdünnung vornehmen u. s. w.

Wenn auch, wie es angemessen ist, der Hahn möglichst dicht an den Boden des Stiefels sich anschließt, so muß doch noch von ihm bis in den Stiefel ein kurzes, wenn auch enges Röhrenstück vorhanden sein. Dieses und die Unmöglichkeit eines absolut genauen Anschlusses des Kolbens an die Bodenfläche des Zylinders läßt auch bei dieser Pumpe, obwohl sie mehr leistet, als die vorige, die Verdünnung nur bis zu einer gewissen Gränze führen; denn wenn die äußere Luft mit dem Stiefel in Verbindung gesetzt worden ist, so befindet sich nach dem Zurückstoßen des Kolbens bis an den Boden in jenem kleinem Raume, welchen man den schädlichen Raum nennt, Luft von der Dichtigkeit der äußeren, welche nach der Umdrehung des Hahnes in den Rezipienten geht, und jedesmal, bis ans Ende der Arbeit, die bereits erreichte Verdünnung vermindert, wenn sich auch beim Vorwärtsziehen des Kolbens die Luft noch in den Stiefel vertheilt. Der Grad der möglichen Verdünnung hängt von dem Verhältnisse des schädlichen Raumes zu dem Gesammtraume des Rezipienten und Stiefels ab; ist jener z. B. der tausendste Theil von diesem, so ist auch schließlich die Dichtigkeit der Luft im Rezipienten nur $\frac{1}{1000}$ von der der äußeren Luft. Ist man bis dahin gekommen, so nützt alles weitere Arbeiten nichts mehr.



(Fig. 107.)

Um den Nachtheil des schädlichen Raumes nach Möglichkeit zu vermeiden, hat man daher Pumpen gebaut (Fig. 107), bei welchen der Kolben C kegelförmig gestaltet

ist, sehr genau in eine ebenso geformte Vertiefung des Stiefels BA paßt und bis an den Hahn E reicht, um mit seinem abgeflachten Ende dessen Durchbohrung grade zu bedecken. Bei dieser Einrichtung ist es möglich, den Hahn bis ganz ans Ende des Stiefels zu verlegen. Der Kolben befindet sich an einer gezahnten Stange, welche durch das oben sichtbare Triebrad auf- und abgeschoben wird, wenn man die an seiner Axe befindliche Kurbel an dem Handgriffe M beziehungsweise nach hinten oder vorn dreht. Um den Hahn E mit Bequemlichkeit zu drehen, ist an ihm seitwärts eine Stange cd beweglich angebracht, die man bei d nur abwechselnd heraufzuziehen und hinabzustoßen braucht.

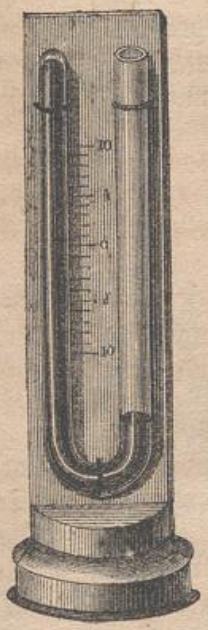
Von dem Boden des Stiefels geht ein Verbindungsrohr GHJ zu einem Teller bei J, auf welchen sich ein Rezipient stellen läßt, und von ihm ein Zweigrohr zu einem zweiten Teller bei K, zu welchem die Hähne N und O gehören.

Diese Einrichtung gestattet gleichzeitig zwei Versuche zu machen. Bei der in der Zeichnung angegebenen Stellung kann die Entleerung nur bei J stattfinden, und der Kolben ist im Herabgehen begriffen, um die Luft im Stiefel ins Freie zu drücken.

Es ist wünschenswerth und wichtig, bei jeder Luftpumpe zu wissen, welchen Grad der Verdünnung sie zuläßt, oder welchen man durch die Arbeit bereits erreicht hat. Dazu dienen die Barometerproben. Wenn ein etwa 30 Zoll langes offenes Glasrohr mit seiner unteren Mündung unter dem Niveau des Queckſilbers in einem freistehenden Gefäße steckte, und die obere Oeffnung wäre mit dem Raume des Rezipienten in Verbindung, so würde bei fortschreitender Verdünnung in diesem das Queckſilber wegen des äußeren Luftdruckes immer höher steigen, und würde bei vollständiger Luftentleerung die Höhe des grade stattfindenden Barometerstandes haben.

Statt dessen könnte man, was schon bequemer wäre, den offenen Schenkel eines Heberbarometers mit dem Raume des Rezipienten irgendwie verbinden, und dann müßte das Queckſilber bei zunehmender Entleerung im anderen Schenkel fallen, bis es bei vollständiger Beseitigung des Luftdruckes auf den offenen Schenkel in beiden Schenkeln gleich hoch stehen würde. Zu diesem Zwecke müßte freilich der offene Schenkel bedeutend verlängert werden. Bei dieser Einrichtung könnte man den fortschreitenden Grad der Verdünnung gleich vom ersten Kolbenzuge an genau verfolgen. Wäre z. B. der Barometerstand während des Versuches grade 28 Zolle, und fiele das Queckſilber beim ersten Kolbenzuge um 14 Zoll (d. h. stände es im geschlossenen Schenkel nur noch 14 Zoll über dem Niveau des kürzeren), so würde die Dichtigkeit der Luft nur noch die Hälfte der ursprünglichen sein; bei 7 Zoll Höhenstand im geschlossenen Schenkel würde die Dichtigkeit nur noch ¼ sein u. s. w.

Da man durch die Luftpumpen in der Regel eine bedeutende Verdünnung bezweckt, so ist es nicht nothwendig, ein vollständiges Baro-



(Fig. 108.)

meter anzuwenden, sondern nur ein abgekürztes Heberbarometer mit zwei etwa vier bis sechs Zolle langen Schenkeln, wie es Fig. 108 angibt, wobei der geschlossene Schenkel in der freien Luft stets gefüllt bleibt, und der offene leer ist. Dieses Instrument kann man entweder unter den Rezipienten der Luftpumpe stellen, oder, was bequemer ist, in einer besonderen kleinen Glasglocke anbringen, deren Raum mit der Röhre, durch welche die Verdünnung bewirkt wird, in unmittelbarer Verbindung steht, wie es die Fig. 107 bei L anzeigt.

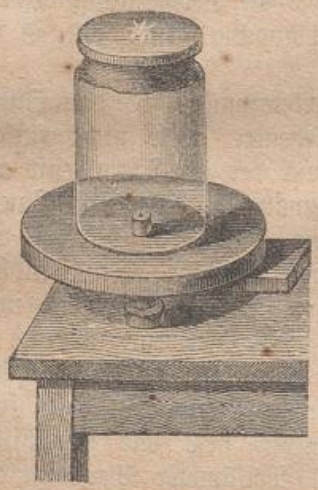
Beim Beginne der Verdünnung wird das Quecksilber im geschlossenen Schenkel noch nicht sinken, sondern erst, wenn der Druck der verdünten Luft auf den offenen Schenkel so schwach ist, daß er die Quecksilbersäule des geschlossenen über dem Niveau des offenen nicht mehr zu tragen vermag. Sinkt endlich das Queckſilber in jenem, so steigt es bei gleich weiten Röhren in diesem um gleich viel, und steht es in jenem z. B. noch 4 Zolle über diesem, so ist die Dichtigkeit der drückenden Luft nur noch $\frac{1}{7}$ von der ursprünglichen, bei 1 Zoll nur $\frac{1}{28}$ u. s. w. Bei ganz guten Luftpumpen steht das Queckſilber des geschlossenen Schenkels zuletzt nur noch 1 Millimeter über dem des offenen. Der zwischen den beiden Schenkeln angebrachte Maßstab muß so eingerichtet sein, daß man von dem jedesmaligen Stande des Niveaus im offenen Schenkel an bis ans Niveau des geschlossenen ablesen kann.

Bei der oben angeführten Luftpumpe findet die Verdünnung im Rezipienten nur während der einen Bewegung der Kurbel statt, indem während der anderen rückgängigen die unter dem Kolben im Stiefel befindliche Luft herausgeschafft wird, und man ist auch genöthigt, bei jedem Gange des Kolbens den Hahn mit der Hand rechtzeitig, also erst wenn der Kolben ganz unten und oben angelangt ist, zu drehen. Deshalb hat man in neuerer Zeit zweistieflige Luftpumpen mit Selbststeurung gebaut. Das durch die Kurbel in Bewegung gesetzte Getriebe greift zu beiden Seiten in die Zähne der beiden Kurbelstangen ein, und zwingt sie zu einem abwechselnden Gange: während die eine heraufgeht und saugt, drückt die andere.

Von dem Boden der beiden Stiefel führt ein enger Kanal zu einem einzelnen Hahne, welcher durch ein Gestänge erst dann gedreht wird, nachdem der Kolben bereits einen tiefsten und höchsten Punkt erreicht hat, und auch die Drehung bereits vollendet haben muß, ehe die Bewegung des Kolbens wieder beginnt. Diese für die Entleerung des Rezipienten unerläßliche Bedingung ist nur dadurch zu erfüllen, daß man der Kolbenstange, oder dem sie bewegenden Getriebe einen sogen. todten

Gang gibt, so daß der Kolben bei jedem beginnenden Wechsel der Bewegung so lange ruht, als die Drehung der Hähne dauert. Da man indeß auch öfters, ohne daß der Kolben die äußersten Punkte seiner Bahn erreicht hat, die Arbeit unterbrechen will, so muß die Steurung des Hahns auch jederzeit bewirkt werden können.

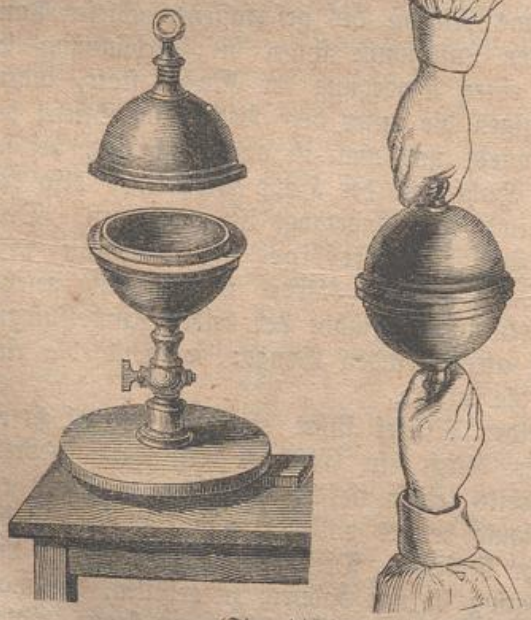
Versuche mit der Luftpumpe.



(Fig. 109.)

1) Schon nach dem ersten Kolbenzuge haftet der Rezipient am Teller fest, weil die Atmosphäre auf seine Außenfläche einen größeren Druck ausübt, als die bereits verdünnte Luft auf die Innenfläche.

2) Wird ein niedriger Metallzylinder mit gut abgeschliffenem Rande auf den Teller gesetzt und mit einer thierischen Blase gut verbunden, oder mit einer nicht zu starken Glastafel luftdicht bedeckt, wie es Fig. 109 andeutet, und pumpt man dann die Luft aus, so wird die Blase mehr und mehr hineingedrückt, bis sie mit einem Knalle zerspringt, und die Glastafel wird in gleicher zertrümmert.



(Fig. 110.)

3) Schraubt man auf die Mündung des Entleerungsrohres eine aus zwei gut aneinander passenden Hälften bestehende Metallkugel auf, wie es Fig. 110 andeutet, pumpt man die Luft aus dieser Kugel, und schraubt man sie ab, nachdem sie durch einen Hahn abgeschlossen worden ist, so werden sie durch die atmosphärische Luft kräftig zusammengedrückt. Otto v. Guericke, Bürgermeister von Magdeburg, stellte schon 1654 zu Regensburg in Gegenwart des Kaisers Ferdinand III. und der versammelten Großen des Reiches, mit seiner von ihm er-

fundenen Luftpumpe und den beiden Halbkugeln von 0,67 magdeburger Ellen Durchmesser einen Versuch an, welcher das größte Erstaunen erregte. Nachdem er seine Kugel entleert hatte, ließ er an die beiden Hälften Pferde anspannen, zuerst zwei, dann immer mehr und mehr, und erst 16 Pferde waren mit Mühe im Stande, die beiden Hälften unter einem starken Knalle zu trennen. Später fertigte er eine andere Kugel von einer Elle Durchmesser an, zu deren Trennung 24 bis 30 Pferde nothwendig waren.

Die Kraft, mit welcher die beiden Halbkugeln zusammengedrückt werden, ist der Unterschied zwischen dem äußeren und inneren Luftdrucke. Der äußere Luftdruck ist für eine bestimmte Kugeloberfläche von dem grade stattfindenden Barometerstande, der innere von dem Grade der Verdünnung und der Größe der Innenfläche abhängig. — Da eine Kugel von 2 Fuß Durchmesser eine Oberfläche von fast 50,6 Quadratfuß hat, und der Atmosphärendruck bei einem Barometerstande von 28 Zollen auf den Quadratfuß, wie wir bereits wissen, gegen 2196 Pfunde beträgt; so würde der Druck auf die Außenfläche der Kugel gegen 111117 Pfunde betragen. Davon ist der nach dem Grade der Verdünnung zu bemessende innere Druck in Abzug zu bringen, welcher mit Benutzung der neueren Luftpumpen sehr vermindert werden kann.

4) Wenn man in einem Metallzylinder eine leicht bewegliche, sich aber gut anschließende Scheibe s hat, durch welche der innere Raum des Zylinders in zwei Theile a und c getrennt wird, und man pumpt aus dem Raume c die Luft; so wird die in den Raum a eindringende äußere Luft die Scheibe um so tiefer hineindrücken, je mehr in dem sich dadurch verkleinernden c die Luft verdünnt wird. Die Größe des Druckes hängt unter übrigens gleichen Umständen von der Größe der Scheibe ab, an welche man einen kleinen Wagen zur Aufnahme von Briefschaften u. a. hängen kann, wie man es in London unterhalb des Straßenpflasters eingerichtet hat.

5) Diesem Gedanken haben die Engländer noch einen großartigeren Ausdruck gegeben, indem sie eine sogen. atmosphärische Eisenbahn von mehren Meilen Länge gebaut haben. Zu diesem Zwecke war es nothwendig, zwei Zylinder anzuwenden, und die Scheibe oder den Stempel in jedem mit einem nach oben durch die Röhre gehenden Stiele zu versehen, damit diese Stiele zur Stütze für die Wagen, zur Aufnahme von Personen und Sachen dienten. Hierbei bot sich die große Schwierigkeit dar, den Verschluß des Raumes c, aus welchem die Luft gepumpt wird, ungeachtet der Vorwärtsbewegung der Stiele luftdicht zu erhalten. Dies bewirkte man durch luftdicht schließende Klappen, welche während der Bewegung durch die Stiele nur einen Augenblick geöffnet wurden, um sich sofort wieder zu schließen. Bei der Schwierigkeit, diesen Verschluß immer luftdicht zu erhalten, und dem nicht unbedeutenden

Kraftaufwande zur Bewegung der Luftpumpen, hat man diese Eisenbahnen aufgegeben.

6) Legt man unter den Rezipienten ein Stück weichen Teig oder Thon, so bläht es sich während der Entleerung mehr und mehr auf; ein runzliger Apfel wird glatt. Ebenso dehnt sich die wenige Luft in einer zugebundenen thierischen Blase nach allen Richtungen so aus, daß sie, wenn deren Menge anfänglich nicht zu gering war, die Blase zersprengt. So kann auch eine lufterfüllte Fischblase oder ein Glaskügelchen mit dünnen Wänden leicht zersprengt werden. Die Fische selbst können wegen allzugroßer Ausdehnung der Luft in ihrer Blase nicht unter Wasser bleiben.

7) Bei den Vögeleiern enthält der dickere Theil zwischen der Schale und der ledrigen Haut etwas Luft. Wenn man daher am spitzen Theile die Schale und Haut mit einer Nadel durchsticht, das Ei in ein Gläschen mit der Spitze nach unten und das Ganze unter den Rezipienten der Luftpumpe stellt; so wird beim Verdünnen der Luft im Rezipienten das Innere des Eies durch die in ihm eingeschlossene Luft herausgedrückt, geht aber wieder hinein, wenn man Luft in den Rezipienten gelangen läßt.

8) Wird eine oben geschlossene Glasröhre oder ein Gefäß mit der, wenn auch sehr engen Mündung, unter das Niveau des Wassers, welches unter einem Rezipienten steht, getaucht; so steigen beim Entleeren immerfort Luftblasen durch die Oeffnung, ohne daß Wasser eindringt. Läßt man aber wieder Luft in den Rezipienten, so füllt sich die Röhre um so mehr, je mehr die Luft verdünnt worden war. Das ist ein Mittel, um Glasgefäße mit engen Oeffnungen zu füllen, und die Flüssigkeit dann durch Zuschmelzen abzuschließen, damit sie aufbewahrt werde. Umgekehrt kann ein Gefäß mit sehr enger Oeffnung unter dem Rezipienten entleert werden. — Ist der kartesianische Taucher im Wasser untergesunken, so steigt er unter dem Rezipienten bei der Verdünnung der Luft, weil die Luft in ihm das Wasser theilweise oder ganz herausdrückt, wodurch er leichter wird.

9) Wenn man soeben aus dem Brunnen geschöpftes Wasser in einem Glase unter den Rezipienten setzt, so entwickeln sich beim Entleeren im Wasser vor unseren Augen kleine Luftblasen, die sich an die Ränder oder hineingehaltene Glasstäbchen anlegen. Die Luft war vorher in einem so verdichteten Zustande und fein vertheilt vorhanden, daß man sie nicht erkennen konnte, während bei der ihr gestatteten Ausdehnung benachbarte Theilchen in einander verschwimmen und einander vergrößern.

10) Wenn man einen Holzbecher, selbst mit einem zolldicken Boden, auf einen dazu passenden Rezipienten von Glas luftdicht aufsetzt, in den Becher etwas Quecksilber gießt, und nun die Luft im Rezipienten, also unter dem Boden des Bechers verdünnt; so regnet das Quecksilber durch

die Poren des Holzes, indem es dem äußeren stärkeren Luftdrucke folgt. Ebenso läßt Quecksilber sich durch Leder treiben.

11) Daß die Poren der Körper, namentlich also auch des Holzes, welches sich in der Luft befindet, auch mit Luft erfüllt sind, zeigt sich recht auffallend, wenn man ein Stückchen Holz in einem Glase mit Wasser unter dem Wasserspiegel festhält (etwa durch einen darüber eingeklemmten Draht), das Ganze unter den Rezipienten bringt und die Luft herausschafft; denn es entwickeln sich Tausende von Luftbläschen, welche sich zunächst an die Oberfläche des Holzes setzen, und dann bei ihrer Vergrößerung emporsteigen. Läßt man nach Beseitigung der Luft aus dem Holze in den Rezipienten wieder Luft eindringen, so begibt sich in das Holz statt der früheren Luft etwas Wasser, wodurch das Holz natürlich schwerer, und bisweilen so schwer geworden ist, daß es nicht mehr, wie früher, schwimmt.

Auf diese Weise kann man Hölzer mit verschiedenen Farben oder mit Stoffen versehen, welche ihnen eine größere Dauer und Festigkeit geben, sie vor der Fäulniß schützen, und es hindern, daß sie sich verziehen. Wird die Luft aus färbenden Flüssigkeiten durch Verminderung des auf ihnen lastenden Druckes entfernt, so dringt der Farbestoff derselben in die Zeuge besser ein.

12) Daß eine luftleere Glaskugel leichter ist, als eine lufterfüllte, ist wohl selbstverständlich. Durch das Erfüllen derselben Kugel mit verschiedenen Luftarten, und das Abwägen der gefüllten, läßt sich das spezifische Gewicht der Luftarten bestimmen.

13) Wenn Körper durch Berührung mit der atmosphärischen Luft leicht in Gährung übergehen, und so dem Verderben ausgesetzt sind, so kann man dieses dadurch verhüten, daß man sie in luftleere Räume einschließt. Nach dem Verfahren von Appert kann man Fleisch, Gemüse und andere Gegenstände für viele Jahre brauchbar erhalten. Auch bei Sämereien ist dieses der Fall. Man hat bei egyptischen Mumien Weizenkörner gefunden, welche noch nach Jahrtausenden keimfähig waren.

14) Es läßt sich auch leicht zeigen, daß die atmosphärische Luft wegen ihres Sauerstoffgehaltes zum Verbrennen und zum Leben unbedingt erforderlich ist; denn ein unter dem Rezipienten befindliches Licht verlischt viel schneller beim Entleeren, als wenn es ohne Entleerung des Rezipienten in ihm brennt.

Bringt man ein lebendes Thier, z. B. einen kleinen Vogel, unter den Rezipienten, so sinkt er beim Entleeren bald um und stirbt, wenn man ihm nicht rechtzeitig wieder Luft zukommen läßt. Warmblutige Thiere sterben natürlich eher, als kaltblutige, weil bei letzteren der Athmungsprozeß weniger lebhaft ist, als bei ersteren. Ebenso gibt ein Feuerschloß unter dem entleerten Rezipienten keinen Funken.

15) Wenn man unter den Rezipienten ein aufgezogenes Schlagwerk auf eine weiche Unterlage, z. B. auf Watte, setzt, oder es an einen

Faden aufhängt; so hört man den Schall um so weniger, je mehr man die Luft herausgeschafft hat. Dies ist ein Beweis davon, daß die Luft die Verbreitung des Schalles, also auch die Möglichkeit seiner Wahrnehmung vermittelt. Ohne Luft würden wir den Gesang der Nachtigall nicht hören, ohne Luft wäre der Genuß der Harmonie der Töne unmöglich, ohne Luft wäre uns die Mittheilung durch die Lautsprache versagt; ohne Luft wäre es über der Erdoberfläche still und lautlos, und nur durch die anderen Körper wäre noch eine nothdürftige Vermittelung der Schallbewegungen möglich.

Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Beobachtungen, welche durch die Luftpumpe vermittelt werden, und ebenso interessant, als wichtig sind, wir wollen sie aber lieber für die einzelnen Abschnitte aufsparen, in welche sie sachgemäß gehören.

Das Athmen.

Wir haben bei allen Versuchen, welche wir mit der Luftpumpe anstellten, das Bestreben der Luft zur Herstellung des gestörten Gleichgewichtes in Räumen, welche mit einander verbunden sind, kennen gelernt. Eben darauf beruht auch das Athmen, bei welchem allerdings auch noch andere Erscheinungen eintreten, auf welche wir aufmerksam machen wollen.

Erweitert man durch die Muskelkraft den inneren Raum des Brustkastens, so dehnt sich die Luft in ihm aus, wird dünner, hat eine geringere Spannkraft, als die äußere, und daher dringt die letztere ein; drückt man den Brustkasten zusammen, so wird die Luft in ihm dichter, und ein Theil derselben kommt heraus.

Von der Luftröhre führen zwei Aeste in die beiden Lungenflügel, welche an der Wand der Brusthöhle dicht anliegen; jeder Ast theilt sich wiederholt bis in die feinsten Aestchen, deren verzweigte Enden die hohlen Lungenbläschen sind, welche durch die Aufnahme von Luft sich erweitern, aber wegen ihrer faserigen und elastischen Wand sich von selbst wieder verengen können. Das Einathmen wird nur durch die Muskelthätigkeit des Brustkastens bewirkt, das Ausathmen vorzüglich durch die Elastizität der Lunge.

Aehnlich wie mit dem Athmen verhält es sich beim Trinken, nur daß statt Luft ein Theil der in den Mund gebrachten Flüssigkeit hineingetrieben wird, wozu allerdings dann auch die Muskeln das ihrige beitragen, welche stoßweise in Thätigkeit gesetzt werden. Es giebt freilich auch Menschen, welche, wie man zu sagen pflegt, ein so gutes Gefälle oder einen so weiten Schlund haben, daß sie die Flüssigkeit ununterbrochen durch den Schlund hineinlaufen lassen, während die Luft darüber durch die Luftröhre herauskommt.

Ebenso findet das Tabakrauchen nur durch das Bestreben zur Herstellung des gestörten Gleichgewichtes statt, denn be dem Saugen in

dem Rohre der Pfeife oder zwischen den Blättern der Cigarre wird eine Luftverdünnung bewirkt, die äußere Luft drückt den Rauch dorthin und in den Mund, damit er dort einen Nervenreiz erzeuge, von dem man sagt, daß er ein Genuß sei, nachdem man über die ersten von der Natur gesetzten Schwierigkeiten glücklich hinweggekommen ist, und endlich wird er aus dem Munde als einen nicht eben sehr naturgemäßen Schornsteine durch einen Muskeldruck ins Freie geblasen, um noch die Luft für die Nichtraucher mit Nikotin, welches auch im Rauche nachgewiesen ist, zu vergiften.

Wenn viele Menschen einige Zeit in einem Raume, z. B. im Theater, beisammen sind, so verzehren sie von der eingeathmeten atmosphärischen Luft eine große Menge ihres Sauerstoffes, wodurch das Blut in den Lungen geröthet wird und athmen viel kohlensaures Gas nebst Wasserdampf und dem eingeathmeten Stickstoffe aus. Daß man wirklich kohlensaures Gas ausathmet, ist schon früher nachgewiesen worden. Wenn man aber dieselbe Luft wiederholt ein- und ausathmet, so enthält sie viel weniger von diesem Gase, als das verschwundene Sauerstoffgas hätte erzeugen müssen, so daß in diesem Falle von den Lungen etwas Kohlensäure zurückgehalten worden ist.

Es ist natürlich, daß die über die Menge der von einem Menschen ein- und ausgeathmeten Luft angestellten Versuche zu ziemlich verschiedenen Resultaten geführt haben, weil das Athmen von verschiedenen Personen mit verschiedener Lebhaftigkeit geschieht, und auch die Menge der jedesmal eingeathmeten Luft verschieden ist. Wir wollen hier das Mittel aus mehren Beobachtungen mittheilen.

In der Lunge befinden sich nach möglichst tiefem Einathmen bei einem erwachsenen Manne überhaupt 179 Kubikzolle Luft, beim möglichst vollständigen Ausathmen verschwinden 121 Kubikzolle, so daß noch 58 Kubikzolle darin verbleiben, um durch die bereits früher erwähnte Diffusion mittelst der Lungenzellen die obige Verwandlung hervorzubringen und zu erleiden.

Hierbei ist die ganze dem Athmungsprozesse unterworfene Luftmenge von ziemlicher Bedeutung. Man kann bei einem erwachsenen und kräftig athmenden Menschen auf jeden Athemzug 15 Kubikzolle, also etwa $\frac{1}{4}$ der in der Lunge verbleibenden Luft rechnen, die sowohl ein-, als größtentheils ausgeathmet werden. Nimmt man in der Minute 24 Athemzüge an, so kommen auf einen Tag 518400 Kubikzolle oder 300 Kubikfuß oder 651 Loth Luft, welche eingeathmet worden ist. Die ausgeathmete beträgt dem Raume nach etwa $\frac{1}{75}$ weniger. (Die Durchschnittszahl aus einigen französischen Beobachtnngen ergibt als täglichen Verbrauch nur etwa 229000 Kubikzolle).

Mit diesen 518400 Kubikzollen atmosphärischer Luft sind 79 Prozent oder 409336 Kubikzolle Stickstoff und 21 Prozent oder 108864 Kubikzolle Sauerstoff eingeathmet worden. Jener wird wieder aus-

geathmet, dieser aber nur zum Theil; denn ein Theil davon dient dazu mit dem Kohlenstoffe des Blutes sich zu verbinden, den Kohlenstoff also zu oxydiren und kohlensaures Gas zu bilden; ein anderer Theil verbindet sich mit dem Wasserstoffe des Blutes zu Wasser oder eigentlich zu Wasserdampf, welche beide ausgeathmet werden.

Die Entwickelung der Kohlensäure ist bei verschiedenen Menschen und bei demselben Menschen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, bei verschiedenen Nahrungsmitteln und selbst sogar Gemüthsbewegungen sehr verschieden und aus 14 Beobachtungen für je 100 Maß einmal eingeathmeter Luft 6,3 Maß gefunden worden. Während die eingeathmete atmosphärische Luft nur 0,0004 Kohlensäure enthält, sind in der ausgeathmeten 0,04 vorhanden. Die Luft verliert durch das Einathmen etwas mehr an Sauerstoff, als die ausgeathmete an Kohlenstoff zugenommen hat.

Die Menge des ausgeathmeten Wasserdampfes ist stets recht bedeutend. Für einen erwachsenen Mann kann man auf 24 Stunden mehr als ein Pfund (5760 Gran), im Mittel wohl 7963 Gran Wasser rechnen, dem natürlich auch thierische Stoffe, je nach dem Gesundheitszustande, beigemengt sind.

Bei dem in den Lungen stattfindenden Stoffwechsel wird:

1) Das dunkle, venöse Blut des Körpers, welches aus der rechten Herzkammer durch die Lungenarterie mit ihren äußerst zarten Verzweigungen in sie gelangt, roth gefärbt, indem es von der in den Lungenzellen enthaltenen Luft nur durch sehr dünne Häutchen getrennt ist, und es geht dann durch die Lungenvenen als hellrothes arterielles Blut in die linke Seite des Herzens, von wo es durch die Arterien oder Schlagadern in den ganzen Körper geleitet wird. Es wird sogar soeben geronnenes Blut in der atmosphärischen Luft noch purpurroth gefärbt, indem es einen Theil ihres Sauerstoffes in Kohlensäure verwandelt, ohne das Volumen zu verändern.

2) Eine zweite Wirkung dieses Stoffwechsels ist die Erzeugung von Wärme, welche außerdem und vorzüglich durch die Umwandlung der genossenen Nahrungsmittel hervorgebracht wird, so daß sie beim Menschen in allen Zonen 37° C. (nahe 30° R.), bei den Vögeln 40 bis 41°, bei den nicht viel Sauerstoff verbrauchenden Fischen und Amphibien aber wenig mehr beträgt, als die des umgebenden Wassers oder der Luft. Das nach den Lungen durch die Venen strömende dunkle Blut ist etwas wärmer, als das aus ihnen fließende rothe arterielle, so daß in den Lungen eine kleine Abkühlung durch die eingeathmete Luft stattfindet, und überdies enthält jenes mehr Sauerstoff, dieses mehr Kohlensäure.

Daß der mit Bewegung verbundene Aufenthalt im Freien, namentlich in kalter Luft, die Eßlust vermehrt ist klar, weil wir bei lebhafterem Athmen mehr Sauerstoff verzehren und somit der Stoffwechsel ein leb-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

hafterer ist. Die Nordländer bedürfen, da sie mehr Wärme an die Umgebung abgeben, zu ihrer Nahrung vorzüglich des Fleisches und der Fette; die Südländer oder vielmehr die Bewohner heißerer Gegenden mehr einer vegetabilischen Kost und einer freien Ausdünstung des Körpers, welche eine Herabsetzung der Temperatur des Körpers bewirkt.

Ungeachtet der so wesentlichen Veränderung der atmosphärischen Luft durch den Athmungsprozeß wird, wenn auch noch soviele Menschen zusammen in einem abgeschlossenen Zimmer oder Saale sind, das Verhältniß des Sauerstoffes zum Stickstoffe gar nicht geändert. Der verbrauchte Sauerstoff wird sofort unmittelbar durch den unerschöpflichen Vorrath aus der Atmosphäre ersetzt, weil ja jedes Gas in einem ihm zugänglichen Raume sich ohne Rücksicht auf ein anderes Gas für sich überallhin ins Gleichgewicht setzt, indem die Spannkraft an verschiedenen einander zugänglichen Stellen eines Raumes nicht verschieden sein kann. Die Luft dringt aber in ein Zimmer nicht blos durch die feinsten Ritzen an Thüren und Fenstern, sondern selbst durch die dicksten Mauern. Man hat Luft über den Köpfen der Zuschauer in der Oper zu Paris, man hat sie in verschiedenen Höhen der freien Atmosphäre aufgefangen und hat überall dasselbe Mischungsverhältniß gefunden. Nur der Gehalt an Kohlensäure hat etwa von 2 bis 10 Tausenteln geschwankt.

Wenn nun dessenungeachtet das Athmen in menschenerfüllten und nicht gehörig gelüfteten Räumen mit der Zeit unangenehm wird, so rührt dies von den gleichzeitig ausgeathmeten und ausgedünsteten anderen Stoffen her, welche den Gesetzen der Gase nicht unterworfen sind, also ohne besonderen Luftzug den Ort ihrer Entstehung nicht verlassen, höchstens in dem oberen Theile des Raumes wegen ihrer größeren Wärme sich mehr ansammeln, als in den unteren Theilen.

Wenn wir auch für eine kurze Zeit den Vorrath an Sauerstoff in der ganzen Atmosphäre für unerschöpflich ansehen dürfen, so ist es bei der ungeheuren Menge von Thieren nicht auf die Dauer. Es ist aber in der Natur für die Erhaltung aller Wesen gesorgt, weil die Pflanzen Sauerstoff ausathmen und die von den Thieren ausgestoßene, für sie tödtliche Kohlensäure einathmen.

Ein kräftiges Athmen in gesunder Luft ist eine der wesentlichsten Bedingungen für unser Wohlbefinden, und daher sollte jede unnatürliche Beengung der Brust sorgfältigst vermieden und darauf gehalten werden, daß man, namentlich bei einer sitzenden Lebensweise, öfters in tiefen langen Zügen athmet, um der Verengung der Brust zu begegnen.

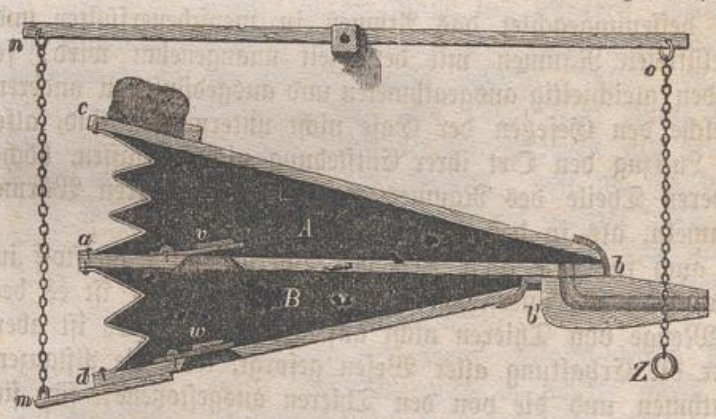
Blasebälge.

Wir haben schon bei Anführung der Zylindergebläse auf das technisch wichtige Mittel einen Strom von athmosphärischer Luft zum Unter-

halt eines Feuers herzustellen, hingewiesen. Die Zylindergebläse sind aber theils zu kostspielig, theils nicht immer unumgänglich nothwendig, da es in vielen Fällen nicht darauf ankommt, einen sich fortwährend gleichbleibenden Strahl von Luft zu erhalten. Wir haben für häusliche und andere Zwecke den einfachen, den doppelten Blasebalg und das Trommelgebläse.

1) Der einfache oder Hand-Blasebalg besteht aus zwei spitz zulaufenden Brettchen oder Brettern, welche seitwärts und an der breiten Kante mit nachgebendem, luftdicht befestigtem und in Falten gelegtem Leder besetzt sind; das eine Brettchen hat ein nach innen sich öffnendes Klappenventil und das spitze Ende beider lauft in eine Metallröhre aus.

Werden die Brettchen von einander gezogen, so wird die Luft im Innern weniger dicht und hat eine geringere Spannkraft, als die äußere; deshalb drückt die äußere atmosphärische Luft das Ventil auf und der innere Raum füllt sich mit Luft von derselben Dichtigkeit. Werden nun die beiden Brettchen etwas kräftiger zusammengedrückt, so wird die innere Luft dichter, weil das Ventil zufällt und durch diese Luft auch zugedrückt wird, und es strömt aus dem Rohre ein um so kräftigerer Luftstrahl, je mehr man drückt. Auf diese Weise werden durch Wiederholung des Verfahrens unterbrochene Luftströme ins Feuer gebracht.



(Fig. 111.)

2) Der doppelte Blasebalg leidet weniger an den Unterbrechungen, durch welche der Erfolg eines früheren Stoßes zum Theil aufgehoben wird, ehe der neue beginnt. Er besteht (Fig. 111) aus zwei Kammern A und B, welche durch drei solche spitz zulaufende Bretter cb, ab und db' und das nöthige Leder gebildet werden. Das erste und oberste dieser Brettchen ist irgendwie beschwert, in dem zweiten und dritten sind nach innen sich öffnende Klappenventile w und v; das Rohr zum Blasen geht nur von der oberen Kammer A aus.

Um den Blasebalg angemessen zu handhaben, ist das mittelste Brett ab irgendwie befestigt, von dem hervorragenden Ende m des untersten geht eine Kette nach dem einen Endpunkte einer um einen Punkt drehbaren und über dem Blasebalge befindlichen Stange no, von dem an-

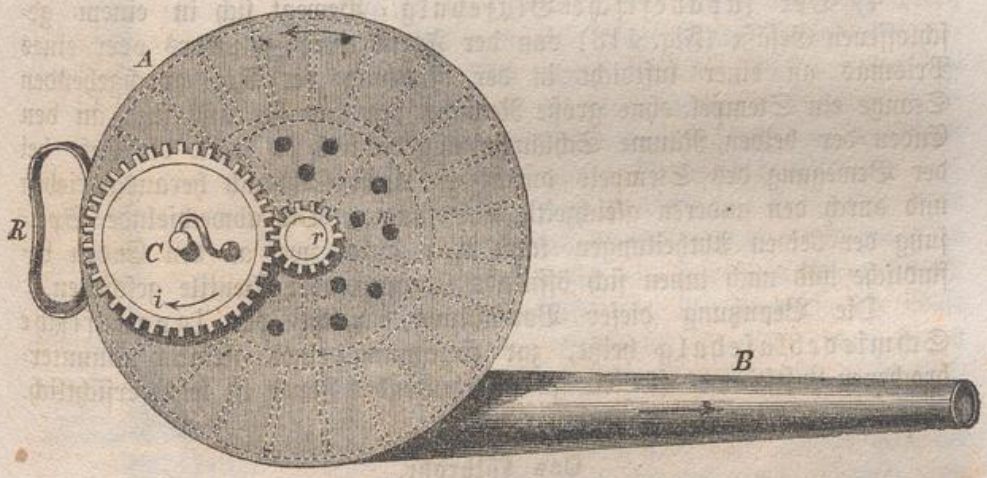
deren Ende o derselben geht eine zweite Kette oder ein Strick mit einem Handgriffe Z herab.

Zieht man bei Z herab, so geht das unterste Brett bei geschlossenem Ventil aufwärts, die Luft in der Kammer B wird zusammengedrückt, sie drückt das Ventil v nach A auf und verdichtet sich hier. Hört man auf zu ziehen, so geschieht zweierlei:

1) das unterste Brett fällt herab, wodurch die Luft in B verdünnt, das Ventil w durch die äußere Luft aufgestoßen und so die Kammer B gefüllt wird;

2) das oberste und beschwerte Brett cb kommt herab, verdichtet die Luft in A, wodurch das Ventil v zugedrückt und ein Luftstrahl aus dem Rohre gepreßt wird.

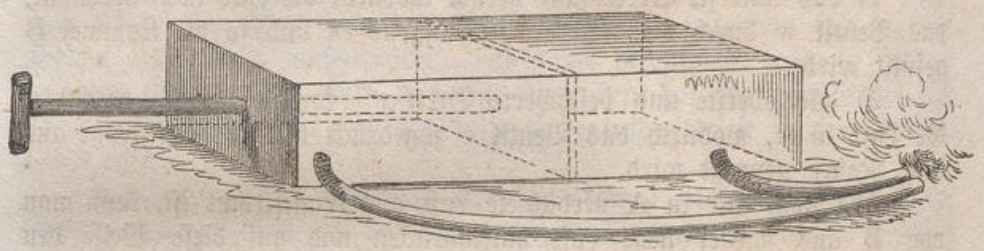
Ehe noch alle in A verdichtete Luft aus A geströmt ist, kann man von B aus wieder neue Luft hineindrücken und auf diese Weise den Luftstrahl ununterbrochen, wenn auch in nicht immer gleicher Stärke erhalten.



(Fig. 112.)

3) Für den Handgebrauch ist das Trommelgebläse ganz geeignet, indem es auch einen fortwährenden Luftstrahl hervorzubringen gestattet. In Fig. 112 bedeutet A eine zylindrische hohle Trommel, an welche sich das spitz zulaufende Ausflußrohr B anschließt; an der drehbaren Axe ist auf zwei kreisförmigen Ringen ein Schaufelrad, ähnlich wie bei den Raddampfern, angebracht; außerhalb ist an dieser Axe ein kleines gezahntes Rad (Getriebe) befestigt, dessen Zähne durch ein größeres gezahntes Rad C, welches mittelst einer Kurbel um einen bestimmten Punkt an der Außenfläche der Trommel gedreht werden kann, fortgeschoben werden. Außerdem ist der Bequemlichkeit wegen noch ein Handgriff R angebracht.

Dreht man das Rad um C in der Richtung des Pfeiles bei i, so dreht sich das innere Schaufelrad in entgegengesetzter, wie es der Pfeil bei i' anzeigt, und jede der Schaufeln stößt die vor ihr befindliche Luft in und durch die Röhre B. Damit aber der Abgang der Luft in der Trommel sofort wieder ersetzt werde, hat dieselbe eine Menge kleinerer Oeffnungen, wie es die dunkel gezeichneten Kreise zeigen.



(Fig. 113.)

4) Der japanesische Blasebalg. Bewegt sich in einem geschlossenen Gefäße (Fig. 113) von der Form eines Zylinders oder eines Prismas an einer luftdicht in der Richtung der Axe durchgehenden Stange ein Stempel ohne große Reibung hin und her und sind an den Enden der beiden Räume Schläuche angebracht, so wird die Luft bei der Bewegung des Stempels durch den einen Schlauch herausgetrieben und durch den anderen gleichzeitig eingesaugt. Die abwechselnde Speisung der beiden Abtheilungen kann auch durch zwei an den Enden befindliche und nach innen sich öffnende Klappen oder Ventile geschehen.

Die Benutzung dieser Vorrichtung, welche der japanesische Schmiedeblasebalg heißt, zur Erzeugung eines ziemlich ununterbrochenen Luftstromes für ein zu unterhaltendes Feuer ist leicht ersichtlich.

Das Löthrohr.

In vielen Fällen ist ein feiner Luftstrahl erforderlich zur Hervorbringung einer bedeutenden Hitze an einer kleinen Stelle, wie z. B. beim Zusammenlöthen zweier Metallstückchen. Eine sehr große Hitze kann allerdings wohl erzeugt werden, wenn man den durch ein hydraulisches Gebläse erzeugten Strahl von Knallgas anzündet und noch ein sehr intensives Licht, wenn man diesen Strahl auf Kreide oder frisch gebrannten Kalk leitet; aber theils ist dieses Verfahren ziemlich umständlich, theils für gewöhnliche Zwecke nicht erforderlich, sondern man nimmt das höchst einfache Löthrohr. Es besteht (Fig. 114) aus einem zylindrischen oder etwas kegelförmig zulaufenden Metallrohre AB, bei A ist ein Mundstück angeschraubt, welches den Mund ringsum einschließt, bei B ein etwas weiterer zylindrischer Behälter C, welcher seitwärts ein kurzes Ansatzrohr a mit einer fein durchbohrten Platinspitze trägt. C dient



(Fig. 114.)

dazu, um die beim Blasen sich etwa ansammelnde Feuchtigkeit aufzunehmen.

Um einen andauernden Luftstrahl zu erhalten, legt man das Mundstück so an, daß es gut an die Lippen schließt, bläst die Backen auf und treibt durch die Spannung der Backenmuskeln, nicht aber unmittelbar durch die Lungen, die Luft hinaus, wobei man ungehindert durch die Nase fortathmen kann.

Geht nun der Luftstrahl durch die Flamme einer Lampe, so wird sie seitwärts gebogen, lauft in eine Spitze aus und verliert ihre Leuchtkraft fast vollständig. Die Wirkungen dieser Stichflamme sind aber nicht nur in ihren Theilen, sondern auch nach jeder Stelle, in welcher sie erzeugt wird, verschieden. Hält man die Spitze nur einwenig in die Flamme unmittelbar über das Docht, so erhält man die sogenannte Oxydationsflamme; hält man aber die Spitze des Löthrohres nur dicht an die Flamme, so bekommt man die Reduktionsflamme. Durch jene kann man ein Metall oxydiren, z. B. Blei in Bleioxyd verwandeln, durch diese das Metall reduziren, also aus dem Oxyd das Metall wieder herstellen. In jenem Falle bildet sich ein fast ganz blauer Kegel, bei welchem die vollständige Verbrennung der Gase gegen die Spitze stattfindet, so daß dort wegen der großen Hitze ein Metall verbrennt, d. h. oxydirt. In diesem Falle ist der blaue Kegel kürzer, sein umgebender Mantel und eine Strecke von der Spitze ist leuchtend, die Spitze selbst aber bläulich und oxydirt; nur der gegen die Mitte des ganzen Kegels befindliche leuchtende Theil reduzirt und kann allein auch zum Löthen gebraucht werden.

Der gelbe Flammenkegel aus Kohlenstoff nimmt den Sauerstoff der Atmosphäre auf und verbrennt zu Kohlensäure; ist aber ein Metalloxyd in ihm, so entzieht er diesem den Sauerstoff und das reine Metall bleibt zurück.

Gleichgewicht absorbirter Gase.

Endlich sind noch einige Bemerkungen über das Gleichgewicht der von festen und tropfbaren Körpern in ihr Inneres aufgenommenen oder absorbirten Gase zu machen.

Sind Körper der allgemeinen Massenanziehung oder auch der chemischen Anziehung gefolgt, so ist es natürlich, daß sie, wenn sie in

das Innere von massigeren Körpern eingedrungen sind, in diesen Körpern in einem verdichteten Zustande vorkommen müssen; aber ihre Expansivkraft hat sich dadurch nicht vermehrt, und sie dehnen sich in diesen Körpern nicht aus, selbst wenn sie in der freien Luft sich befinden. Ist nun eine Verwandtschaft des Körpers zu dem Gase vorhanden, so wird die Absorption von Gas so lange stattfinden, bis endlich die freie Spannkraft des verschluckten Gases dem äußeren Drucke das Gleichgewicht hält. Wird der äußere Druck vermehrt, so beginnt auch die Absorption oder Verschluckung wieder, bis ein neuer Sättigungszustand eintritt; wird aber nach erfolgter Sättigung der äußere Druck vermindert, so entweicht ein Theil des absorbirten Gases bis zur Herstellung des Gleichgewichtes.

Will man in das Wasser z. B. viele Kohlensäure bringen, wie es bei der Anfertigung künstlicher Mineralwässer nothwendig ist, so muß man diese Luft einem größeren Drucke aussetzen, während sie mit dem Wasser in möglichst vielseitige Berührung gebracht wird. Man muß zu diesem Zwecke die entwickelte Kohlensäure durch Druckpumpen zusammendrücken und in vielen kleinen Strahlen im umgerührten Wasser vertheilen. Es ist natürlich, daß bei der Lüftung des Korkes einer Flasche, welche kohlensaures Wasser absperrt, das Gas um so heftiger entweicht, je mehr es zusammengedrückt worden war.

Es ist übrigens hierbei gleichgiltig, wie das Gas mit der Flüssigkeit zusammengebracht worden ist; es kann auch durch den Gährungsprozeß in ihm selbst erzeugt worden sein. Wenn man also während des Gährungsprozesses die Flüssigkeit so absperrt, daß das sich entwickelnde Gas nicht mehr entweichen kann, wie es z. B. bei der Bereitung des Bieres und des Champagners geschieht; so verdichtet sich die Kohlensäure im Innern der Flüssigkeit und erlangt dabei oft eine so große Expansivkraft, daß sie die Flaschen zersprengt. Die bei der Verminderung des äußeren Druckes aus der Flüssigkeit aufsteigenden Gasblasen wachsen nach obenhin, theils weil der Druck der Flüssigkeit nach oben auf sie sich vermindert, theils weil sie beim Aufsteigen andere Gasblasen in sich aufnehmen. — Die Regentropfen werden beim Fallen um so größer, je weiter sie in dunstreicher Luft herabkommen.

Die Flüssigkeiten verlieren einen Theil des absorbirten Gases, wenn sie fest werden, daher die Luftblasen z. B. im Eise; sie verlieren es aber ganz, wenn sie hinreichend lange gekocht werden, wozu allerdings in manchen Fällen Stunden gehören, wie z. B. beim Queckfilber, was bei der Anfertigung der Barometer und Thermometer höchst wichtig ist.

Wenn ein Körper, welcher ein Gas absorbirt hat, mit einem anderen Gase in Berührung gebracht wird, so tritt bis zur Herstellung des stabilen Gleichgewichtes, d. h. bis zur Ausgleichung der Expansivkraft beider, eine gleichmäßige Mengung des absorbirten und des freien Gases ein.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Vierter Abschnitt.

Gleichgewicht fester Körper in flüssigen.

Gleichgewicht in luftigen Körpern.

Wägt man eine mit atmosphärischer Luft erfüllte Glaskugel, so ist sie schwerer, als wenn die Luft aus ihr irgendwie geschafft worden ist. Wenn der hohle Raum der Kugel einen Kubikfuß beträgt, so ist der Unterschied bei 0 Temperatur etwa 2,7 Loth; also wiegt ein rheinländischer Kubikfuß atmosphärischer Luft 2,7 Loth (eigentlich 656,47 Gran, 1 Liter fast genau 1,3 Gran). Denkt man sich nun eine Luftkugel grade von einem Kubikfuß Rauminhalt innerhalb der freien Atmosphäre in vollkommener Ruhe, so trägt die übrige Luft, welche jene Kugel umgibt, grade ihr ganzes Gewicht, mit welchem sie nach der Erdoberfläche hin gelangen will.

Wäre statt der Luftkugel eine andere Kugel von größerem Gewichte und gleichem Rauminhalte vorhanden, so würde sie von der umgebenden Luft nicht mehr getragen, sondern würde auf eine Unterlage drücken, aber nur mit dem Mehrgewichte, weil ja die atmosphärische Luft von ihr immer noch, wie vorhin, 2,7 Loth trägt.

Wäre eine Kugel von demselben Rauminhalte, aber kleinerem Gewichte in der ruhigen atmosphärischen Luft vorhanden, wie wenn man eine Seifenblase mit der warmen und dünnen Luft aus dem Munde oder mit dem so leichten Wasserstoffgase gefüllt hätte; so müßte sie sogar emporsteigen, weil der Druck der umgebenden Luft von unten nach oben größer ist, als der durch ihr Gewicht nach unten ausgeübte.

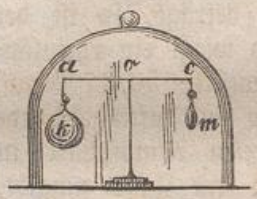
Aus dieser Betrachtung ergibt sich, daß *jeder Körper von seinem Gewichte in der Luft so viel verliert, als das Gewicht der von ihm verdrängten Luft wiegt.*

Ein jeder Körper kann also nur dann das ihm zukommende ganze Gewicht, welches man sein *absolutes Gewicht* nennt, zeigen, wenn er im luftleeren Raume abgewogen wird; denn in der Luft zeigt er sich stets leichter, als er ist und verliert um so mehr von seinem absoluten Gewichte, je größer sein Volumen bei einem bestimmten Gewichte ist.

Hat man z. B. mit einem Pfundgewichte von Eisen ein Pfund Holz in der Luft abgewogen, so hat man eigentlich weder ein Pfund Eisen, noch ein Pfund Holz, noch überhaupt gleiche Massen; denn jeder der beiden Körper hat in der Luft von seinem Gewichte verloren, ist also schwerer, als ein Pfund; aber das Holz hat mehr verloren, als das Eisen, weil es wegen seines größeren Volumens eine größere Menge Luft verdrängt, als dieses. Brächte man beide, die in der Luft einander

im Gleichgewichte hielten, in einen luftleeren Raum, so müßte die Holzkugel sinken.

Kauft man also ein Pfund Zucker, so hat man mehr als ein Pfund, weil die Luft das Gewicht des Zuckers mehr erleichtert, als das Auflegegewicht. Da aber der Kaufmann beim Einkaufen denselben Vortheil genießt, so wird der Nachtheil beim Verkaufen ausgeglichen. — Uebrigens ist der Unterschied zwischen dem absoluten Gewichte eines Körpers und seinem relativen in der Luft dann, wenn er sehr wenig dicht ist, gar nicht so unbedeutend. Hätte er auch nur ein um 3 Kubikfuß größeres Volumen, als das Auflagegewicht, so würde er in der That 3. 2,7 oder 8,1 Loth schwerer sein, als die Wage zeigt.



(Fig. 115.)

Den soeben geschilderten Einfluß der atmosphärischen Luft auf das Gewicht der Körper kann man an einem kleinen Instrumente (Fig. 115) sehr gut erkennen, welches eine kleine Gleichwage ist, an deren einem Schenkel bei a man eine nicht große Kugel k von recht dünnem Glase mit einem kleinen Körper m von einem recht schweren Metalle am anderen Schenkel c in der Luft zuerst ins Gleichgewicht gesetzt hat. Wenn man dann das Ganze unter eine Glasglocke setzt und aus dieser die Luft nach und nach fortschafft, so sinkt die Kugel um so tiefer, je mehr dieses geschieht. Hierbei wird das kleine Gegengewicht zwar auch schwerer, aber wegen seines kleineren Volumens um weniger, als die Glaskugel. Die Tiefe des Sinkens gibt auch einigermaßen den Grad der Luftverdünnung an, wenn man an der Wage einen Zeiger für den damit zu messenden Ausschlag hat. Das Instrument würde also die Dichtigkeit der Luft messen lassen und heißt deshalb Wage-Manometer oder auch Dasymeter, Dichtigkeitsmesser.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß das Fallen und Steigen eines Körpers in der Luft unter übrigens gleichen Umständen, namentlich bei bestimmter Form des Körpers, von dem Unterschiede seines absoluten Gewichtes und des Gewichtes der von ihm verdrängten Luft abhängig ist. Es muß demnach eine Bleikugel in der Luft schneller fallen, als eine Holzkugel von demselben absoluten Gewichte, und jene auch schneller, als diese, wenn sie einerlei Größe haben, obwohl sie in beiden Fällen im leeren Raume gleich schnell fallen.

Soll ein Körper fallen, so muß sein Gewicht größer sein, als das der verdrängten Luft; soll er steigen, so muß es umgekehrt sein und er wird um so schneller steigen, je mehr das Gewicht der Luft das des Körpers übertrifft.

Feste Körper schweben in der Luft nur dann, wenn sie äußerst fein zertheilt vorkommen, wie z. B. der Stubenstaub, auch Sonnenstaub genannt, weil man ihn, wenn die Sonnenstrahlen auf ihn scheinen, durch

deren Zurückwerfung erkennt, oder wie der Blüthenstaub von Blumen, welcher sich uns durch den Geruch geltend macht.

Sollen größere feste Körper in der Luft schweben oder steigen, so muß man sie entweder mit leichteren, als die atmosphärische Luft ist, verbinden oder sie zu diesem Zwecke mit ihnen füllen.

Als leichtere Luft dient entweder erwärmte atmosphärische Luft oder eine andere Luftart, wie Leuchtgas und Wasserstoffgas, welches letztere in seiner Reinheit etwa 14,5 mal leichter, und somit die leichteste aller Luftarten ist.

Wasserstoff läßt sich sehr leicht dadurch entwickeln, daß man mit Wasser verdünnte Schwefel- oder Salzsäure auf Zinkspähne gießt. Es verbindet sich nämlich der Sauerstoff des Wassers mit dem Metall zu einem weißlichen Pulver (Zinkoxyd) und der Wasserstoff entweicht, so daß man ihn auffangen kann. Angezündet brennt er mit einer matten bläulichen Farbe und gibt viele Wärme.

Wenn man aus dünnem Papiere einen hohlen Ball, dem man verschiedene Formen geben kann, zusammenklebt, unten eine etwas größere Oeffnung läßt, die durch einen Reifen offen erhalten wird, an diesen Reifen in die Mitte eine Spiritusflamme oder ein kleines Kohlenbecken anbringt; so wird die Luft in dem Balle erwärmt und erfüllt ihn endlich, wenn er vorher auch ganz schlaff war oder es wird ein Theil der Luft herausgetrieben, indem die warme und leichte in ihm emporsteigt. Dadurch wird der Ball mit der in ihm enthaltenen Luft leichter, als die von ihm verdrängte und kältere, so daß er in ihr nicht blos allein steigt, sondern auch im Stande ist, angehängte schwerere Körper mit sich empor zu nehmen.

Auf diese Weise brachten die Brüder Montgolfier bereits im Jahre 1782 Luftbälle zustande, von denen der erste größere von 35 Fuß Durchmesser 450 Pfunde wog, noch 400 Pfunde Last trug, 1000 Fuß in die Höhe stieg und in einer Entfernung von 12000 Fuß wieder herabkam.

Den 19. September 1783 ließ der jüngere der beiden Brüder, Joseph, zu Versailles einen Ball mit einem angehängten Käfige aufsteigen, worin ein Hammel, eine Ente und ein Hahn saßen, welcher in einer Entfernung von 1700 Toisen so sanft niederfiel, daß die Thiere vollkommen unbeschädigt blieben und der Hammel fressend angetroffen wurde.

Schon am 15. Oktober 1783 wagte es Pilatre de Rozier, Vorsteher des Museums, selbst mit 84 Fuß hoch zu steigen und fast 5 Minuten oben zu bleiben, indem er durch Vermehrung oder Verminderung des Feuers sich bald hob, bald senkte; aber der Ball wurde noch durch einen Strick festgehalten.

Endlich am 21. November bestieg er mit noch einem Herrn eine Maschine von 60000 Kubikfuß Inhalt und 1600 bis 1700 Pfund Ge-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wicht und kam nach 25 Minuten in einer Entfernung von 5000 Toisen wohlbehalten zur Erde.

Inzwischen hatten unter der Leitung des Professors der Physik Charles die Mechaniker Gebrüder Robert einen Ball aus Taffent gemacht und mit einer Harzauflösung überzogen. Sie ließen ihn allein aufsteigen; er verschwand bald in den Wolken und wurde dann 5 Lieues von Paris mit einem Risse aufgefunden, den er wohl bekommen haben mochte, weil das eingeschlossene Gas in der oberen dünneren Luft sich allzustark ausdehnen konnte.

Dessen ungeachtet stiegen Charles und der eine Robert am 1. Dezember 1783 mit einem Balle von 26 Fuß Durchmesser zu einer Höhe von 250 bis 300 Toisen; aber sie kamen nach 2 Stunden in einer Entfernung von 9 Stunden unbeschädigt zur Erde, wo Robert ausstieg. Dadurch wurde der Ball um 130 Pfunde erleichtert, und er erhob sich wieder bis zu 1500 Toisen und kam nach 35 Minuten herab, ohne daß dem Charles ein Unfall zugestoßen wäre.

Seit dieser Zeit sind unzählige Luftschiffahrten meist aus Spekulation, aber auch zu wissenschaftlichen Zwecken gemacht worden, deren Ergebnisse wir an geeigneten Orten werden kennen lernen.

In verschiedenen Kriegen hat man sich derselben bedient, um die Stellungen der Feinde zu erforschen. Hierbei ist der Umstand sehr hinderlich, daß es bis jetzt noch nicht hat gelingen wollen, dem Luftballe eine beliebige Richtung zu ertheilen. Der Luftball, welchen französische Offiziere am Tage der Schlacht von Fleurus benutzten, um die Stellung und Stärke der Oesterreicher zu erforschen, mußte wegen des widrigen Windes von 30 bis 40 Pferden gehalten werden. Man muß sich sonst der Luftströmung, in welcher man sich grade befindet, unbedingt überlassen und der Ball hat dieselbe Richtung und Geschwindigkeit, wie die Luft, so daß man von dem stärksten Sturme, in welchem man sich befindet, nichts empfindet, höchstens daß das dem Balle angehängte Schiff, in welchem man sitzt, gegen den Ball etwas zurückbleibt, weil dieser dem Winde eine größere Fläche darbietet, also stärker gestoßen wird.

Nur daran erkennt der Luftschiffer einigermaßen, ob er steigt oder fällt, daß herausgeworfene Papierschnitzchen im ersten Falle sinken, im zweiten steigen. Ein Steuerruder kann also eine Lenkung des Luftschiffes nicht bewirken, es würde höchstens eine Drehung desselben entstehen, bis es dem Winde die kleinste Fläche darbietet. Nur dadurch hat man es bis zu einem gewissen Grade einigermaßen in seiner Gewalt nach einer bestimmten Richtung zu gelangen, daß man sich bald hebt, bald senkt, weil in unseren Gegenden in verschiedenen Höhen die Luftströmungen meist nach verschiedenen Richtungen gehen. Im Jahre 1785 hatte Blanchard die Kühnheit, mit einer solchen Strömung von Dover über den Kanal nach Frankreich zu reisen und im November 1836 flog Green mit zwei

Gefährten mittelst eines mit Kohlengas gefüllten Ballons in 19 Stunden von London bis Weilburg. Am 16. Dezember ließ man zu Paris einen großen Aärostaten aufsteigen, der nach 22 Stunden bei Rom niederfiel, also in 1 Stunde mehr, als 10 geographische Meilen zurückgelegt hatte. Die Idee von Amerika in einem mit aller Bequemlichkeit ausgestatteten Luftschiffe nach Europa zu fahren, scheint vollkommen aufgegeben zu sein und möchte sich wegen der unsicheren Windströmungen schwieriger ausführen lassen, als eine Luftreise zwischen Japan oder China und Nordamerika. Die Höhen, bis zu welchen man gelangte, waren bisweilen sehr bedeutend. Charles Green erreichte eine Höhe von 27146 Fuß; in neuester Zeit ist man bis zu 35 oder 36 tausend Fuß gelangt; aber es ist nicht nur wegen der sehr niedrigen Temperatur, sondern besonders wegen der in diesen Höhen schon recht unbedeutenden Dichtigkeit der Luft für die Gesundheit gefährlich, indem bei Beschleunigung des Pulses ein Zustand von Kraftlosigkeit und dann sogar Bewußtlosigkeit eintritt.

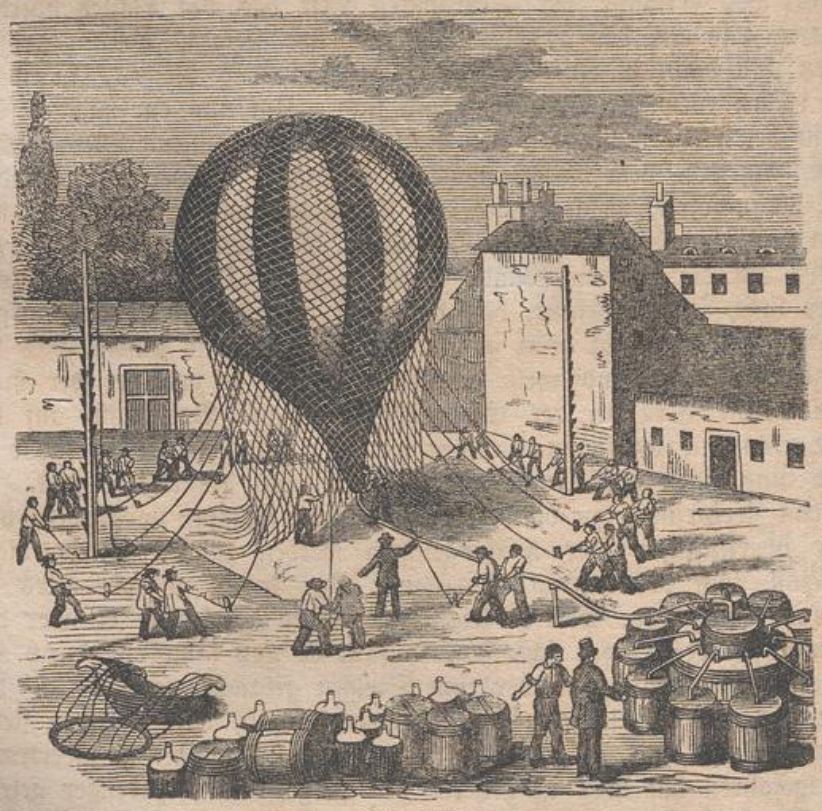
Der Ball steigt mit dem, was daran gehängt ist, um so heftiger, je mehr das Gewicht der verdrängten Luft das des Balles übertrifft. Er muß also an der Erdoberfläche schneller steigen, als in größeren Höhen und dann in einer solchen Höhe schwebend bleiben, in welcher diese beiden Gewichte einander gleich sind. Um nun ein höheres Steigen zu bewirken, muß man den Ball erleichtern können. Dies geschieht, indem man von dem mitgenommenen Ballaste, welcher aus Sand besteht, herauswirft, welches nach den Umständen wiederholt werden kann. Wenn das eingeschlossene Gas den Ball nicht nur vollständig erfüllt, sondern auf die inneren Wände einen größeren Druck ausübt, als die äußere Luft, so ist Gefahr, daß der Ball zerspringt. Er darf also an der Erdoberfläche nicht ganz gefüllt werden, weil das innere Gas beim Steigen sich mehr und mehr ausdehnen kann, je geringer der äußere Druck wird. Der an der Erdoberfläche schlaffe Ball kann auf diese Weise nicht nur vollkommen erfüllt werden, sondern es kann sogar das innere Gas einen größeren Druck ausüben, als die äußere Luft. Um nun das Zerspringen zu vermeiden, sind daher Klappen vorhanden, durch welche überflüssiges Gas herausgelassen werden kann. Bleibt hierbei der Ball noch vollkommen angespannt oder behält er sein altes Volumen, so steigt er, weil er leichter geworden ist; wird er aber beim Herauslassen des Gases schlaffer, so fällt er und kann nur durch Herauswerfen von Ballast wieder zum Steigen gebracht werden. Auf diese Weise hat man es einigermaßen in seiner Gewalt, wiederholt zu steigen und zu sinken, und so sich verschiedenen Luftströmungen anzuvertrauen. Lebensgefahren hat man in neuerer Zeit so ziemlich vorzubeugen gelernt. Um beim Herabkommen an die Erdoberfläche, wenn es nicht windstill ist, den Ball festzuhalten, wirft man Anker aus, welche aber nachgiebig, vielleicht aus Gummi gemacht sein sollten, um einen plötzlichen

Ruck zu vermeiden. Zur Sicherung der Personen dienen außerdem noch Fallschirme.

Da bei einem kugelförmigen Ballon der Rauminhalt in einem stärkeren Verhältnisse wächst, als seine Umhüllung (jener wie die dritte, diese wie die zweite Potenz des Durchmessers — d.d.d und d.d); so wächst die Steigkraft, d. h. der Unterschied zwischen dem absoluten Gewichte der von dem Ballon aus dem Wege gedrängten atmosphärischen Luft und seinem eigenen Gewichte sammt Füllung in einem größeren Verhältnisse, als ihr Durchmesser, und daher nehmen große Bälle verhältnißmäßig größere Lasten mit sich in die Höhe, als kleinere.

Nimmt man einen pariser Kubikfuß atmosphärische Luft zu 2,8 Loth, das unreine Wasserstoffgas zu 0,4 Loth, einen Quadratfuß luftdicht gemachten Taffent zur Hülle zu etwa 1,5 Loth an, so hat ein Ballon

von	10	par.	Fuß	Durchm.	eine	Steigkraft	von	24 Pfunden,
=	20	=	=	=	=	=	=	255 =
=	50	=	=	=	=	=	=	4542 =
=	100	=	=	=	=	=	=	37796 =



(Fig. 116.)

Fig. 116 ist geeignet, eine Vorstellung von der ganzen Einrichtung und der Füllung eines Aerostaten zu geben. Der Ball selbst besteht

aus langen Streifen von Seidenzeug, welches zusammengenäht und sehr sorgfältig mit einer Auflösung von Kautschuk überstrichen ist, so daß die Gase nicht entweichen können. Ist er gefüllt, so hat er eine birnförmige Gestalt, deren Spitze nach unten gerichtet ist. Das Klappenventil befindet sich in dem obersten Theile, und kann durch eine Leine, welche aus dem spitzen Theile hervorkommt, geöffnet werden. Zum Schutze ist der Ball von einem dichten Netze aus dünnen Leinen umstrickt. Vor der Füllung hängt man ihn schwebend zwischen zwei Masten an einem Stricke auf. Das Füllen geschieht durch einen in dem spitzen Ende mündenden Schlauch. Hat man Kohlenwasserstoffgas oder Leuchtgas aus einer Gasanstalt, so ist das Geschäft sehr einfach; muß man sich aber selbst Wasserstoffgas entwickeln, so ist es sehr umständlich. Man braucht eine ziemliche Anzahl von Fässern, in denen es aus Eisen, Wasser und Schwefelsäure entwickelt und durch kurze Röhren behufs seiner oberflächlichen Reinigung in das Wasser in einem größeren Fasse geführt und von da erst durch einen Schlauch in den Ball geleitet wird. Damit der sich nun aufblähende Ball nicht bald in die Höhe steige, muß er durch eine Anzahl von Menschen an Leinen, die sie der Sicherheit wegen um Pfähle in der Erde geschlungen haben, gehalten werden. Schwebt er bereits frei, so hängt man die Gondel an, welche den Ballast, die Menschen u. a. aufnimmt.

Gleichgewicht fester Körper in tropfbaren.

Man kann sich innerhalb einer ruhenden Wassermenge in einem Gefäße einen Wasserkörper von irgend einer Form, z. B. der eines Eies vorstellen, und muß von diesem ruhenden Wasserkörper sagen, daß sein ganzes Gewicht, welches nach unten wirkt, aufgehoben worden ist durch den Druck des umgebenden Wassers nach oben. Statt des Wasserkörpers kann man sich irgend einen anderen Körper vorstellen, wie wenn man aus 225 Gewichtstheilen weißen Wachses und 1 Gewichtstheile fein gepulvertem Zinnober ein sorgfältiges Gemenge macht, oder wenn man in Wasser soviel Kochsalz auflöst, daß ein Ei in ihm grade untersinkt. Diese Körper haben also im Wasser ihr Gewicht vollständig verloren und werden, wenn ihre Dichtigkeit überall dieselbe ist, in jeder Lage in Ruhe oder im Gleichgewichte verharren; denn ihr Schwerpunkt ist auch der Schwerpunkt des Wasserkörpers, den sie bei ihrer jedesmaligen Lage aus dem Wege gedrängt haben: sie sind im indifferenten Gleichgewichte.

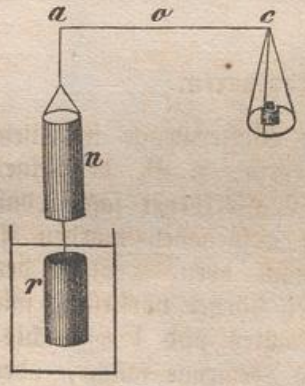
Hätte man in einer Wachskugel in der Nähe ihrer Oberfläche ein Bleikügelchen angebracht, so würde ihr Schwerpunkt nicht der Mittelpunkt sein, sondern nach dem Bleie hin liegen. Jetzt würde die Kugel nur dann im Gleichgewichte sein, wenn ihr Schwerpunkt lothrecht unter dem Schwerpunkte des Wasserkörpers läge: sie ist dann im stabilen

Gleichgewichte und muß, wenn man sie aus ihm in eine andere Lage bringt und losläßt, ebensolche Schwingungen machen, wie wenn sie in der Luft aufgehängt wäre, nur daß der Punkt, um welchen die Schwingungen geschehen, der Wasserschwerpunkt ist und somit die Kugel schwingend ihren Ort nicht verläßt, sondern sich abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten dreht.

Wenn der im Wasser untertauchende Körper ein größeres Gewicht hat, als der verdrängte Wasserkörper, so kann das Wasser ihn nicht schwebend in sich tragen, sondern er sinkt mit der Kraft seines Mehrgewichtes; ist der untergetauchte Körper leichter, als der Wasserkörper von demselben Volumen, so muß er, wenn man ihn sich selbst überläßt, mit dem Mindergewichte steigen. Wiegt z. B. der untergetauchte Körper 7 Pfunde, der ebenso große Wasserkörper 9 Pfd., so steigt er mit einer Kraft von 2 Pfunden.

Auch während des Sinkens und Steigens bleibt der Schwerpunkt des Körpers unter dem Wasserschwerpunkte.

Es läßt sich durch einen einfachen Versuch leicht bestätigen, daß ein untertauchender Körper grade soviel von seinem absoluten Gewichte verloren hat, als der Wasserkörper von demselben Rauminhalte wiegt.



(Fig. 117.)

Man hängt (Fig. 117) an die eine Seite a einer Gleichwage einen hohlen Metallzylinder n, an ihn unterhalb mittelst eines feinen Metalldrahtes einen massiven, welcher jenen grade auszufüllen im Stande ist, und bringt beide durch ein Gegengewicht e auf der anderen Seite ins Gleichgewicht. Wird nun blos der massive Zylinder r unter Wasser getaucht, so hebt sich die Seite a und man müßte von e Gewichtstheile wegnehmen, um aufs neue das Gleichgewicht herzustellen. Thut man aber letzteres nicht, sondern gießt man den Hohlzylinder grade voll mit Wasser, so ist das Gleichgewicht wieder hergestellt. Das eingegossene Wasser ersetzt also den Gewichtsverlust, welchen der massive Zylinder von demselben Volumen beim Untertauchen im Wasser erlitt, und das obige Gesetz ist bestätigt.

Will man den Gewichtsverlust des untergetauchten Körpers in Gewichtseinheiten bestimmen, so darf man nur angeben, welches Gewicht von e weggenommen werden muß, um, nachdem r völlig untergetaucht ist, das Gleichgewicht wieder herzustellen.

Der Versuch läßt sich noch in einer anderen Weise anstellen. Man setzt auf die eine Wageschale ein Glas mit Wasser, auf die andere einen Hohlzylinder mit soviel Zulagegewicht, daß das Gleichgewicht hergestellt ist; dann hält man an einem Faden einen in den Hohlzylinder genau

passenden massiven frei schwebend ins Wasser, bis er untertaucht und sieht die Wagschale sinken; aber das Gleichgewicht ist wieder hergestellt, nachdem man den Hohlzylinder mit Wasser gefüllt hat.

Daraus folgt übrigens auch, daß ein in eine Flüssigkeit völlig eingetauchter und in ihr schwebend erhaltener Körper das Gewicht der Flüssigkeit um seinen darin erlittenen Gewichtsverlust vermehrt. Auf diese Weise kann man z. B. den Gewichtsverlust, welchen ein Geschützrohr erfährt, bestimmen. Man bringt nämlich ein Gefäß mit Wasser auf einer Gleichwage ins Gleichgewicht, hält das Rohr an einem Taue schwebend ins Wasser, so ist die Gewichtszulage das Gewicht des eben sogroßen Wasserkörpers und zugleich der Gewichtsverlust, den das Rohr im Wasser erfährt.

Hielte man den Körper nicht frei, sondern ließe ihn im Wasser los, so würde er das bereits vorhandene Gewicht des Gefäßes mit Wasser um sein ganzes absolutes Gewicht vermehren. Hätte man den Körper auf dem Boden des Gefäßes im Wasser liegend mit abgewogen und dann ihn darin schwebend gehalten, so würde die jetzt eintretende Gewichtserleichterung der Unterschied seines absoluten Gewichtes und des Gewichtes des ebenso großen Wasserkörpers sein.

Zu genauen Bestimmungen des absoluten Gewichtes und des Gewichtsverlustes eines Körpers im Wasser hat man die hydrostatische Wage, welche sich von der früheren Gleichwage dadurch unterscheidet, daß die eine Schale kurz angehängt ist und unten ein Häkchen hat, um mittelst eines Drahtes oder Haares die Körper anzuhängen.

Diese Betrachtungen dienen auch dazu, das absolute Gewicht von einem Kubikzoll (Kubikfuß u. s. w.) Wasser zu bestimmen. Man nimmt nämlich einen im Wasser untersinkenden Körper von genau einem Kubikfuß Rauminhalt, wägt ihn zuerst in der Luft ab und dann im Wasser; der Unterschied dieser Gewichte oder der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser ist das absolute Gewicht des ebensogroßen Wasserkörpers. Ein rheinländischer Kubikfuß wiegt etwas über 66 Pfde. — Auf dieselbe Weise ließe sich auch das absolute Gewicht einer bestimmten Raumeinheit einer anderen Flüssigkeit finden.

Kennt man den Rauminhalt eines Gefäßes, so läßt sich das Gewicht des darin enthaltenen Wassers leicht bestimmen. In einer Tonne von 10 Kubikfuß befinden sich 10.66 Pfunde oder 660 Pfunde.

Weiß man umgekehrt das Gewicht des in einem Gefäße befindlichen Wassers, so kann man seinen Rauminhalt durch Division leicht angeben. Wiegt das Wasser z. B. 264 Pfunde, so beträgt sein Rauminhalt 4 Kubikfuße. — Dieses Verfahren dient namentlich zur Raumbestimmung unregelmäßiger Höhlräume.

Unter der Voraussetzung, daß ein Metallgemisch aus zwei Metallen ein Volumen hat, welches die Summe der Raumtheile beider dazu genommenen Metalle ist, sind die obigen Betrachtungen sogar geeignet, bei

einem vorhandenen Metallgemisch, ohne es chemisch zu zerlegen, die Mengen der einzelnen Antheile zu berechnen. Schon im Alterthume soll Archimedes auf die Aufforderung des Königs Hiero von Syrakus, ihm anzugeben, ob die angefertigte Krone aus reinem Golde bestehe, die Aufgabe gelöst und den Betrug entdeckt haben. — Auch in Rücksicht auf die Gesundheit ist es wichtig zu wissen, ob ein Gefäß aus reinem Zinn oder aus einer Bleilegirung besteht.

Um die Aufgabe zu lösen, muß man wissen, wie viel ein beliebiger Gewichtsantheil eines jeden der beiden Metalle in seinem reinen Zustande im Wasser an Gewicht verliert und welches der Gewichtsverlust eines beliebigen Gewichtes der Mischung ist.

Für diejenigen Leser, welche die Rechnung auszuführen vermögen, will ich noch wenigstens die nöthigen allgemeinen Angaben machen. Wenn a Pfund des ersten Metalles im Wasser m Pfunde, b Pfunde des zweiten Metalles n Pfunde und c Pfunde eines Gemisches aus beiden o Pfunde verlieren; so ist:

1) die Summe der Gewichte beider Antheile (x und y) in der Luft gleich c, oder $x + y = c$ und
2) die Summe der Gewichtsverluste beider Antheile gleich o, oder $\frac{m \cdot x}{a} + \frac{n \cdot y}{b} = o$, wobei $\frac{m \cdot x}{a}$ der Verlust der x Theile des ersten und $\frac{n \cdot y}{b}$ der Verlust der y Theile des zweiten Metalles ist. Aus diesen beiden Ausdrücken lassen sich x und y berechnen.

Bei allen diesen Versuchen muß man dafür sorgen, daß an dem untergetauchten Körper Luftbläschen nicht hängen bleiben, weil sie dazu beitragen würden, das Gewicht der Körper im Wasser mehr zu vermindern, als es ohne sie geschehen würde. Ferner ist darauf zu sehen, daß der zum Anbinden der Körper verwendete Draht stets nur bis zu der Tiefe eintauche, bei welcher das Gleichgewicht der Wage vorhanden war. Deshalb legt man bei der hydrostatischen Wage nach dem Eintauchen des Körpers die Gewichte nach und nach auf die kürzer angehängte Wagschale.

Ist ein Körper leichter als das Wasser, so zwingt man ihn durch einen mit ihm verbundenen schwereren unterzutauchen. Man kann ihn zu diesem Zwecke zwischen einer Metallklemme, die allenfalls noch beschwert werden kann, befestigen. Es ist natürlich, daß man den Gewichtsverlust dieses letzteren Körpers besonders bestimmen und ihn von dem Gewichtsverluste der beiden verbundenen abziehen muß, um den des ersten allein zu bekommen.

Nimmt ein Körper Wasser in sein Inneres auf, so ist die Bestimmung des Gewichtsverlustes seiner undurchdringlichen Masse etwas

umständlicher. Man wägt nämlich zuerst den ganz trockenen Körper in der Luft ab, läßt ihn dann im Wasser sich voll saugen, nimmt ihn heraus und wägt ihn wieder ab, wodurch man als Gewichtsunterschied das Gewicht des angesaugten Wassers bekommt. Dann wird der Gewichtsverlust des angesaugten Körpers im Wasser bestimmt und von ihm das Gewicht des angesaugten Wassers abgezogen.

Pulverisirte Körper, welche sich im Wasser nicht auflösen, thut man in ein Schälchen, dessen Gewichtsverlust von dem des Ganzen abgezogen werden muß.

Wie das Verfahren ist, wenn ein Körper im Wasser sich auflöst, wird später bald angegeben werden.

Weil alle Körper im Wasser leichter sind, als in der Luft, lassen sie sich in jenem auch leichter fortschaffen, als in diesem. Man ist also z. B. noch recht gut im Stande einen Stein unter dem Wasser fortzuwälzen, aber sowie man mit ihm in die Luft kommt, ist er uns zu schwer. — Wenn Fischer die Netze, in denen Fische gefangen sind, im Wasser fortziehen, so fällt es ihnen wohl noch ziemlich leicht; kommen sie mit den Fischen im Netze über das Wasser, so können sie dieselben oft gar nicht erheben. — Ebenso ist es, wenn ein Mensch oder ein abgerichteter Hund einen Ertrunkenen retten will. Letzterem würde das Retten Erwachsener gar nicht möglich sein; wenn das Wasser nicht meist ihr ganzes Gewicht trüge. — Selbst ein sanfter Wind treibt schwere Schiffe mit Leichtigkeit fort und wenige Menschen sind schon im Stande, ein großes Schiff selbst stromaufwärts zu ziehen.

Das passive Schwimmen.

Wenn das absolute Gewicht eines Körpers kleiner ist, als das des Wassers von gleichem Volumen, so steigt er in ihm mit um so größerer Kraft, je größer dieser Unterschied ist und kommt endlich an seiner Oberfläche dann ins stabile Gleichgewicht, wenn

1) das von ihm noch verdrängte Wasser ebensoviel wiegt, als er selbst;
2) wenn sein Schwerpunkt lothrecht und unter dem Schwerpunkte des verdrängten Wasserkörpers liegt.

Wir pflegen dann zu sagen: der Körper *schwimmt passiv*. Er wird dabei um so weniger tief eintauchen, je leichter er bei einem bestimmten Volumen, je größer er bei einem bestimmten Gewichte und je dichter die Flüssigkeit für einen bestimmten Körper ist.

Denken wir uns eine leichte Holzkugel von überall gleichmäßiger Dichte, so ist ihr Mittelpunkt ihr Schwerpunkt, und derselbe wird, wenn sie aufs Wasser gelegt wird, über dem Wasserschwerpunkte liegen; aber weil der Schwerpunkt der Kugel auch bei veränderter Lage derselben stets lothrecht über dem Schwerpunkte des Wassers bleibt, wird das

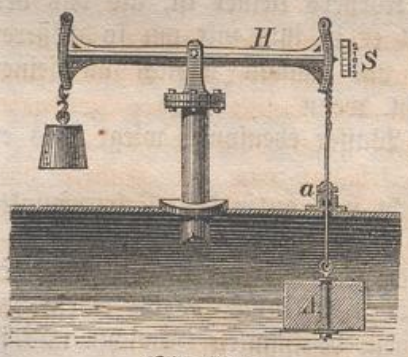
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

labile Gleichgewicht fortwährend erhalten. — Anders ist es, wenn der Schwerpunkt der Kugel außerhalb ihres Mittelpunktes liegt; sie ist nämlich nur dann in Ruhe, wenn der Schwerpunkt die tiefste Stelle unter ihm einnimmt. Da bei Geschossen die Sicherheit des Treffens von der Lage des Schwerpunktes abhängt, so sucht man ihn dadurch, daß man die Kugel auf Quecksilber legt. Vollkugeln sind nur brauchbar, wenn der Mittelpunkt auch Schwerpunkt ist; für Hohlkugeln ist eine seitliche Lage desselben nothwendig.

Aehnlich ist es, wenn ein Brett auf die hohe Kante frei ins Wasser gestellt wird. Die allergeringste Bewegung des Wassers oder des Brettes reicht hin, daß es auf die flache Seite umschlägt, wodurch sein Schwerpunkt tiefer zu liegen kommt.

Jeder Körper sucht wie in der Luft so auch in jeder tropfbaren Flüssigkeit in eine möglichst stabile Lage mit möglichst tief liegendem Schwerpunkte zu gelangen. Ein lothrecht ins Wasser gestellter, überall gleichmäßig dichter Stab fällt also bald um und legt sich mit seiner Axe horizontal. Wäre aber die eine Hälfte schwerer, als die andere, so würde er sich lothrecht stellen, wenn dabei sein Schwerpunkt unter dem Schwerpunkte des verdrängten Wassers läge. Die Fischer benutzen mit einer Fahne versehene Stäbe, von denen das eine Ende beschwert ist, um die Stellen, an welchen sie Netze oder Reise ausgelegt haben, zu bezeichnen.

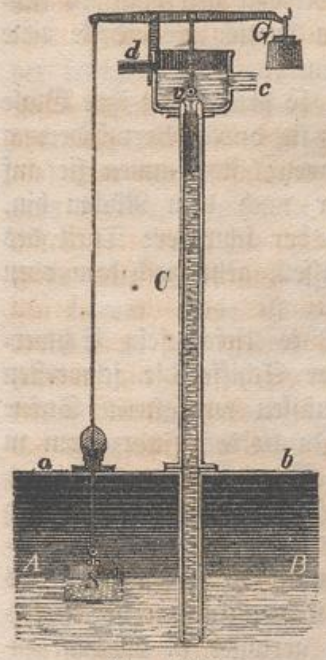
Man macht von dem passiven Schwimmen eines Körpers bei den Dampfmaschinen einen doppelten wichtigen Gebrauch; man bestimmt nämlich dadurch theils die Höhe des in einem Dampfkessel vorhandenen Wasserstandes, theils versorgt man den Kessel rechtzeitig ohne unser Zuthun mit dem nöthigen Wasservorrathe.



(Fig. 118.)

Für den ersten Zweck dient die im Fig. 118 angegebene Einrichtung, der Schwimmer. Auf der Außenfläche des Kessels ist oben ein Ständer angebracht, welcher eine Gleichwage trägt, an deren Enden lothrechte Kreisbogen sich befinden, deren Mittelpunkt der Drehungspunkt ist. An dem einen Arme H, welcher in eine Spitze auslauft, hängt an einem Kettchen ein Kupferdraht, welcher dampfdicht, doch leicht beweglich, durch eine Stopfbüchse a geht und einen auf dem Wasser schwimmenden Stein A trägt. Damit der Stein nur bis zu einer gewissen Tiefe untersinke, wird er durch ein Gegengewicht am andern Arme im Gleichgewicht gehalten. Um die genau horizontale Lage von H zu beobachten, ist ihm gegenüber ein getheilter Kreisbogen S mit einem Nullpunkte. Sinkt

das Wasser, so sinkt auch der Stein, und weil er an dem Kreisbogen hängt, so bleibt die wirkende Kraft doch in derselben Entfernung vom Drehungspunkte, und er wird in gleicher Tiefe schwimmend im Gleichgewichte erhalten. Aus dem Stande der Spitze gegen den Kreisbogen S beurtheilt man den Wasserstand im Kessel.



(Fig. 119.)

Hat der Dampf in Kesseln keine große Spannung, wie bei den Niederdruckmaschinen, so läßt sich mit dem Schwimmer eine Speiseröhre verbinden, wodurch der Wasserstand im Kessel ohne weiteres Zuthun stets in gleicher Höhe erhalten, also eine selbstthätige Speisevorrichtung erzielt wird (Fig. 119). Durch die obere Decke ab eines Dampfkessels geht bis in die Nähe des Bodens ein ziemlich weites (bis 1 Fuß) und 10 bis 12 Fuß langes Rohr C, welches durch ein nach oben sich öffnendes Ventil v mit einem etwas weiteren Wasserbehälter in Verbindung steht. Dieser Behälter wird durch ein Zuflußrohr c hinreichend mit Wasser gespeist und hat noch ein Abflußrohr d. Die Decke des Behälters trägt bei d einen Ständer mit einem ungleicharmigen Hebel; an dem kürzeren Arme befindet sich eine Metallstange, welche durch eine an der Decke des Kessels befindliche Stopfbüchse geht und den auf dem Niveau AB schwimmenden Stein S trägt; an dem kürzern Arme ist außer dem Gegengewichte noch die Stange für das Ventil v angebracht.

Sinkt das Wasser im Kessel und somit auch der Stein, so geht das Ventil v in die Höhe und es erfolgt vonselbst der Wasserzufluß so lange, bis durch den gehobenen Stein das Ventil wieder herabgeht und den Zufluß bei der erlangten richtigen Wasserhöhe abschneidet.

Die Höhe der Wassersäule in C hängt von der Stärke des Dampfdruckes auf das Niveau AB ab. Hat der Dampf die Spannung oder den Druck von 1 Atmosphäre, so steht das Wasser im Rohre und im Kessel in gleicher Höhe; hat er eine Spannung von 1¼ Atmosphäre, so steht es im Rohre 8 Fuß (¼ von 32 Fuß, wenn dieses grade die von der Atmosphäre getragene Wassersäule ist) höher.

Man kann auf dem Wasser der Röhre noch einen Schwimmer an einer Kette anbringen, welcher durch sein Steigen oder Sinken bei zu großem oder zu geringem Dampfdrucke den Luftzuzug in den Ofen beziehungsweise vermindert oder vermehrt.

Das schwimmende Licht ist eine Lampe, deren Schwerpunkt wie bei der Rolllampe des Kardanus, ungeachtet der durch das Wasser

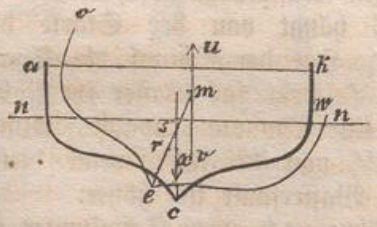
hervorgebrachten Schwankungen, stets unterhalb des Wasserschwerpunktes erhalten wird. Weil die Fische in der Nacht dem Lichte sehr nachgehen, könnten dergleichen Lampen beim Fischfange mehr, als es gewöhnlich geschieht, angewendet werden.

Daß die oft sehr schwerfälligen Wasservögel, wie z. B. die Schwäne, mit ihrem Körper ziemlich bedeutend über das Niveau des Wassers hervorragen, liegt darin, daß in ihrer selbst schon leichten Federdecke viele eingeschlossene und fest anhaftende Luft enthalten ist.

Wollen die Fische tiefer ins Wasser herab, so drücken sie ihre Blase zusammen; wollen sie höher hinauf, so lassen sie durch Verminderung des Druckes die Luft in der Blase sich ausdehnen; schwimmen sie auf dem Bauche, so befindet die Blase sich mehr nach dem Rücken hin, wenn sie aber schlafen, so ist der Rücken als der schwerere Theil des Körpers unten, und die Blase, sich selbst überlassen, geht nach dem oben befindlichen Bauche.

Da ein Körper um so stabiler schwimmt, je tiefer sein Schwerpunkt liegt, so bringt man beim Beladen der Schiffe die schwersten Gegenstände nach unten und leere Schiffe müssen wenigstens Steine oder besser Sand als Ballast einnehmen. — In kleinen Fahrzeugen zu nur einigen Personen, mit denen man auf das Meer fahren will, wendet man eiserne Schienen an, weil sie bei großem Gewichte nur wenig Raum einnehmen und in dem untersten Schiffsraume sich leicht anbringen lassen. — Bei drohenden Gefahren muß man sich selbst soviel als möglich nach unten begeben, um dadurch die Schwankungen des Fahrzeuges und die Möglichkeit Wasser zu schöpfen geringer zu machen. — Fischer, welche oft in so kleinen Fahrzeugen ihr Geschäft betreiben, daß sie für wenig mehr, als ihre Person Raum haben, legen sich meist fast ganz hin.

In Betreff der Stabilität eines schwimmenden Körpers oder des Widerstandes, welchen er einer Aenderung seiner Lage entgegensetzt, ist noch Einiges zu bemerken.



(Fig. 120.)

Es sei nn (Fig. 120) das Niveau des Wassers, ack bedeute den auf ihm lothrecht stehenden und so gelegten Querschnitt eines darauf schwimmenden Körpers, daß die beiden durch ihn entstandenen Theile gleiche Massen haben. Unter dieser Annahme wird sowohl der Schwerpunkt s dieses Körpers, als auch der Schwerpunkt x des verdrängten Wasserkörpers im Ruhezustande in dieser Ebene liegen und die Schwerpunktslinie xs steht auf dem Niveau nn lothrecht; wird aber der Körper in eine andere Lage gebracht, so daß oew sein Querschnitt ist, der übrigens mit dem vorigen in derselben Ebene liegen soll, so behält

zwar der Schwerpunkt s des Körpers seine Lage, aber der Schwerpunkt des neuen Wasserkörpers verändert dieselbe. Ist er von x nach v gekommen, während der frühere in r wäre, so strebt der Wasserkörper den auf ihn schwimmenden in der Richtung der von v an Lothrechten vu zu heben, das Gewicht des letzteren aber treibt ihn von s aus in der Richtung des sc abwärts.

Nun kann der Durchschnittspunkt m, oder das Metazentrum der früheren Schwerpunktslinie rs mit der Lothrechten vu durch den neuen Wasserschwerpunkt eine dreifache Lage haben: 1) oberhalb des Schwerpunktes s vom Körper, 2) unter ihm, 3) in ihm liegen.

Im ersten Falle bringen die beiden Kräfte eine Drehung des Körpers hervor, welche in Schwingungen übergeht, bis endlich s lothrecht unter m liegt und stabiles Gleichgewicht eingetreten ist; im zweiten Falle tritt zwar auch eine Drehung ein bis s lothrecht unter m zu liegen kommt, diese ist aber mit einem völligen Umschlagen des Körpers verbunden; im dritten Falle endlich ist indifferentes Gleichgewicht vorhanden. — Je weiter das Metazentrum von s entfernt ist, desto eher treten die angegebenen Zustände ein.

Befinde ich mich auf einem Schiffe oberhalb des Schwerpunktes desselben, so kann die eigene Schwerlinie mit der des Schiffes in eine grade Linie fallen oder mit ihr einen Winkel bilden. Im ersten Falle werde ich am stärksten nach dem Mittelpunkte der Erde angezogen, weil die beiden auf mich anziehend wirkenden Kräfte, von denen die eine ihren Sitz in dem Mittelpunkte der Erde, die andere im Schwerpunkte des Schiffes hat, in derselben graden Richtung mit einander wirken. Fällt aber beim Schwanken des Schiffes die Schwerlinie desselben außerhalb meiner eigenen, oder liegen die Schwerpunkte der drei Körper, nämlich der Erde, des Schiffes und der von mir nicht in einer graden Richtung; so tritt die ebenso überraschende als nothwendige Erscheinung ein, daß ich mich mit meinem Körper mehr an das Schiff gefesselt oder von ihm angezogen fühle, wenn sich der Schwerpunkt des Schiffes meiner Schwerlinie nähert, als wenn er sich von entfernt.

Ich habe diese physikalisch nothwendige Thatsache an meinem durch lange Seekrankheit geschwächten Körper sehr oft und unzweifelhaft empfunden und bin verwundert, daß man dieselbe, so viel ich weiß, bis jetzt noch nirgends erwähnt findet. Höchst auffallend war die Empfindung, wenn ich bei sehr starken Schwankungen des Schiffes auf einer ziemlich steilen Treppe aufs Verdeck stieg: es waren mir in solchen Momenten die Füße wie mit Blei beschwert und wurden auffallend nach unten förmlich gezogen, während bei der entgegengesetzten Schwankung, nämlich wenn sich der Schwerpunkt des Schiffes von meiner Schwerlinie entfernte, sofort eine Erleichterung eintrat, weil dann die beiden auf mich anziehend einwirkenden Kräfte unter einem Winkel auf mich wirkten, so daß die Resultirende kleiner werden mußte. Es versteht sich

von selbst, daß dieses Fühlen der veränderten Schwere nur auf sehr großen und stark belasteten Schiffen und auch nur während sehr bedeutender Schwankungen, namentlich nach der Längenausdehnung des Schiffes, eintritt und von sehr kräftigen Menschen weniger leicht wahrgenommen wird, als von schwachen und abgeschwächten.

Aus den obigen Betrachtungen ergeben sich manche Regeln für das Bauen der Schiffe. Die Kielschiffe haben Vorzüge gegen andere, weil ihr Gleichgewicht ein festeres ist.

Jeder passiv schwimmende Körper vermag bis zum Untersinken unter das Niveau grade nur die Last zu tragen, welche seiner Steigkraft gleich ist, und sein absolutes Tragvermögen heißt; soll er aber nur bis zu einer gewissen Tiefe einsinken, wie Schiffe, so heißt die dazu nöthige Belastung das relative Tragvermögen.

Das Verfahren, das relative Tragvermögen eines Schiffes zu bestimmen, nennt man das Aichen des Schiffes. Es kommt hier zunächst auf die Bestimmung der Größe des Schiffsraumes an, welcher sich zwischen den Ebenen des tiefsten und des höchsten Wasserstandes am Borde befindet. Zur Messung der Entfernung der verschiedenen Wasserstände ist äußerlich am Schiffe ein Maßstab angebracht. Da die innere Weite auch desselben Schiffes nicht durchweg dieselbe ist, so werden Raumtheile, welche auch gleich hoch sind, nicht gleich groß sein. Man hat verschiedene praktische Mittel, um schnell zum Ziele zu kommen und bei einem bestimmten Schiffe oder verschiedenen Schiffen derselben Bauart ganz einfache Tabellen.

Weiß man nun, um wie viel das Schiff bei Vermehrung der Belastung noch sinken darf, so kennt man die Menge der Kubikfuße des Schiffes mit seinem inneren dazu gehörigen Raume. Wie viel nun das Wasser von demselben Rauminhalte wiegt, soviel Last kann dem Gewichte nach noch in das Schiff kommen.

Betrüge der geaichte Schiffsraum 12000 Kubikfuß, und wäre 1 Kubikfuß Flußwasser 66 Pfunde schwer, so könnte die Belastung 12000 . 66 Pfunde oder 792000 Pfunde sein, und da 1 Schiffslast 2000 Pfunde beträgt, so wäre es ein Schiff von 396 Tonnen.

Da das Meerwasser wegen seines Salzgehaltes schwerer ist, als das Flußwasser, so sinkt ein Schiff bei bestimmter Belastung in jenem weniger tief ein, als in diesem.

Wenn die enormen und oft sehr tief in das Meer hinabreichenden und unregelmäßig gestalteten Eisblöcke des Polarmeeres südlicher treiben, so schmelzen sie an der Meeresoberfläche, obenauf aber lagern sich häufig auch Schneemassen. Dadurch kann es vorkommen, daß das Metazentrum unter ihren Schwerpunkt kommt, und dann schlagen sie nicht nur mit furchtbarer Gewalt um, sondern machen so bedeutend schwingende Bewegungen, daß sie benachbarten Schiffen gefährlich werden.

In der ganzen norddeutschen Niederung und noch tiefer ins flache

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Land hinein liegen meist zerstreut kleinere oder größere Felsenblöcke, theils an der Oberfläche, theils unter aufgeschwemmten Erdschichten, deren genaue Untersuchung nachgewiesen hat, daß ihre eigentlichen Lagerstätten in Skandinavien gewesen sind. Diese Wanderblöcke oder erratischen Blöcke sind in früheren Bildungsepochen der Erde auf ungeheuren Eisschollen von Norden hergetrieben worden über die noch mit Wasser bedeckten Länder, bis sie durch das Schmelzen oder Stranden der Eisschollen herabfielen. Die Stelle, an welcher Gustav Adolf auf dem Schlachtfelde von Lützen fiel, ist durch einen solchen „Schwedenstein" bezeichnet. — Auch unterhalb der Gletscher gibt es solche von diesen fortgetragene Steinmassen, die s. g. Moränenblöcke, welche auf die früher größere Ausdehnung der Gletscher schließen lassen.

Hat man einen Glaszylinder, welcher in Kubikzolle u. s. w. eingetheilt ist, so kann man durch ihn sehr leicht das Volumen des untertauchenden Theiles eines schwimmenden Körpers finden; denn die Flüssigkeit steigt um das betreffende Volumen. Kennt man das Gewicht der Raumeinheiten von der angewendeten Flüssigkeit, so hat man durch das Gewicht des beim Schwimmen des Körpers verdrängten, also gehobenen Theiles zugleich sein Gewicht. Der letztere Zweck wird auch erreicht, wenn man die verdrängte Flüssigkeit ablaufen läßt und abwägt.

Einen Körper, welcher für sich im Wasser untersänke, kann man auf doppelte Weise zu schwimmen zwingen: 1) daß man ihn mit leichteren Körpern verbindet, 2) daß man ihn aushöhlt und dabei das Eindringen des Wassers verhütet.

Rettungsboote versieht man ringsum an der Oberfläche mit einer starken Lage von Korkholz oder mit luftdichten Schläuchen, und größere Schiffe richtet man so ein, daß sie mehre einzeln abzusperrende luft- und wasserdichte Räume enthalten, so daß das Wasser, welches bei theilweiser Verletzung des Schiffes in den einen Raum dringt, von dem anderen abgehalten und das Schiff so vor dem Sinken bewahrt wird. — Will man versunkene Gegenstände, ja ganze Schiffe wieder heraufbringen, so befestigt man Tonnen oder Schläuche an sie und erfüllt diese mit Luft, die man entweder von oben durch Schläuche hineinpumpt oder auch auf chemische Weise in ihnen entwickelt.

Um große Schiffe einer Ausbesserung zu unterwerfen, oder sie über Untiefen zu schaffen, wendet man schon seit 1688 die Kameele an, d. h. man befestigt das Schiff zwischen zwei platten mit Wasser gefüllten Fahrzeugen und pumpt aus diesen das Wasser aus. — Außerdem geschieht die Ausbesserung der Schiffe in trockenen oder nassen Docks, von denen das Wasser durch Schleußen abgehalten, und zu denen es gelassen werden kann. Es versteht sich von selbst, daß man hierbei Ebbe und Fluth benutzt und auch Dampfmaschinen anwendet, um störendes Wasser zu entfernen.

Ertrunkene kommen erst nach einigen Tagen an die Oberfläche und

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

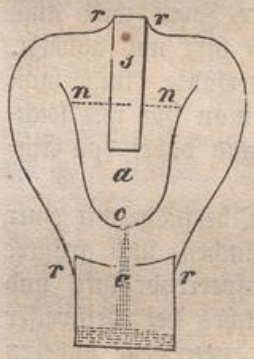
zwar je wärmer das Wasser ist, um so eher, weil erst bei der Zersetzung des Körpers sich in ihm Gasarten entwickeln.

Wenn man sich 6 bis 8 Pfunde Korkholz an der Brust anbringt, so erhält sich der ganze Oberkörper über dem Wasser. Auf den Seeschiffen hat man sehr verschiedenartige Vorrichtungen, um sich schwimmend zu erhalten: Schwimmgürtel, Harnische oder Jacken, ja sogar die Sessel sah ich auf dem Erisee als Rettungsapparate eingerichtet.

Sollen Glas, Metalle u. a. schwere Körper schwimmen, so muß ihnen eine so große Aushöhlung gegeben werden, daß sie, auch mit der in ihnen etwa abgesperrten Luft leichter sind, als ein Wasserkörper von dem Volumen, welches durch die äußere Begränzung der Körper bis zum Niveau angegeben wird.

Die Signaltonnen auf dem Meere und schiffbaren Flüssen, welche die Untiefen oder Klippen anzeigen, sind vollständig wasserdicht abgesperrt und werden durch Anker an den betreffenden Stellen festgehalten.

Der Wasserregulator.



(Fig. 121.)

Will man die Flüssigkeit in einem Gefäße a (Fig. 121), aus welchem ein Abfluß bei o stattfindet, in demselben Niveau nn erhalten, ohne daß ein Zufluß vorhanden ist, so kann man dies leicht auf folgende Weise erreichen. Man bringt auf der Flüssigkeit im Gefäße a ein Hohlgefäß s so zum schwimmen, daß es nur wenig eintaucht und hängt an dasselbe mittelst zweier Drähte rr unterhalb der Oeffnung o ein leeres Gefäß c, welches oben becken- oder trichterförmig gestaltet ist, um das abfließende Wasser aufzunehmen.

Die Tiefe, bis zu welcher das Gefäß s einsinkt, hängt von seinem absoluten Gewichte ab, wozu aber das der Drähte und des angehängten Gefäßes gehört. In demselben Maße, in welchem dieses zunimmt, sinkt s auch tiefer ein. Fließt Wasser nach c, so nimmt es allerdings wohl um das Gewicht desselben zu, und s sinkt um soviel dem Raume nach ein, daß das Gewicht des verdrängten Wassers gleich ist dem Gewichte des nach c gelangten. Da aber letzteres aus a gekommen ist, so kann s nur so tief sinken, daß dadurch das Niveau nn nicht geändert wird.

Diese Vorrichtung nennt man auch den Schwimmer von Prony.

Vom spezifischen Gewichte.

Das äußere Aussehen der Körper ist sehr oft durchaus nicht hinreichend, uns die Güte, also auch den Werth derselben erkennen zu

lassen. Man pflegt wohl zu sagen: es ist nicht Alles Gold, was glänzt, und in der That muß man nicht blos bei dem Golde, sondern auch bei sehr vielen anderen Gegenständen, z. B. Edelsteinen, tiefer gehende Kennzeichen für ihren wahren Werth aufsuchen. Manche sind um so werthvoller und brauchbarer, je schwerer sie bei einem gewissen Rauminhalte sind (Salzsoolen, Säuren), andere, wie z. B. Alkohol, erlangen durch eine größere Leichtigkeit einen größeren Werth.

Es ist die Thatsache wichtig, daß die Elementarstoffe in ihrer absoluten Reinheit bei bestimmtem Volumen auch ein bestimmtes absolutes Gewicht haben; ebenso daß die Verbindung zweier oder mehrer Stoffe, sie mögen nun chemisch oder äußerlich mit einander verbunden sein, bei bestimmtem Volumen auch ein bestimmtes Gewicht haben, wenn das Verhältniß der Antheile ein ganz bestimmtes ist.

Da das Gewicht eines Körpers die Menge seiner gleichen Massentheile in einem bestimmten Raume angibt und von ihr die Dichte des Körpers abhängt; so können wir auch sagen, daß die Güte und der Werth der Körper von ihrer Dichte abhängt.

In dieser Beziehung könnten wir zwar die Dichte irgend eines Körpers mit der irgend eines oder jedes beliebigen anderen vergleichen; man würde aber nicht zu so klarer Einsicht über das Verhältniß der Dichte aller Körper gelangen, als wenn man die Dichte eines bestimmten Körpers als Einheit für die Vergleichung zu Grunde legt.

Man hat das absolute Gewicht des reinen Wassers, als des gangbarsten Körpers, bei seiner größten Dichtigkeit, d. i. wenn es eine Temperatur von fast 4 Graden nach dem Thermometer von Celsius oder 3,2 Gr. nach Reaumur besitzt, als Einheit für die festen und tropfbaren Körper und das absolute Gewicht der trockenen atmosphärischen Luft bei 0 Gr. für alle luftigen Körper genommen. Die Zahlen, welche dann anzeigen wievielmal schwerer oder leichter irgend ein anderer Körper, als der Wasserkörper bei demselben Rauminhalt ist, heißt das spezifische Gewicht dieses Körpers. Manche legen das Gewicht des Wassers bei 9° C., wobei es fast genau die Dichte wie bei 0° hat, zum Grunde, weil diese Temperatur in den verschiedenen Jahreszeiten eher zu erlangen ist.

Das spezifische Gewicht ist also nicht allgemein das Verhältniß der absoluten Gewichte zweier ganz beliebigen Körper, sondern der eine ist ein für allemal das Wasser bei seiner größten Dichtigkeit. Wenn man unter 225 Gewichtstheile weißen Wachses 1 Gewichtstheil fein pulverisirten Zinnober gleichmäßig vertheilt, so hat die Masse das spezifische Gewicht des Wassers.

Um das spezifische Gewicht eines Körpers zu finden, muß man: 1) sein absolutes Gewicht, 2) das Gewicht eines ebenso großen Wasserkörpers aufsuchen und dann berechnen, wie oft letzteres in ersterem enthalten ist.

Das Gewicht des ebensogroßen Wasserkörpers ist gleich dem Gewichtsverluste, welchen der betreffende Körper im Wasser erleidet. Hätte eine Münze aus Platina in der Luft das Gewicht von 110 Gewichtseinheiten, im Wasser aber nur das von 105, so hätte sie im Wasser 5 verloren und dies würde auch das Gewicht des ebensogroßen Wasserkörpers sein; also würde das spezifische Gewicht des Platinas $\frac{110}{5} = 22$ sein. — Oder wenn ein Stückchen Bernstein in der Luft das Gewicht 2,156, in Wasser nur 0,156, also 2 verloren hätte; so wäre sein spezifisches Gewicht $\frac{2{,}156}{2} = 1{,}078$.

Da das Wasser bei verschiedenen Temperaturen eine verschiedene Dichte oder ein verschiedenes spezifisches Gewicht besitzt, so ist es für sehr genaue Versuche nothwendig, diese Veränderungen zu kennen. Man nimmt einen sehr genau angefertigten Zylinder von Metall, dessen Rauminhalt sich leicht berechnen läßt, und untersucht seinen Gewichtsverlust im Wasser bei verschiedenen Temperaturen. Die folgende Tabelle gibt seine spezifischen Gewichte bei den daneben stehenden Temperaturen an, wenn das Gewicht bei 4 Grad nach dem Thermometer von Celsius gleich 1 gesetzt wird.

0	0,9998918	4	1,0000000	8	0,9999044	12	0,9996117
1	0,9999536	5	0,9999950	9	0,9998497	13	0,9995080
2	0,9999717	6	0,9999772	10	0,9997825	14	0,9993922
3	0,9999920	7	0,9999472	11	0,9997030	15	0,9992647

Hieraus ergibt sich, daß Wasser von 9 Grad fast das spezifische Gewicht mit dem von 0 Grad hat. Der Umstand, daß es nicht bei 0, sondern erst bei 4 Grad seine größte Dichtigkeit besitzt, ist, wie wir später genauer werden kennen lernen, für die Oekonomie der ganzen irdischen Natur von der allergrößten Wichtigkeit.

Hätte man das spezifische Gewicht s eines Körpers mit Benutzung von Wasser bei 12 Grad Wärme gefunden, so würde es zu groß sein im Vergleiche zu dem bei 4 Graden gefundenen, weil das Gewicht des Wasserkörpers zu klein wäre und man müßte, um letzteres zu bekommen, s mit 0,999617 multipliziren, wenn die veränderte Ausdehnung des Körpers in dem Wasser von diesen verschiedenen Temperaturen unberücksichtigt bleiben könnte, was bei einem schnell durchgeführten Verfahren wohl geschehen kann. Wäre aber das Volumen des Körpers bei 12° durch 15, bei 4° nur durch 14 ausgedrückt, so müßte man das für 12 Grad berechnete spezifische Gewicht des Körpers noch mit $^{15}/_{14}$ multipliziren, um das bei 4 Graden zu erhalten, was natürlich eine größere Zahl gibt. Diese Verwandlung würde streng genommen für alle Körper nothwendig sein.

Daß man durch einen sehr genau angefertigten Metallzylinder auch das absolute Gewicht einer gewissen Raumeinheit Wasser von verschiedenen Temperaturen bestimmen kann, versteht sich wohl von selbst.

Ist das Gewicht eines Kubikzentimeters Wasser bei 4° C. ein Gramm, so zeigt folgende Tabelle das Gewicht bei den Temperaturen von 0° bis 15°.

0	0,9998918	5	0,9999950	10	0,9997825
1	0,9999536	6	0,9999772	11	0,9997030
2	0,9999717	7	0,9999472	12	0,9996117
3	0,9999920	8	0,9999044	13	0,9995080
4	1,0000000	9	0,9998497	14	0,9993922

Auch daraus ergibt sich, daß das Wasser bei 9° C. fast eben so dicht ist, wie bei 0°.

Wir wollen nun verschiedene Methoden zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes fester, tropfbarer und luftiger Körper angeben.

Für feste Körper.

Nachdem man mittelst einer genauen Gleichwage das absolute Gewicht des Körpers bestimmt hat, sucht man seinen Gewichtsverlust im Wasser von 4° C. und dividirt letzteren, welches bekanntlich das Gewicht des ebenso großen Wasserkörpers ist, in ersteres; der Quotient ist das gesuchte spezifische Gewicht. Es ist hierbei gleichgiltig, ob der Körper von selbst untersinkt oder unterzutauchen gezwungen wird.

Wenn Körper vom Wasser nicht benetzt werden dürfen, so kann man aus ihnen Zylinder formen und sie in Hohlzylindern eines anderen Stoffes, in welche sie genau passen, abwägen. Von dem Gewichtsverluste beider Körper muß dann der des Hohlzylinders abgezogen werden, um das Gewicht des Wasserkörpers von derselben Größe zu bekommen.

Das spezifische Gewicht kleiner Körper kann man auch auf andere Weise bestimmen. Man nimmt ein Fläschchen, dessen Rand gut abgeschliffen ist, um es durch eine ebenso geschliffene Glasplatte zu bedecken, und so einen genau begränzten Rauminhalt zu erhalten. Diesen Raum erfüllt man mit Wasser und bringt so das Fläschchen auf einer Wage ins Gleichgewicht; dann legt man neben dasselbe den Körper und bekommt somit durch das Zulagegewicht sein absolutes Gewicht; dann thut man den Körper in das Fläschchen, wodurch Wasser verdrängt wird, welches man durch sorgfältiges Abtrocknen beseitigt, nachdem man durch die Glasplatte wieder denselben Raum gebildet hat; die nun zur Herstellung des Gleichgewichtes nothwendige Gewichtserleichterung ist das Gewicht des verdrängten Wasserkörpers von gleichem Volumen mit dem des gegebenen Körpers.

Das Fläschchen mit dem Wasser wiege 2000 Gran, mit einem dazu gelegten Diamanten 2300 Gran, also das absolute Gewicht des letzteren 300; nachdem dieser in das Fläschchen gelegt und alles über-

geflossene Wasser beseitigt worden, wiege Alles nur noch 2214,3 Gran, also ist das Gewicht des verdrängten Wassers 85,7 und das spezifische Gewicht des Diamanten $\frac{300}{85,7}$ oder 3,5.



(Fig. 122.)

Man kann sich zu diesem Zwecke auch der von Nicholson angegebenen Senkwage bedienen. Sie besteht aus einem ziemlich zylinderförmigen hohlen Metall- oder Glaskörper c (Fig. 122), welcher oben mittelst eines feinen Drahtes, woran ein Merkzeichen r ist, einen kleinen Teller u und unten ein Eimerchen e etwa von Drahtgeflecht trägt. Damit das Ganze im Wasser leicht in das stabile Gleichgewicht komme, ist das Eimerchen unten hinreichend, aber nur so stark beschwert, daß von c noch etwas hervorragt.

Um zuerst das absolute Gewicht des Körpers k zu erhalten, legt man ihn auf die Schale u und soviel Zulagewicht n, bis das Instrument bis zur Richte r einsinkt; dann nimmt man k weg und legt statt seiner so viel Gewicht a hinzu, bis das Instrument wieder ebenso tief einsinkt und dann ist a das absolute Gewicht des Körpers, weil in beiden Fällen das Gewicht des verdrängten Wasserkörpers dasselbe ist. Wenn nun der Körper in den Eimer gelegt und, falls er leichter als Wasser ist, darin festgemacht wird, so wird man oben nicht mehr a sondern weniger auflegen müssen, um das Instrument zum Einsinken bis wieder an die Richte zu bringen und, wenn man nun w weniger hineinlegt, so trägt dieses w das Wasser oder ist das Gewicht des Wasserkörpers von dem Volumen des k. So hat man wieder die beiden Zahlen, durch deren Division das spezifische Gewicht erhalten wird. — Daß man auch hier auf Beseitigung aller Luftblasen sehen muß, versteht sich wohl von selbst.

Für tropfbare Körper.

Man gelangt auf recht einfache Weise zum Ziele, wenn man ein Glasfläschchen anwendet, in welchem grade 1000 Gran reines, also von allen fremdartigen Stoffen befreites Wasser im Zustande seiner größten Dichtigkeit oder bei einer bestimmten, auf dem Fläschchen zu bemerkenden Temperatur Platz finden.

Füllt man dieses Tausendgranfläschchen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und wägt das Ganze ab, so darf man das in Granen ausgedrückte Gewicht derselben nur mit tausend dividiren, um das gewünschte spezifische Gewicht der neuen Flüssigkeit zu erhalten.

Wäre das Gewicht der das Fläschchen erfüllenden Salpetersäure mit dem Glase 1922 Gran, das des bloßen Glases 400 Gran, also das der Säure 1522 Gran; so wäre ihr spezifisches Gewicht

$\frac{1522}{1000} = 1{,}522$. Es darf also nicht befremden, daß man das spezifische Gewicht bis auf Tausentel der Einheit genau angegeben findet.

Hätte man Schwefeläther im Fläschchen gehabt und das Gewicht des Ganzen 1115 gefunden, so wäre das des Aethers 715 Gran und sein spezifisches Gewicht $\frac{715}{1000} = 0{,}715$, also derselbe leichter als Wasser.

Man kann aber das spezifische Gewicht tropfbarer Körper auch dadurch bestimmen, daß man einen und denselben Körper, von welchem man voraussetzt, daß er ein unabänderliches Volumen besitzt, in den verschiedenen Flüssigkeiten zum Untertauchen bringt und untersucht, welches seine Gewichtsverluste sind. Er wird in der schwereren Flüssigkeit mehr verlieren, als in der leichteren, wenn er im Wasser einen gewissen Verlust erlitt. Es gilt nun das Gesetz: die Gewichtsverluste verhalten sich grade wie die spezifischen Gewichte und die Zahl, welche sagt, wie oft der Gewichtsverlust des Körpers im Wasser in dem Gewichtsverluste, den der Körper in der anderen Flüssigkeit erleidet, enthalten ist, ist das spezifische Gewicht des Körpers.

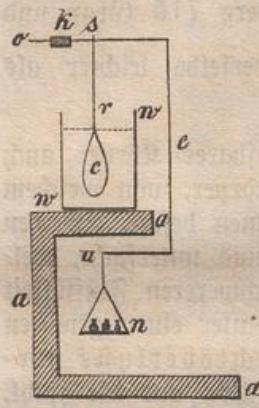
Man kann als den einzutauchenden Körper einen Glastropfen an einem Platindrahte oder einem Roßhaare wählen, letzteres, wenn es durch die Flüssigkeit nicht verletzt würde. Wenn der Tropfen in Wasser 10, in der Milch 10,3 verlöre, so wäre das spezifische Gewicht der letzteren 1,03. — Es ist vortheilhaft es so einzurichten, daß der massive Glaskörper im Wasser grade 1000 Gran verliert.

Es ließe sich aber auch mit der Nicholsonschen Wage das absolute Gewicht der verschiedenen Flüssigkeiten bei gleichem Rauminhalte angeben. Das Verhältniß dieser absoluten Gewichte ist ja, wenn die eine Flüssigkeit das Wasser ist, das spezifische Gewicht.

Bringt man durch verschiedene Auflagegewichte das Instrument stets so weit, daß es grade bis zur Richte einsinkt, so verdrängt es in allen Fällen dasselbe Volumen von den Flüssigkeiten und bei jeder wird das Gewicht des verdrängten Theiles durch die Summe der Gewichte des bloßen Instrumentes in der Luft und der jedesmaligen Auflagegewichte angegeben.

Es ist auch hier zweckmäßig, das Instrument so einzurichten, daß es mit den Auflagegewichten, wenn es im Wasser bis zur Richte einsinken soll, grade eine Gewichtseinheit, z. B. 1000 Gran, wiegt. Wiegt z. B. das Instrument in der Luft 700 Gran, muß man ihm für Wasser 300 und für Nordhäuser Schwefelsäure 1145 Gran auflegen, damit es in beiden Fällen bis zur Richte einsinkt; so ist das spezifische Gewicht dieser Säure $\frac{700 + 1145}{700 + 300} = \frac{1845}{1000} = 1{,}845$. — Brauchte

man im Alkohol nur 92 Gran zuzulegen, um denselben Zweck zu erreichen; so wäre sein spezifisches Gewicht $\frac{700 + 92}{700 + 300} = \frac{792}{1000} = 0{,}792$, so daß wir absoluten Alkohol hätten.



(Fig. 123.)

Eine der nicholsonschen Wage ähnliche und ganz praktische ist die Senkwage von Tralles (Fig. 123). Auf einem Gestelle von der Gestalt aaa befindet sich ein Glas ww mit Wasser; in dieses taucht ein hohler birnförmiger Glaskörper c mit einem dünnen Stiele, der bei r ein Merkzeichen hat und oben bei s einen an ihn befestigten und zweimal gebogenen Draht oeu trägt; an dem unteren Ende u desselben ist eine kleine Wageschale angehängt und gegen das obere ist ein verschiebbares Gewichtchen k angebracht, um den Apparat so zum Schwimmen zu bringen, daß er lothrecht im Wasser steht.

Für den Gebrauch bestimmt man zuerst das absolute Gewicht des ganzen Apparates einschließlich derjenigen Gewichte, welche bei n nothwendig sind, um ihn in Wasser von der Normaltemperatur bis zur Richte r einsinken zu machen. Dieses als Gewichtseinheit anzusehende Gewicht wird in das Gewicht dividirt, welches der Apparat mit anderen Zulagegewichten in der anderen Flüssigkeit hat. Der Quotient gibt das spezifische Gewicht der anderen Flüssigkeiten, weil die spezifischen Gewichte zweier Flüssigkeiten sich wie die absoluten bei gleichen Rauminhalten verhalten.

Man kann auch das spezifische Gewicht der Flüssigkeiten mit diesem Apparate ohne alle Rechnung erhalten, wenn man Gewichtstheilchen anfertigt, welche Tausentel des Gesammtgewichtes des Apparates sind. Wäre das Gewicht des Apparates z. B. 610, und so, daß für das Einsinken im destilirten Wasser bis zur Richte noch 390 Gewichtstheilchen erforderlich sind und man müßte, um das Einsinken bis zur Richte in einer leichteren Flüssigkeit zu bewirken, 30 Gewichtstheile herabnehmen; so wäre ihr spezifisches Gewicht 0,970. Müßte man bei einer schwereren Flüssigkeit zu den 390 Gewichtstheilen 176 zulegen, so wäre das spezifische Gewicht 1,176.

Sollte das Instrument zur Bestimmung des Werthes einer Flüssigkeit in Beziehung auf einen in ihr enthaltenen Stoff angewendet werden, z. B. zur Angabe des Alkoholgehaltes im Branntweine; so müßte man die Zulagegewichte für den betreffenden Zweck einrichten und für jedes besondere Instrument Tabellen entwerfen, theils für das mit dem Gehalte von Alkohol abnehmende spezifische Gewicht, theils für die veränderlichen Temperaturen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Bestimmung des spezifischen Gewichts mancher Körper mittelst ihrer Abwägung in Wasser ist dann unstatthaft, wenn der betreffende Körper in dem Wasser sich auflöst. Man ist also genöthigt, seinen Gewichtsverlust in einer anderen Flüssigkeit, in welcher er sich nicht auflöst, z. B. in Alkohol oder in Oel, und deren spezifisches Gewicht bekannt ist, zu bestimmen. Dadurch hat man das Mittel gefunden, den Gewichtsverlust des Körpers in Wasser zu berechnen; denn die Gewichtsverluste eines bestimmten Körpers, die er in verschiedenen Flüssigkeit erleidet, verhalten sich wie die spezifischen Gewichte. Verlöre ein Stückchen Steinsalz, welches ein absolutes Gewicht von 1632 Gran besitzt, in Rüböl 700 Gran, und wäre das spezifische Gewicht des Rüböls 0,919; so würde es heißen:

Es verhält sich das spezifische Gewicht des Rüböls zu dem des Wassers wie der Gewichtsverlust des Körpers in jenem zu dem in diesem, oder $0{,}919 : 1 = 700 : x$, woraus $x = \frac{700}{0{,}919} = 761{,}7$ sich ergibt.

Nun weiß man den Gewichtsverlust des Steinsalzes im Wasser (761,7 Gran), das absolute Gewicht des ersteren (1632 Gran), folglich ist das spezifische Gewicht des Steinsalzes $\frac{1632}{761{,}7} = 2{,}142$.

Statt dessen könnte man auch berechnen, wie vielmal dichter das Steinsalz als das Rüböl ist, was $\frac{1632}{700} = 2{,}331$ gibt und nun diese Zahl mit dem spezifischen Gewichte des Oeles (0,919) multipliziren, woraus auch 2,142 sich ergibt.

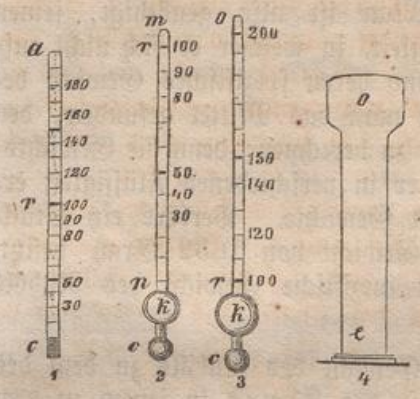
Endlich hat man noch Instrumente zur Bestimmung der Dichtigkeit von Flüssigkeiten, welche sich auf das Gesetz gründen:

> Die spezifischen Gewichte von Flüssigkeiten verhalten sich wie umgekehrt die Räume, um welche ein Körper von bestimmtem absoluten Gewichte in sie einsinkt.

Dieses Gesetz ist als richtig leicht zu erkennen, wenn man zunächst festhält, daß das absolute Gewicht von einem passiv auf einer Flüssigkeit schwimmenden Körper gleich ist dem absoluten Gewichte der von ihm aus dem Wege gedrängten Flüssigkeit, daß also, wenn derselbe Körper nach einander auf zwei verschiedenen Flüssigkeiten schwimmt, die Gewichte beider verdrängten Flüssigkeiten einander gleich sind. Wenn das Instrument in der einen Flüssigkeit um 6 Raumtheile einsinkt und das Gewicht jedes Raumtheiles der Flüssigkeit 2 ist; so wird, wenn das Instrument in der anderen Flüssigkeit nur um 3 Raumtheile einsinkt, das Gewicht jedes Raumtheiles dieser Flüssigkeit das Doppelte

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

oder 4 sein müssen. (6 : 3 = 4 : 2). Die darauf gegründeten Instrumente heißen Skalen-Aräometer.



(Fig. 124.)

Hat man eine überall gleich weite Glasröhre ac (Fig. 124), welche bei c mit soviel Queckſilber oder Schrotkörnchen verſehen iſt, daß ſie beim Eintauchen ins Waſſer etwa bis r einſinkt; ſo bezeichnet man dieſen Punkt mit 100, theilt die Röhre von da an herab bis ans Ende in 100 gleiche Theile und trägt dergleichen auch von r an aufwärts auf. In einer Flüſſigkeit, die ſpezifiſch ſchwerer iſt als Waſſer, wird das Inſtrument nicht bis r einſinken, in einer leichteren aber tiefer, und man kann durch eine einzige Beobachtung beſtimmen, welches das Verhältniß des Rauminhaltes einer anderen Flüſſigkeit zu dem des Waſſers bei gleichem abſoluten Gewichte iſt, wodurch das ſpezifiſche Gewicht als bekannt angenommen werden kann.

Sänke z. B. das Inſtrument nur bis 74 ein, ſo wäre das ſpezifiſche Gewicht der Flüſſigkeit $\frac{100}{74} = 1{,}351\ldots$ Ginge es aber bis 140 hinab, ſo wäre es $\frac{100}{140} = 0{,}714285$. Im erſten Falle wiegen 74, im zweiten 140 Raumtheile der Flüſſigkeit ſoviel als 100 Raumtheile Waſſer und man muß jedesmal die Anzahl der beobachteten Skalentheile in 100 dividiren, um das ſpezifiſche Gewicht s zu finden. $\frac{100}{x} = s$. Der Gebrauch des Inſtruments iſt vereinfacht, wenn man ein für allemal die Diviſion für jede Theilungszahl ausführt. — Aus $\frac{100}{x} = s$ ergibt ſich $\frac{100}{s} = x$, d. h. man findet die Menge der Skalentheile, wenn man das ſpezifiſche Gewicht in 100 dividirt.

Man nimmt ſtatt der ſtabförmigen Röhren lieber ſolche, mn oder or, an denen unten eine etwas größere Kugel oder ein weiterer Zylinder k angeblaſen iſt, woran ſich eine kleinere c mit Queckſilber befindet, damit das Rohr ſchneller und beſſer ins ſtabile Gleichgewicht komme und ſetzt den mit 100 bezeichneten Waſſerpunkt zur Meſſung für leichtere Flüſſigkeiten ganz unten hin (or), für ſchwere aber oben (mn), was durch weniger oder mehr Queckſilber in c leicht erreicht werden kann. Sollte ein Inſtrument beiden Zwecken dienen, ſo würde es wegen ſeiner größeren Länge unbequem und zerbrechlicher ſein. Uebrigens läßt

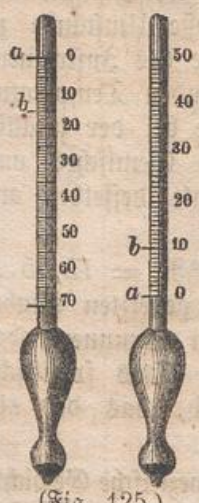
sich das Quecksilber durch das Zusammenschmelzen des Glases zwischen c und k in c leicht absperren; es kann aber auch zu einem in dem Innern des Instrumentes enthaltenen Thermometer verwendet werden, um gleichzeitig die Temperatur der Flüssigkeit, welche das spezifische Gewicht abändert, zu wissen.

Weil mit Benutzung des von dem Instrumente verdrängten Volumens der Flüssigkeiten ihr spezifisches Gewicht bestimmt wird, so heißt es auch Volumeter.

Um für leichtere Flüssigkeiten als Wasser die Skale zu erhalten, taucht man (Gay-Lussac) es in eine Mischung aus Wasser und Alkohol, welche genau das spezifische Gewicht von 0,8 oder 80 Hunderteln hat, setzt an den Wasserpunkt 100; an den Punkt, bis zu welchem es in der Mischung einsinkt 125, weil $^{8}/_{10} = {}^{100}/_{125}$ ist, so daß man die Entfernung dieser beiden Punkte nur in 25 gleiche Theile zu theilen und dergleichen weiter aufwärts anzugeben braucht.

Für schwere Flüssigkeiten bereitet man sich ein Gemisch, z. B. aus Wasser und Schwefelsäure, welches genau das spezifische Gewicht 1,25 besitzt, taucht das Instrument in dasselbe und bezeichnet den Punkt mit 80, wenn der darüber liegende Wasserpunkt die Ziffer 100 trägt; denn 100/80 ist gleich 1,25. Der Raum zwischen den beiden Punkten wird natürlich in 20 gleiche Theile getheilt und solche Theile werden weiter abwärts aufgetragen. Damit die Grade für schwere Flüssigkeiten nicht zu klein ausfallen, macht man die Röhren für sie dünner.

Wären die Röhren nicht überall gleich dick, so würde ihre Eintheilung erschwert, weil man mehre Punkte durch ähnliche Versuche bestimmen müßte.



(Fig. 125.)

Beaumé bestimmte für sein Volumeter die Skale auf eine andere Weise. Er setzte für schwerere Flüssigkeiten oben an den Wasserpunkt a Null (Fig. 125), tauchte das Instrument in eine Lösung von 3 Theilen reinen Kochsalzes in 17 Theilen Wasser und setzte an den Punkt b, bis zu welchem es einsank, 15. Solche Fünfzehntel der Normalentfernung wurden weiter abwärts aufgetragen. — Für leichtere Flüssigkeiten setzte er den Nullpunkt unten dahin, bis wohin das Instrument in einer Lösung von 1 Theile Kochsalz in 9 Theilen Wasser einsank und an den Wasserpunkt darüber 10. Die Zehntel dieser Entfernung werden weiter aufwärts aufgetragen. Man nennt diese Theile in beiden Fällen Grade; ihr Werth aber wird erst durch Vergleichung mit dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeiten gefunden, so daß der Gebrauch des Instrumentes dadurch sehr beeinträchtigt wird, indem es unmittelbar weder das spezifische Gewicht, noch den Prozentgehalt einer Flüssigkeit angibt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ganz besonders wichtig fürs praktische Leben sind die Aräometer zur Bestimmung des Alkoholgehaltes in einer Mischung aus Wasser und Spiritus, oder die Alkoholometer. Die Mischung ist natürlich um so besser, je leichter sie ist. Das spezifische Gewicht des reinen (absoluten) Alkohol ist 0,7939. Die hierher gehörigen Untersuchungen werden dadurch erschwert, daß das spezifische Gewicht der Mischung nicht unmittelbar den Antheil des Alkohol in ihr angibt, weil bei der Verbindung beider eine Raumverminderung stattfindet, die nicht in gleichem Verhältnisse mit dem Antheile des Alkohol steht. Wenn man in einer überall gleichweiten Röhre 15 Zoll destillirtes Wasser hat und dazu 15 Zoll reinen Alkohol gießt, so hat man nach ihrer Vermischung die Röhre nicht bis auf 30 Zolle gefüllt, sondern nur etwa auf 29½.

Eine Mischung aus Wasser und Alkohol wird stets ein spezifisches Gewicht haben, welches zwischen 1 und 0,7939 liegt, aber größer ist als das arithmetische Mittel, welches man aus dem Mischungsverhältnisse berechnet; also z. B. ein Gemisch aus gleichen Raumtheilen von Wasser und absolutem Alkohol hat nicht das spezifische Gewicht 0,8969, sondern wegen seiner Raumverminderung ein größeres (0,9335). Wenn man nun, um die Skale zu erhalten, welche die Volumen-Prozente des Alkohol unmittelbar angibt, an den Wasserpunkt 0, an den Punkt des absoluten Alkohol 100 setzt; so darf man diese Entfernung nicht in gleiche Theile theilen, weil sie nach dem Nullpunkte abnehmen müssen, sondern müßte sie besonders ermitteln.

Da die Temperatur auf das spezifische Gewicht des Wassers, des Weingeistes und eines Gemisches aus ihnen von sehr wesentlichem Einflusse ist, so muß man entweder die zu untersuchenden Mischungen auf eine gewisse Temperatur bringen, die man ohne große Umstände zu allen Jahreszeiten erlangen kann und bei ihr die Skale des Instrumentes anfertigen, so daß sie auch nur bei der betreffenden Temperatur brauchbar ist, oder man muß Tabellen zuziehen, welche bei der zufällig während der Messung vorhandenen Temperatur des Gemisches und dem gefundenen spezifischen Gewichte den Alkoholgehalt desselben angeben. —

Als eine solche Temperatur ist von Tralles 12,44° R. = 15,55.. C. gewählt worden, weil man sie im Winter in einer geheizten Stube, im Sommer durch Hineinsetzen in frisches, aus tiefen Brunnen oder guten Kellern kommenden Wasser leicht erhalten kann. Das spezifische Gewicht des Wassers bei dieser Temperatur ist 0,9991, das des absoluten Alkohol 0,7939.

Die folgende Tabelle enthält dazwischen fallende spezifische Gewichte mit der Anzahl der Maße reinen Alkohols, welche in 100 Maßen Mischung enthalten sind, also die Prozente des Alkohol.

0,9991	0	0,9583	35	0,8892	70
0,9919	5	0,9510	40	0,8765	75
0,9857	10	0,9427	45	0,8631	80
0,9802	15	0,9335	50	0,8488	85
0,9751	20	0,9234	55	0,8332	90
0,9700	25	0,9126	60	0,8157	95
0,9646	30	0,9013	65	0,7939	100

Wenn das Instrument bei 12½° R. eines Gemisches das spezifische Gewicht 0,8765 angibt, so sind in 100 Maß solchen Weingeistes 75 Maß absoluten Alkohols vom spezifischen Gewichte 0,7939 enthalten. Es ist das Instrument ein Umfangsprozenten-Aräometer.

Die Differenz der spezifischen Gewichte für 75 und 80 Prozent Alkohol ist 0,8765 — 0,8631 = 0,0134; also kommt auf 1 Prozent davon der fünfte Theil, d. i. 0,0027. Wäre also das spezifische Gewicht 0,8792 gefunden worden, so wäre 1 Prozent Alkohol mehr oder 76 Prozent.

Zur Vermeidung von Rechnungen ist die folgende vollständige Tabelle entworfen.

1	0,9976	26	0,9689	51	0,9315	76	0,8739
2	0,9961	27	0,9679	52	0,9295	77	0;8712
3	0,9947	28	0,9668	53	0,9275	78	0,8685
4	0,9933	29	0,9657	54	0,9254	79	0,8658
5	0,9919	30	0,9646	55	0,9234	80	0,7631
6	0,9906	31	0,9634	56	0,9213	81	0,8603
7	0,9893	32	0,9622	57	0,9192	82	0,8575
8	0,9881	33	0,9609	58	0,9170	83	0,8547
9	0,9869	34	0,9596	59	0,9148	84	0,8518
10	0,9857	35	0,9583	60	0,9126	85	0,8488
11	0,9845	36	0,9570	61	0,9104	86	0,8458
12	0,9834	37	0,9556	62	0,9082	87	0,8428
13	0,9823	38	0,9541	63	0,9059	88	0,8397
14	0,9812	39	0,9526	64	0,9036	89	0,8365
15	0,9802	40	0,9510	65	0,9013	90	0,8332
16	0,9791	41	0,9494	66	0,8998	91	0,8299
17	0,9781	42	0,9478	67	0,8965	92	0,8265
18	0,9771	43	0,9461	68	0,8941	93	0,8230
19	0,9761	44	0,9444	69	0,8917	94	0,8194
20	0,9751	45	0,9427	70	0,8892	95	0,8157
21	0,9741	46	0,9409	71	0,8867	96	0,8118
22	0,9731	47	0,9391	72	0,8842	97	0,8077
23	0,9720	48	0,9337	73	0,8817	98	0,8034
24	0,9710	49	0,9354	74	0,8791	99	0,7988
25	0,9700	50	0,9335	75	0,8765	100	0,7939

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Um Alkoholometer für den Gebrauch im Handel und auch für das Maß der Besteuerung anzufertigen, muß man die Skale so einrichten, daß sie unmittelbar durch die Punkte, bis zu welchen sie jedesmal einsinkt, die Prozente an reinem Alkohol angibt.

Die folgende Tabelle gibt in der ersten Reihe die Menge der Skalentheile an, bis zu welchen das Instrument einsinkt, die zweite die dazu gehörigen Prozente des Alkohols.

9	0	321	26	735	51	1443	76
24	1	332	27	758	52	1478	77
39	2	344	28	782	53	1514	78
54	3	355	29	806	54	1550	79
68	4	367	30	830	55	1587	80
82	5	380	31	854	56	1624	81
95	6	393	32	879	57	1662	82
108	7	407	33	905	58	1701	83
121	8	420	34	931	59	1740	84
133	9	434	35	957	60	1781	85
145	10	449	36	984	61	1823	86
157	11	465	37	1011	62	1866	87
169	12	481	38	1039	63	1910	88
180	13	498	39	1067	64	1955	89
191	14	515	40	1096	65	2002	90
202	15	533	41	1125	66	2050	91
213	16	551	42	1154	67	2099	92
224	17	569	43	1184	68	2150	93
235	18	588	44	1215	69	2203	94
245	19	608	45	1246	70	2259	95
256	20	628	46	1278	71	2318	96
266	21	648	47	1310	72	2380	97
277	22	669	84	1342	73	2447	98
288	23	690	49	1375	74	2519	99
299	24	712	50	1409	75	2597	100
310	25						

Um diese Eintheilung auf dem Aräometer zu erhalten, stellt man es zuerst in reines Wasser von 12½° R. und bemerkt sich den Punkt, bis zu welchem es einsinkt, genau; dann stellt man es in eine Mischung aus Wasser und Alkohol von derselben Temperatur und einem genau ermittelten spezifischen Gewichte und bemerkt wieder den erhaltenen Punkt. Die vorletzte Tabelle gibt die Prozente des Alkohol bei dem betreffenden spezifischen Gewichte und die letzte Tabelle die Menge der Theile an, in welche man die Entfernung der beiden Normalpunkte einzutheilen hat.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wenn beispielsweise das spezifische Gewicht der Mischung bei 12½° R. gleich 0,8817, das des Wassers bei derselben Temperatur 0,9991 ist; so gehören nach der vorletzten Tabelle zu jenem 73 Prozent Alkohol, denn zu 0,8892 gehören 70, zu 0,8765 gehören 75 Prozent, also kommt auf jedes Prozent der fünfte Theil des Unterschiedes (0,8892 — 0,8765) = 0,0127, d. i. 0,0025. Nun ist aber der hier zur Sprache kommende Unterschied 0,8892 — 0,8817 = 127 das Dreifache des für ein Prozent geltenden, also ist der zum spezifischen Gew. 0,8817 gehörige wirklich 73. Bei 73 steht in der letzten Tabelle 1342, bei dem reinen Wasser 9; also muß die Entfernung unserer beiden Normalpunkte in 1342 — 9, d. i. in 1333 Theile getheilt werden.

Um ein genaues Instrument für richtige Resultate zu erhalten, muß die Spindel genau zylindrisch und dünn sein, die Temperatur muß genau die oben angegebene sein, es dürfen Luftbläschen am Instrumente nicht hängen und dasselbe muß in der Flüssigkeit frei schweben, es darf dabei nicht tiefer hinein bewegt werden, als daß er nur grade eintaucht und die Flüssigkeit muß sich ringsum gleichmäßig heraufziehen. Beim Ablesen hält man zuerst das Auge etwas unter den Spiegel der Flüssigkeit und erhebt es grade nur so weit, daß die untere Spiegelung verschwindet.

Außer den Alkoholometern hat man noch viele Spindeln zu ganz besonderen Zwecken, z. B. die Salzspindeln, um den Salzgehalt einer Salzsoole zu bestimmen. Ein Gewichtsprozenten-Aräometer für diesen Zweck erhält man, wenn man 1 Gewichtstheil Salz in 99 Theilen Wasser, 2 Theile Salz in 98 Theilen Wasser u. s. w. auflöst und an die Punkte, bis zu denen das Instrument einsinkt, nach der Reihe 1, 2, 3 u. s. w. setzt. Die Zwischenpunkte lassen sich leicht ergänzen. Der Nullpunkt ist natürlich als der Wasserpunkt der oberste.

Sollen eingesalzene Heringe nicht leicht verderben, so muß die dazu angewendete Salzlake eine bestimmte Konzentration haben. Für die praktischen Zwecke hat man kleine Glaskugeln angefertigt, welche darin zum Schwimmen gebracht sind und nun dienen sie zur Prüfung für alle Fälle dieser Art.

Aehnliche Spindeln hat man für Weine, für Säuren, wie z. B. für Schwefelsäure, Salpetersäure, für Zuckerlösungen (Sacherometer), wofür aber auch die Lichtbrechung Kennzeichen angibt, für den Most, um namentlich seinen Zuckergehalt zu bestimmen, selbst für Bier und Milch, wozu diese Instrumente aber nicht maßgebende Hilfsmittel sind; denn beim Biere hat sich aus dem Malze Malzzucker entwickelt, letzterer aber sich theils in Weingeist, theils in Kohlensäure verwandelt, welche größtentheils entweicht; aber der Gummi- und Zuckergehalt vergrößert und der Weingeist verkleinert das spezifische Gewicht. Da letzterer das Vermögen, das Licht zu brechen, vergrößert, so kann die Bestimmung des spezifischen Gewichtes in Verbindung mit dem Licht-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

brechungsvermögen zur Ermittelung der Güte des Bieres angewendet werden. — Bei der Milch lassen sich Verfälschung weniger durch ihr spezifisches Gewicht, als durch ihr Aussehen und den Geschmack beurtheilen.

Für luftige Körper.

Es gehören hierher nicht blos die eigentlichen Luftarten, sie mögen einfache, wie Sauerstoff, oder zusammengesetzte, wie die atmosphärische Luft sein, sondern auch die Dämpfe aus tropfbaren und festen Körpern. In der Wirklichkeit müssen wir für jetzt allerdings noch den Unterschied zwischen Gasen und Dämpfen festhalten.

Es gibt nämlich luftige Körper, welche, wie der Sauerstoff, der Wasserstoff, der Stickstoff, die atmosphärische Luft, unter allen bis jetzt bekannten Umständen den Zustand des Luftigen beibehalten; andere hat man dadurch, daß man sie abkühlte und einem bedeutenden Drucke aussetzte, nicht nur tropfbar, sondern zum Theil gar fest gemacht, wie das kohlensaure Gas (bei einem 36mal größeren Drucke, als ihn die Atmosphäre ausübt und 0° Temperatur), Stickstoffoxydulgas (welches 88° Kälte hat), ölbildendes Gas, Schwefelwasserstoffgas, Fluorkieselgas (hat — 110° C. bei 9fachem Drucke). Die Dämpfe aber lassen sich durch Abkühlung und eine nicht so bedeutende Vermehrung des auf sie ausgeübten Druckes alle tropfbar und fest machen.

a) Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Gase nimmt man das absolute Gewicht der atmosphärischen Luft als Einheit an, so daß das spezifische Gewicht der anderen Gase die Zahl ist, welche anzeigt, wie vielmal schwerer oder leichter die betreffende Gasart ist.

Man verwendet zur Abwägung eine große Glaskugel, welche durch einen Hahn gut abgesperrt werden kann. Zuerst wird durch eine Luftpumpe die atmosphärische Luft herausgeschafft und die leere Kugel abgewogen; dann läßt man Luft hinein, welche man dadurch ganz ausgetrocknet hat, daß sie mit Chlorkalk in Berührung war. Das beim jetzigen Abwägen nothwendige Mehrgewicht ist das absolute Gewicht der eingeschlossenen atmosphärischen Luft. Auf dieselbe Weise füllt man die Kugel nach und nach mit den anderen Luftarten und bekommt so ihre absolute Gewichte bei gleichem Rauminhalte. Wenn man nun mit dem absoluten Gewichte der atmosphärischen Luft in das der anderen Luftarten, die auch trocken untersucht werden müssen, dividirt, so sind die Quotienten die spezifischen Gewichte. Wäre z. B. das Gewicht der atmosphärischen Luft 120, das der anderen Luftart 132,6 Gran; so wäre ihr spezifisches Gewicht $\frac{132,6}{120} = 1,105$, wie es beim Sauerstoffe ist. Wäre dagegen das Gewicht der anderen Luftart 8,3 Gran, so würde ihr spezifisches Gewicht $\frac{8,3}{120} = 0,069$ sein, wie es beim Wasserstoffe ist.

Um ganz genaue Resultate zu erhalten, müssen die verschiedenen Gase bei derselben Temperatur und einem bestimmten mittleren Luftdrucke abgewogen werden. Damit ferner beim Abwägen der großen Glaskugel mit den Gasen der veränderte Zustand der dieselbe umgebenden Luft mit ihrer Feuchtigkeit keinen Einfluß üben könne, nimmt man zum Abwägen auf der anderen Seite nicht Gewichte, sondern auch eine Glaskugel von derselben Größe und Glassorte, die man durch etwas Quecksilber gleichgewichtig macht.

Man könnte das spezifische Gewicht der Luftarten zwar auch auf das Gewicht des Wassers als Einheit beziehen, die Zahlen würden aber nicht so leicht übersichtlich sein, weil sie zu kleine Brüche wären.

Das Wasser bei seiner größten Dichtigkeit in dem angefüllten Glasballon wiege 1000 Gran, mit trockener Luft bei 0° und mittlerem Drucke gefüllt wiege er 1,293 Gran mehr, als wenn er luftleer wäre: dann ist das spezifische Gewicht der Luft $\frac{1{,}293187}{1000} = 0{,}001293187$.

Demnach ist die atmosphärische Luft $\frac{1}{0{,}001293} = 772{,}8$ mal leichter, als das Wasser. Da nun ein Kubikfuß atmosphärische Luft 2¼ Loth wiegt, so hat die ganze Atmosphäre ohne Dünste ein Gewicht von etwa 120 Billionen Zentnern.

Um zu untersuchen, ob es mit den vorhandenen Mitteln gelingt, den Glasball immer luftleer zu machen, muß man nach der vermeintlichen Entleerung ihn mit der Mündung unter Wasser öffnen und nachsehen, ob er durch das Wasser vollständig erfüllt wird, was dann geschieht, wenn er vollständig leer war. Wäre es nicht der Fall, so müßte der übrige Raum bei den obigen Betrachtungen in Abrechnung kommen.

Das spezifische Gewicht der atmosphärischen Luft läßt sich auch mit Benutzung des Barometers finden. Ist nämlich bei 15° R. Wärme der Barometerstand am Meeresspiegel 28 Zoll oder 336 Linien und in einer Höhe von 73 Fuß darüber nur 335 Linien, so stehen nach dem Gesetze der kommunizirenden Gefäße die Höhestände der beiden Flüssigkeiten, nämlich des Quecksilbers und der Luft, die einander das Gleichgewicht halten, im umgekehrten Verhältnisse mit ihren spezifischen Gewichten; also $1''' : 73' = x : 13{,}597$ oder $1'' : 10512 = x : 13{,}597$ und somit das spezifische Gewicht x von der Luft gleich 0,00129, wobei das Wasser die Einheit ist. Unter den obigen Annahmen ist die Dichtigkeit der Luft an der Erdoberfläche der 0,000095ste Theil von der des Quecksilbers und der 0,00029ste von der des Wassers, wobei die Dichtigkeit in der Schicht von 73 Fuß Höhe als eine sich gleichbleibende angesehen wird, was streng genommen zwar nicht der Fall ist, aber von der Wahrheit wenig abführt.

b) Obwohl die Betrachtungen von dem spezifischen Gewichte der

Dämpfe verschiedener Körper erst in der Wärmelehre ihre vollständige Erledigung finden können, mögen hier doch schon einige Bemerkungen angeschlossen werden. Der Dampf des Wassers, wie er sich aus dem kochenden Wasser bei einem mittleren Drucke (76 Zentimeter)der atmosphärischen Luft entwickelt, hat ein spezifisches Gewicht von 0,6225, wenn das Gewicht der atmosphärischen Luft von derselben Temperatur, als Einheit angenommen wird. Dies gilt für alle Temperaturen der Luft und des Dampfes, wenn er bei derselben Temperatur den betreffenden Raum erfüllt, so daß mehr darin nicht Platz findet und wenn beide dieselbe Druckkraft oder Expansivkraft haben.

Das spezifische Gewicht des Wasserstoffgases bei 0° Temperatur und dem obigen mittleren Luftdrucke ist 0,069, das des Sauerstoffgases 1,105. Obwohl 2 Maß Wasserstoff und 1 Maß Sauerstoff zur Bildung von Wasser gehören, so geben sie in ihrer Verbindung doch nur 2 Maß Wasserdampf von gleicher Temperatur und Spannkraft und man muß daraus schließen, daß das Wasserstoffgas im Wasserdampfe das doppelte spezifische Gewicht hat, also $2 . 0{,}069 = 0{,}138$ und daß 1 Maß Wasserstoff von dem spezifischen Gewichte 0,138 und 1 Maß Sauerstoff von dem spezifischen Gewichte 0,105 zusammen Wasserdampf mit dem spezifischen Gewichte $\frac{0{,}138 + 1{,}105}{2} = \frac{1{,}243}{2} = 0{,}622$ geben, was mit der obigen Angabe stimmt.

Wir wollen nun das spezifische Gewicht von einer Reihe fester, tropfbarer und luftiger Körper im Zustande ihrer Reinheit und Güte angeben. Für die festen und tropfbaren Körper ist das Wasser die Einheit, für die luftigen Körper aber die atmosphärische Luft.

Feste Körper.

Platin, gereinigt	22,100	Zink, gehämmert	7,861
= gegossen	20,857	= gegossen	7,213
Gold, gehämmert	19,334	Zinn, gewalzt	7,475
= gegossen	19,258	= gegossen	7,291
Blei	11,445	Arsenik	5,628
Silber, gehämmert	10,566	Diamant	3,550
= gegossen	10,474	Glas, Frauenhofers Flint-	3,779
Kupfer, gehämmert	9,000	= englisches Flintglas	3,442
= gegossen	8,788	= Krystall	2,892
Messing, gegossen	8,440	Marmor	2,837
Argentan	8,553	Perlen	2,750
Gußstahl	7,919	Quarz	2,654
Stabeisen	7,844	Gyps, krystallisirt	2,311
Stahl	7,795	Schwefel	2,033
Eisen, geschmiedet	7,788	Elfenbein	1,917
= gegossen	7,207	Thon	1,900

Phosphor	1,770	Eichenholz, altes	1,170
Kreide	1,797	Hainbuchen, trocken	0,769
Bernstein	1,078	Rothtannen, trocken	0,498
Wachs, weißes	0,969	Linden, trocken	0,439
Eis	0,885	Pappelholz	0,338
Ebenholz	1,226	Korkholz	0,240
Mahagonyholz	1,060		

Tropfbare Körper.

Queckſilber	13,597	Burgunderwein	0,992
Schwefelſäure, Nordhäuſer	1,896	Thran	0,927
= engliſche	1,845	Baumöl	0,919
Salpeterſäure	1,522	Tecpentinöl	0,872
Salzſäure	1,192	Zitronenöl	0,852
Madeirawein	1,038	Erdöl	0,840
Milch	1,030	Alkohol, abſoluter	0,792
Meerwaſſer	1,027	Schwefeläther	0,715
Malaga	1,022	Blauſäure	0,705

Luftige Körper.

Gaſe.

Jodwaſſerſtoff	4,429	Stickſtoffoxydgas	1,04
Chlorgas	2,422	Salpetergas	1,04
Flußſäure	2,370	Stickſtoff	0,972
Schweflige Säure	2,247	Oelbildendes Gas	0,971
Stickſtoffoxydulgas	1,53	Phosphorwaſſerſtoff	0,92
Kohlenſäure	1,529	Ammoniakgas	0,597
Salzſaures Gas	1,25	Kohlenwaſſerſtoff	0,56
Schwefelwaſſerſtoff	1,19	Waſſerſtoff	0,069
Sauerſtoff	1,103		

Dämpfe.

Jod	8,718	Schwefelkohlenſtoff	2,645
Queckſilber	6,976	Salpeteräther	2,586
Terpentinöl	5,013	Alkohol	1,614

Die Betrachtungen von dem ſpezifiſchen Gewichte der Körper können noch auf verſchiedene Weiſe nutzbar gemacht werden. Man kann nämlich von den drei Stücken 1) dem Rauminhalt oder Volumen v, 2) dem ſpezifiſchen Gewichte s, 3) dem abſoluten Gewichte a jedes finden, wenn die beiden anderen gegeben ſind.

Weiß man das Gewicht einer Volumeneinheit von reinem Waſſer, z. B. das Gewicht von einem Kubikfuß, welches nach preußiſchem

Gewichte 66 Pfunde, nach österreichischem 56 Pfunde 12 Loth, nach badenschem 54 Pfunde beträgt; so läßt sich daraus mittelst des spezifischen Gewichtes eines Körpers nun auch das absolute Gewicht derselben Raumeinheit als Produkt berechnen.

Ist das spezifische Gewicht des Granits 2,956, so wiegt ein Kubikfuß Granit 2,956 mal 66 Pfunde oder 195,096 Pfunde.

Ist das spezifische Gewicht des Queckſilbers 13,597, so wiegt ein Kubikfuß 13,597 . 66 Pfunde = 897,402 Pfunde.

Ist das spezifische Gewicht des Chlorgases 2,47 und wiegt ein Kubikfuß atmosphärische Luft 2¼ Loth, so wiegt ein Kubikfuß Chlorgas 2,47 . 2¼ Loth oder 5,56 Loth.

Nun ist das absolute Gewicht irgend eines Körpers von bekanntem Volumen und spezifischem Gewichte ein Produkt aus letzteren, da a = v. s, was man namentlich zur Bestimmung des Gewichtes großer Massen anwendet, die man unmittelbar nicht wägen kann.

Es fragt sich z. B., welche Transportmittel müßte man anwenden, um einen Granitblock (einen Würfel, eine Säule u. dergl.) fortzuschaffen, wenn sein Rauminhalt 100 Kubikfuß betrüge? Offenbar würde er 100 . 195,096 = 19509,6 Pfunde wiegen, wornach die Mittel zu bemessen wären.

Wäre das Volumen eines eisernen Balkens (aus Querschnitt und Länge bestimmbar) 20000 Kubikzentimeter, so wäre sein absolutes Gewicht 7,2 × 20 = 144 Kilogramm, indem eine Wassermasse von demselben Volumen 20 Kilogramme wiegt. (1000 Kubikmeter wiegen 1 Kilogramm.)

Auch ließe sich mit Benutzung des obigen Ausdruckes sehr leicht der Rauminhalt irgend eines Gefäßes finden, wenn die unregelmäßige Form eine geometrische Bestimmung nicht leicht gestattete. Man braucht blos die Anzahl von Pfunden, um welche es beim Füllen mit Wasser schwerer wird, durch das Gewicht von 1 Kubikfuß Wasser zu dividiren; der Quotient gibt die Anzahl der Kubikfuße des Inhaltes an.

Ist der Rauminhalt irgend eines festen Körpers, dessen absolutes und spezifisches Gewicht man kennt, zu bestimmen, so würde man auf folgende Weise schließen:

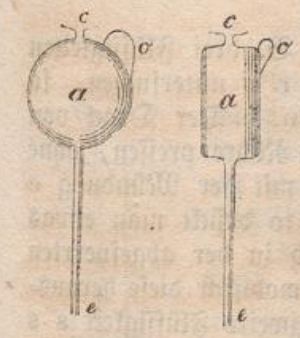
Wiegt ein Körper (z. B. aus Marmor) 112 Pfunde, ist das spezifische Gewicht desselben 2,8; so würde sein Volumen 2,8 mal größer sein, wenn er aus Wasser bestände. Es wiegt daher ein gleich großer Wasserkörper nur $\frac{112}{2,8} = 40$ Pfunde und das Volumen des Körpers beträgt so oft 1 Kubikfuß, wie oft das Gewicht von 1 Kubikfuß Wasser in 40 Pfunden enthalten ist; hier also ist das Volumen des Körpers $\frac{40}{60} = \frac{2}{3}$ Kubikfuß.

Fünfter Abschnitt.

Benutzung des Atmosphärendruckes.

Obwohl wir schon mehrfach Gelegenheit gehabt haben, den von der Atmosphöre ausgeübten Druck an Geräthschaften kennen zu lernen, so wird es doch nicht unangemessen sein, in einem besonderen Abschnitte alles das zusammen zu fassen, was noch hierher gehört, zumal wir neben Gegenständen, welche durch das Auffallende ihrer Leistungen angenehm unterhalten, auch noch Vorrichtungen anzuführen haben, welche für das praktische Leben von der größten Wichtigkeit sind.

Der Stechheber.



(Fig. 126.)

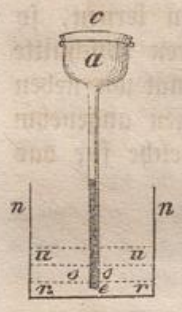
Ein Gefäß a (Fig. 126) von Glas oder Metallblech und beliebiger Form hat an der einen Seite eine etwa 2 Fuß oder längere dünne Röhre, an der entgegengesetzten verengt es sich so, daß man an die Oeffnung c den Mund bequem anlegen und sie mit dem Daumen schließen kann, wenn man das Gefäß am Henkel o hält.

Diese Vorrichtung heißt Stechheber, weil man mit der Röhre durch die enge Oeffnung (Spundöffnung) eines Gefäßes in die darin befindliche Flüssigkeit sticht und einen Theil derselben heraus heben kann. Legt man nämlich, während die Mündung e der Röhre von der Flüssigkeit bedeckt ist, den Mund auf c, und saugt man ferner Luft aus a; so steigt die Flüssigkeit von e aus nach a, und man kann es durch fortgesetztes Saugen dahin bringen, daß das ganze Gefäß mit Flüssigkeit erfüllt ist. Die Flüssigkeit dringt in das Gefäß, weil der Druck der durch das Saugen verdünnten Luft im Gefäße geringer ist, als der äußere von der Atmosphäre auf den Spiegel der Flüssigkeit im Gefäße ausgeübte, welcher sich ungeschwächt bis e fortpflanzt und von da an aufwärts wirkt.

Ist das Gefäß gefüllt und verschließt man c sofort mit dem Finger, so kann man die ganze Flüssigkeit aus dem Gefäße heben, weil, wenn e den inneren Spiegel verlassen hat, die Atmosphäre unmittelbar auf e drückt und das Herausfließen verhindert. Hat das ganze Gefäß mit dem Rohre einen bestimmten Rauminhalt, z. B. ein Quart, so weiß man gleichzeitig, wie viel man aus dem Fasse gehoben hat und kann auch gleich in entsprechende Gefäße überfüllen. Hält man nämlich e in die Mündung einer Flasche und nimmt dann den Finger von c fort, so folgt die Flüssigkeit ihrer Schwere und fließt ganz aus,

weil jetzt die Atmosphäre auf e und c fast gleich stark drückt, da e wenig unter c liegt und das Gewicht der Luftsäule von der Höhe c e nur ein sehr kleiner Theil von dem der Flüssigkeitssäule ist.

Die Pipette.



(Fig. 127.)

Die Pipette besteht aus einem oben mit einer dünnen Kautschukplatte c (Fig. 127) verbundenen Glasgefäße a, von etwa 1½ bis 2 Zoll Durchmesser und hat auf der entgegengesetzten Seite auch eine etwa 8 bis 10 Zoll lange dünne Röhre. Durch sie bezweckt man, Flüssigkeiten, welche von anderen überlagert werden, aus einem Gefäße zu heben, ohne daß man von den höher liegenden etwas herausbringt oder sie abgießt, was sich meistens nicht durchführen läßt, ohne sie alle unter einander zu bringen.

Wenn in dem Gefäße n n z. B. drei Flüssigkeiten sich abgesetzt haben und wir wollen die unterste r r untersuchen, so stecken wir die Pipette zunächst in die oberste u u. Der Druck von ihrem Niveau an wird etwas von ihr in die Röhre pressen, ohne daß die innere das Niveau erreicht. Ist man mit der Mündung e an die Gränze der nächsten Schicht gelangt, so drückt man etwas auf die Kautschukplatte, der Druck pflanzt sich in der abgesperrten Luft bis auf die Flüssigkeit im Röhrchen fort, wodurch diese herausgeht und man die jetzt leere Pipette in die zweite Flüssigkeit s s stecken kann. Auch von dieser dringt etwas ein und dies wird ebenso herausgebracht. Ist man in die dritte Flüssigkeit gelangt, so muß man mit dem bis jetzt auf c ausgeübten Drucke nachlassen und sofort steigt von dieser Flüssigkeit um so mehr ins Rohr, je größer der zuletzt ausgeübte Druck war; denn nach dem Aufhören des Druckes kann sich die innere Luft wieder ausdehnen, wodurch sie dünner wird und nicht mehr so sehr auf die Flüssigkeit im Rohre drückt, und der äußere Luftdruck, so wie der Druck der Flüssigkeiten bewirken das Steigen. Will man die herausgehobene Flüssigkeit untersuchen, so übt man auf die Kautschukplatte einen Druck aus und sie fließt heraus.

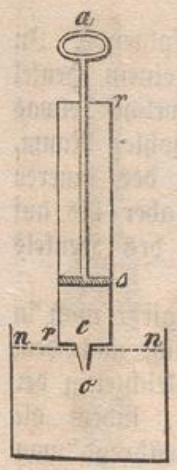

(Fig. 128.)

Wenn man behufs genauer chemischer Untersuchungen ganz bestimmte Mengen von Flüssigkeiten braucht, so hat man Pipetten mit bestimmter Maßeintheilung. Sie sind entweder Vollpipetten oder Theilpipetten (Fig. 128). Bei jenen erweitert sich die unten spitz auslaufende Röhre zu einem birn- oder kugelförmigen Gefäße, an welches sich oben eine Saugröhre mit einer eingeschnittenen Marke be-

findet, bis zu welcher das Instrument gefüllt sein muß, um ein gewisses Maß von Flüssigkeit zu haben; diese sind nur zylindrische, überall gleich weite, und eingetheilte Röhren mit einer engeren Ausflußöffnung. Die Vollpipetten enthalten bis zur Marke einen Inhalt, welcher durch eine bequeme Zahl angegeben wird, z. B. 100 50, 25, 10 Kubikzentimeter; die Theilpipette hat man von etwa 20 bis zu 1 Kubikzentimeter und hat für den letzten Inhalt bei $^3/_4$ Länge des Instrumentes die Theilung bis auf 0,01 Kubikzentimeter (= 1000 Milligramm) fortgesetzt, so daß man leicht nach 10 Milligramm abmessen kann.

Beim Gebrauche saugt man die Flüssigkeit bis etwas über den obersten Punkt, den Nullpunkt, verschließt die obere Oeffnung mit dem Zeigefinger und läßt dann vorsichtig bis zum Nullpunkte ablaufen. Bei den Theilpipetten kann man dann jede beliebige Menge Flüssigkeit erhalten.

Die Handspritze.



(Fig. 129.)

In eine zylinderförmige Röhre r r (Fig. 129), an welche sich eine engere Ausflußröhre c o schließt, paßt ein Stempel s oder Kolben, der sich mittelst einer Stange mit einem Handgriff a ohne Schwierigkeit, aber dicht anschließend, bewegen läßt.

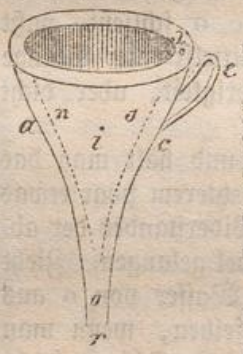
Ist der Stempel s am Boden c und hält man das Rohr o c ins Wasser, so wird von letzterem zwar etwas eindringen, aber es kann wegen des Widerstandes der abgesperrten Luft nicht bis an den Stempel gelangen. Zieht man letzteren aufwärts, so folgt das Wasser von o aus in die Röhre und bleibt auch in derselben, wenn man sie aus dem Wasser zieht, was nach dem Obigen leicht erklärlich ist. Dreht man nun die Spritze um, so geht die wenige Luft nach oben an die Spritzröhre; stößt man dann den Stempel hinein, so entweicht zuerst die Luft und dann das Wasser in einem um so weiter gehenden Strahle, je stärker man bei derselben Ausflußröhre drückt oder je enger das Ausflußrohr bei derselben Gestalt und demselben Drucke ist; nur darf es nicht so enge sein, daß die Haarröhrchenanziehung (Kapillarattraktion) zur Wirkung gelangt.

In Beziehung auf die Entfernung, bis zu welcher der Strahl geht, welche von der Geschwindigkeit an der Mündung abhängt, gilt das Gesetz von der Erhaltung der lebendigen Kraft. Die eine Kraft ist die auf den Stempel ausgeübte Druckkraft, die andere wird durch die Menge des in einer Zeiteinheit ausfließenden Wassers angegeben. Diese Menge aber ist abhängig von der Größe des Querschnittes der Mündung und der Geschwindigkeit des durch sie strömenden Wassers; je weiter die

Mündung ist, desto langsamer strömt es aus, und wenn die Mündung die Weite des Zylinders hätte, so würde diese Geschwindigkeit gleich der des Kolbens sein. Immer ist für eine bestimmte Druckkraft das Produkt aus dem Querschnitte der Mündung (in welcher gleichzeitig eine bestimmte Menge von Wassertheilchen einer bestimmten Größe Platz findet) und der Geschwindigkeit des durch sie gelangenden Wassers eine bestimmte Größe. Ueber den Einfluß, welchen die Form der Ausflußröhre hat, werden wir noch bei einer anderen Gelegenheit im Zusammenhange mit ähnlichen Erscheinungen das Nöthige anführen.

Der Zaubertrichter.

Es mag für Denjenigen, welcher mit der Einrichtung des Apparates und der Natur der Sache nicht vertraut ist, allerdings etwas Ueberraschendes und allenfalls auch Zauberhaftes haben, wenn man sieht, wie es Jemand in seiner Gewalt hat, einen Trichter, aus welchem augenscheinlich alle Flüssigkeit herabgeflossen ist, noch wiederholt auf Befehl fließen zu machen.



(Fig. 130.)

Die Einrichtung ist höchst einfach folgende. In einem Trichter a r c (Fig. 130) mit einem Henkel e befindet sich ein zweiter n o s, welcher etwas kürzer ist. Zwischen beiden ist ein hohler Raum, der unten bei o mit dem Raume i des inneren Trichters in Verbindung steht, oben aber bis auf eine kleine Oeffnung x in der Nähe des Henkels abgesperrt ist.

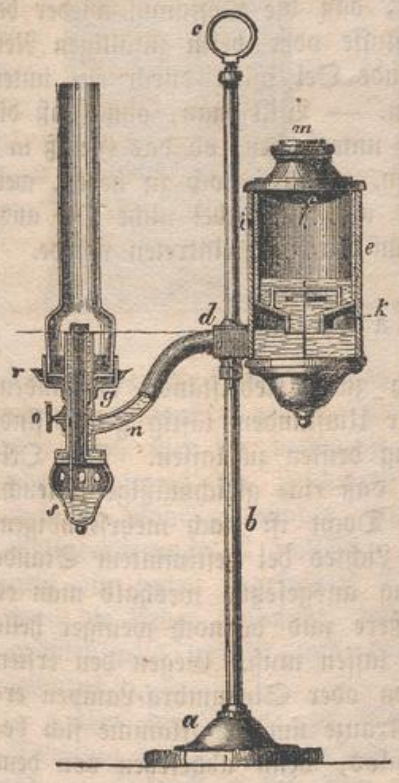
Hält man die Oeffnung r zu und gießt man in den inneren Trichter Wasser, so füllt sich, nach dem Gesetze der kommunizirenden Gefäße, gleichzeitig der Zwischenraum bis zu derselben Höhe, indem die Luft aus ihm durch x entweicht. Verschließt man nun, während man den Trichter am Henkel hält, die Oeffnung x unbemerkt mit dem Daumen und öffnet man bei r, so fließt alles Wasser aus dem inneren Trichter, aber das im Zwischenraume wird durch den von o aus wirkenden Atmosphärendruck zurückgehalten. Lüftet man x, was geschehen kann, ohne daß es von Anderen wahrgenommen wird, so fließt wieder Wasser aus, schließt man x, so hört der Abfluß auf. Wenn man mit dem Abfließenlassen sparsam ist, so kann die Unterbrechung des Fließens öfters wiederholt werden.

Schiebelampen mit Niveauhalter.

Soll ein Licht eine gleichmäßige Helligkeit zeigen, so müssen der Flamme die Brennstoffe, also die atmosphärische Luft und z. B. Oel, rechtzeitig und gleichmäßig zugeführt werden. Ragt ein Docht über die

Oelfläche in einem Gefäße hervor, so wird sich das Oel zufolge der Haarröhrchenanziehung im Dochte emporziehen und man kann dasselbe anbrennen. Wird der Spiegel des Oels durch das Verbrennen tiefer und ragt das festgehaltene Docht dann weiter hervor, als daß das Oel in so großer Menge emporsteigen könnte, als in einer gewissen Zeit früher verbrannte; so wird ein Theil des Dochtes verbrennen, d. h. das Docht wird sich verkohlen, wodurch es die Kapillarkraft verliert, indem die feinen inneren Kanäle verstopft werden. Die Flamme wird trübe und es entwickelt sich Rauch statt Licht. Man hat demnach das Docht in Schwimmern angebracht, wie bei den Nachtlampen, damit es gleichmäßig mit dem Verbrauche des Oels sinke.

Für größere Flammen wäre eine ähnliche Einrichtung unbequem und man könnte dabei nicht für hinreichenden Zufluß von Luft sorgen. Die Schiebelampen sorgen für die Erhaltung des Oelniveaus im Brenner und für gute Luftströmung.



(Fig. 131.)

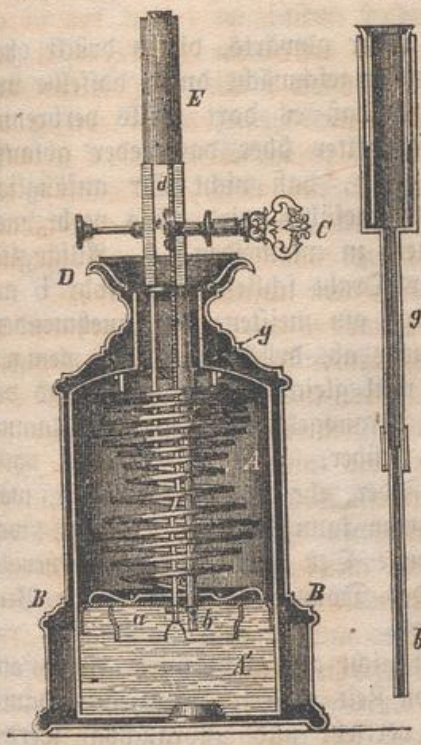
In Fig. 131 ist a ein mit Metall ausgegossener Fuß, in ihn ist ein massiver Metallstab b c geschraubt, welcher oben einen abzuschraubenden Ring c zum Tragen enthält; an dem Stabe ist mittelst einer verschiebbaren Hülse oder Nuß d die eigentliche Lampe angebracht, die sich mittelst einer durch die Hülse gehenden Schraube an den Ständer b c festschrauben läßt. Diese Hülse ist übrigens hohl und steht auf der einen Seite durch die Röhre n mit dem Brenner, auf der anderen mit dem Oelkasten in Verbindung. Der ringförmige, durch zwei unten verbundene Zylinder gebildete Oelraum des Brenners enthält das in ihm verschiebbare Docht; der Oelkasten e hat oben an der Seite bei i eine kleine Oeffnung und in ihn paßt ziemlich lose das Oelgefäß m t, dessen untere kleine Oeffnung durch ein nach innen sich öffnendes und loses Scheiben- oder Kugelventil geschlossen werden kann. An diesem Ventile, welches innen durch eine Querleiste in einem beschränkten Spielraume erhalten wird, ist ein bis nach außen gehender Metalldraht, durch welchen man es bis an die Oeffnung ziehen kann und welcher so lang ist, daß das Oelgefäß unten geöffnet wird, wenn man es in den Kasten steckt, weil der Draht dann noch hervorragt, wenn auch das Ventil am tiefsten in ihm steckt.

Ist das herausgenommene Oelgefäß gefüllt worden, so zieht man das Ventil mittelst des Drahtes an die Oeffnung und stürzt es umgekehrt in den Oelkasten Sofort wird das Ventil zurückgestoßen, indem der Draht auf den Boden trifft, das Oel fließt aus, erfüllt den untersten Raum des Kastens, von wo aus es durch die Röhre n in den Brenner geht und steht dann nach dem Gesetze der kommunizirenden Röhren im Brenner und Kasten gleich hoch, wenn es im letzteren die Mündung bedeckt, denn das noch im Oelgefäße befindliche Oel wird durch den Druck der Atmosphäre gehindert auszufließen. Die Höhe des Brenners muß so bemessen werden, daß es, wenn die Lampe gerade steht, niemals über ihn weglauft, sondern etwas tiefer bleibt und nur durch die Haarröhrchenanziehung des Dochtes zur Flamme steigt. Ist durch das Brennen nach und nach Oel im Kasten verzehrt worden, so wird die Oeffnung des Oelgefäßes bloß gelegt und es dringt durch den bequemen Zugang von i aus etwas Luft ein, welche über das Oe steigt, so daß von ihm so viel ausfließt, daß die Oeffnung wieder bedeckt ist. — Das beim zu reichlichen Zuflusse oder beim zufälligen Neigen der Lampe am Brenner überströmende Oel wird durch ein unten angebrachtes Sammelgefäß s aufgefangen. — Will man, ohne daß die Flamme schon matt zu brennen anfängt, untersuchen, ob das Gefäß m f noch Oel enthält, so muß man sich hüten, es allzu hoch zu heben, weil das Ventil wohl selten so gut schließt, als daß dabei nicht Oel ausfließen sollte, wodurch ein Ueberfließen am Brenner eintreten würde.

Moderateurlampen.

Bei den Schiebelampen sind noch zwei Uebelstände vorhanden, welche zwar nicht bedeutend, aber unter Umständen lästig genug sind, um nicht auf Mittel zu ihrer Beseitigung denken zu lassen. Der Oelkasten wirft nämlich einen Schatten, so daß eine gleichmäßige Erleuchtung ringsum nicht stattfindet und das Docht ist nach mehrstündigem Gebrauche doch einer die Helligkeit des Lichtes bei bestimmtem Stande des Dochtes beeinträchtigenden Verkohlung ausgesetzt, weshalb man es mehr heraufschrauben und sich eine größere und dennoch weniger helle Flamme mit mehr Oelverbrauch gefallen lassen muß. Gegen den ersten Uebelstand hat man wohl die schattenlosen oder Sineumbra-Lampen erfunden, bei welchen das Oel in einem Kranze um die Flamme sich befindet; aber sie sind auch nicht schattenlos, denn abgesehen von dem Schatten des Rohres, welches das Oel in den Brenner führt und eines ihm gegenüberstehenden Halters, wirft der Kranz doch auch einen Schatten, wenn auch in größerer Entfernung; und der Uebelstand des Verkohlens des Dochtes ist geblieben, so daß man dasselbe, wie bei der Schiebelampe, nach jedem Gebrauche verkürzen und den Brenner reinigen muß.

Beides vermeidet die Moderateurlampe, welche also keinen Schatten wirft, das Docht nicht verkohlen läßt und daher auch reinlicher und sparsamer bei derselben und sich gleichbleibenden Lichtstärke brennt.



(Fig. 132)

Fig. 132 gibt den Durchschnitt einer solchen Lampe an. A A ist ein Oelbehälter, welcher nach oben sich verengt und am Ende bei D sich etwas trichterförmig erweitert, um dort das Oel bequem eingießen zu können. Die äußere Umgebung desselben bildet ein Mantel von beliebiger Gestalt und aus beliebigem Stoffe. In dem Oelbehälter befindet sich eine ziemlich starke Lederscheibe a von etwas größerem Durchmesser, so daß ihr Rand ringsum nach unten gebogen ist, wodurch sie die Gestalt einer Kappe bekommt, die sich an die Innenwand des Oelbehälters anpreßt. Zwischen ihr und der Decke des letzteren ist eine ziemlich starke Spiralfeder eingeklemmt. Von der oberen Fläche der Lederscheibe geht eine Metallstange c d aus, die oben gezahnt ist und durch ein kleines Getriebe bei e mittelst des Schraubenkopfes C auf- und abwärts bewegt werden kann, so daß dadurch die Feder zusammengedrückt wird oder auseinander geht. Durch die Lederscheibe und an sie befestigt, also auch mit ihr beweglich, geht ein hohles Rohr b, welches nach oben, wie es die Zeichnung seitwärts deutlich angibt, in ein etwas weiteres Rohr g mündet, um welches sich der gewöhnliche Argandsche Zylinderbrenner E schließt. Von der Dochthülse des Brenners aus geht ein unten zugespitzter Draht mitten durch g, so daß er, wenn man die Feder anspannt, wodurch sich b in das g schiebt, das Rohr b größtentheils erfüllt und dem Oele nur einen sehr mäßigen Zufluß gestattet.

Um die Lampe zu füllen, spannt man die Feder mittelst der Drehung des C ab, so daß die Lederscheibe unten ist, gießt Oel nach D ein, so daß es sich über der Scheibe ansammelt; dann schraubt man bei C so, daß die Lederscheibe aufwärts geht, wodurch sich unter ihr ein luftverdünnter Raum bildet. Von oben drückt die Atmosphäre also mehr, als die Luft von unten, dadurch wird der Rand der Lederscheibe herabgedrückt und das Oel lauft unter sie, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist und das Leder sich wieder an die Wand des Oelbehälters

anschließt. Nun kann man aufsneue eingießen und das Verfahren wiederholen, bis der Behälter größtentheils erfüllt ist. Ist dies geschehen, so ist die Feder angespannt, b steckt ganz in g und der Draht ganz in b.

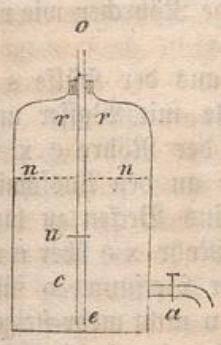
Der Druck der Feder preßt das Leder abwärts, dieses drückt oben auf das Oel, dieser Druck pflanzt sich ungeschwächt durch dasselbe und das Rohr b bis zum Brenner fort, so daß es dort theils verbrennt, theils über und durch D in den Oelbehälter über das Leder ablauft. Es muß die Einrichtung so getroffen sein, daß nicht nur anfänglich, sondern fortwährend etwas mehr Oel zugeführt wird, als verbrennen kann, um das Verkohlen des Dochtes zu vermeiden. — Anfänglich drückt die Feder am stärksten, aber der Draht schließt das Rohr b am meisten und hemmt also auch den Zufluß am meisten; mit zunehmendem Oelverbrauche spannt sich die Feder mehr ab, drückt also auch weniger, aber der Zufluß ist mehr erleichtert, weil gleichzeitig b herab und der Draht mehr und und mehr aus ihm herausgeht, so daß die Flamme immer noch so viel Oel bekommt, als früher.

Es ist angemessen, daß man die Feder, ehe sie abgespannt ist, was man durch die Beobachtung leicht erkennen kann, wieder aufzieht, wodurch das über dem Leder angesammelte Oel zum Gebrauche herabkommt und ein vorzeitiges Verkohlen des Dochtes, also auch eine Verminderung der Helligkeit vermieden wird.

Auch wenn die Lampe einige Zeit nicht gebraucht wird, ist es angemessen, ihr Oel zu geben und sie von Zeit zu Zeit aufzuziehen, damit das Docht durch stehendes Oel nicht verklebt und unbrauchbar werde, denn es verliert dadurch seine Kapillaranziehung und verkohlt sehr bald. — Daß man Unreinigkeiten, die sich übrigens bei guter Behandlung der Lampe selten finden, nicht darf ins Oel kommen lassen, versteht sich wohl von selbst, weil durch sie das Röhrchen b verstopft werden würde, wenn sie nicht etwa sich ganz untenhin absetzen, wohin es mit seiner Mündung nicht kommt.

Mariottes Gefäß.

Da der Druck einer Flüssigkeit auf eine Stelle der Seitenwand von bestimmter Größe mit wachsender Tiefe unter dem Niveau zunimmt, so muß diese Flüssigkeit aus einer tiefer gelegenen Oeffnung schneller ausströmen, als aus einer höher liegenden und, wenn man sie nur aus einer strömen läßt, ohne eine Erneuerung der Flüssigkeit vorzunehmen, so muß die Ausflußgeschwindigkeit, also auch die Menge der ausfließenden Flüssigkeit abnehmen. Mariotte aber hat eine einfache Vorrichtung angegeben, durch welche man ohne neuen Zufluß einen Strahl von gleichbleibender Stärke während einiger Zeit erhält.

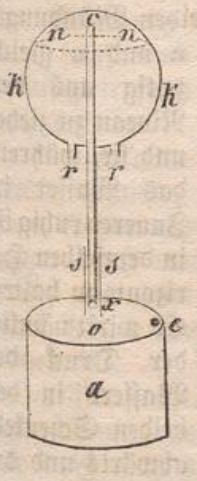


(Fig. 133.)

In einem Gefäß (Fig. 133), welches in der Nähe des Bodens eine abzusperrende Ausflußröhre a hat, geht luftdicht durch den Hals eine verschiebbare und an beiden Enden offene Röhre o e. Ist das Gefäß etwa bis n n mit Wasser gefüllt, die Röhre mit ihrer unteren Oeffnung e noch unterhalb der geschlossenen Ausflußöffnung; so steht das Wasser in der Röhre so hoch, als im Gefäße. Oeffnet man a, so fällt das Wasser in der Röhre rasch bis c, welches mit der Ausflußöffnung in demselben Horizonte liegt und das Ausfließen hört bald auf, wenn durch a Luftblasen ins Gefäß nicht steigen, weil der freie Atmosphärendruck bei a und c dem Drucke der Wassersäule im Gefäße von c an und der darüber befindlichen durch den Abfluß des Wassers verdünnten Luft das Gleichgewicht hält.

Zieht man nun die Röhre aufwärts, so daß ihre untere Mündung etwa bei u ist, so beginnt der Ausflnß bei a wieder und zwar so stark, als ob im Gefäße das Wasser nur bis u reichte und es treten dabei fortwährend von u aus Luftblasen durch das Wasser nach r. Jetzt hält nämlich der von o aus durch die Röhre auf das Wasser bei u wirkende und von da fortgepflanzte Atmospärendruck das Gleichgewicht dem Drucke der Wassersäule über u und der in r r befindlichen Luft, deren Spannkraft beim Sinken des Wasserspiegels durch das Hereindringen der Luftblasen stets um so viel vermehrt wird, als das Wasser an Druckkraft verliert, so daß stets nur die Wassersäule u c die Stärke des Ausflusses bestimmt.

Der sich unterbrechende Brunnen.



(Fig. 134.)

Es ist eine für den mit dem Gegenstande nicht bekannten Beschauer allerdings überraschende Erscheinung, wenn aus den vom Boden eines Gefäßes ausgehenden Röhren die darin enthaltene Flüssigkeit mit wiederholten Unterbrechungen zeitweise ausfließt.

Fig. 134 stellt einen solchen intermittirenden Brunnen dar. a ist ein Gefäß, welches oben beckenförmig ausgetieft ist, am Rande eine kleine Oeffnung e und eine andere o in der Mitte hat. Ueber der letzteren ist ein kurzes Rohr s s aufgesetzt, welches unten an einer Stelle sich an das Becken nicht anschließt, sondern eine kleine Oeffnung läßt. Außerdem ist ein zweites Gefäß k k von beliebiger Form nothwendig, durch welches bis in die Nähe des Bodens ein offenes engeres Rohr x c geht, welches am Ende x einen

kleinen Ausschnitt hat und von dessen Decke einige enge Röhrchen wie r r ausgehen.

Man füllt das Gefäß k k, nachdem man es aus der Hülse s s gehoben, mittelst der Röhre x c zum größten Theile mit Wasser und steckt es umgekehrt, wie es die Zeichnung zeigt, mit der Röhre c x in die Hülse s s, wobei man den Ausschnitt der Röhre an den Ausschnitt der Hülse bringt. Sofort beginnt Wasser aus r r ins Becken zu laufen und von x aus steigt anfänglich Luft durch das Rohr x c über n n. Sowie aber durch das herabgeflossene Wasser die zur Oeffnung o führenden Röhrenausschnitte bedeckt sind und Luft über n n nicht mehr steigen kann, hört der Ausfluß auf. Nach und nach fließt aber durch die kleine Oeffnung o doch so viel in das Gefäß a, aus welchem die Luft durch e entweicht, daß wieder Luft durch x c steigen kann, und ist dies geschehen, so beginnt der Ausfluß wieder u. s. f., wie lange noch Wasser in k k ist.

Der Schenkelheber.

Es ist häufig erwünscht, Flüssigkeiten, welche sich in einem Gefäße mit enger Oeffnung (die Spundöffnung einer Tonne) befinden, ohne sie auszugießen, in ein anderes tiefer liegendes Gefäß von beliebiger Gestalt überzuführen, z. B. Spiritus, welcher auf dem Straßenpflaster lagert, in einen Keller abzulassen. Zu diesem und zu ähnlichen Zwecken dient der Würtembergische oder Schenkelheber.



(Fig. 135.)

Wenn man eine gebogene Glasröhre a b c (Fig. 135) mit gleich langen Schenkeln dadurch mit Wasser füllt, daß man sie in einem Gefäße mit Wasser untertaucht, sie dann im Wasser in die Lage der Zeichnung bringt und nun langsam emporzieht; so bleibt das Wasser in beiden Schenkeln, selbst wenn man die Röhre über dem Wasser hält, wenn es nur gelingt, die beiden Mündungen a und c gleichzeitig aus dem Niveau zu ziehen und sie, während das Wasser im Inneren ruhig ist, in demselben Horizonte zu halten. Es wirkt nämlich der Druck des Wassers in den beiden Schenkeln abwärts und der Atmosphären-

druck aufwärts. Der letztere ist so lange größer, als jede der Wassersäulen noch nicht die dem Drucke der Atmosphäre entsprechende Höhe erreicht.

Ist die eine der beiden Röhren länger, z. B um das Stück cd (2) und sind sie beide gefüllt, so ist ein Gleichgewicht der Kräfte nicht vorhanden; denn bei d ist der nach unten gerichtete Wasserdruck größer als bei a; aber auch der nach oben gerichtete Luftdruck bei d ist größer als der bei a, weil d in der Atmosphäre tiefer liegt, als a. Indeß ist der Luftdruck bei d um weniger größer, als der Wasserdruck, weil die Luftsäule von der Höhe cd leichter ist, als die Wassersäule von derselben Höhe und mit derselben Grundfläche d.

Aus dem Angeführten folgt, daß das Wasser bei d ausfließen muß. Aber weder bei c, noch darüber bis znm höchsten Punkte der Krümmung entsteht ein leerer Raum, weil der bei a wirksame Atmosphärendruck das Wasser in diesem Schenkel hinauf bis zum höchsten Punkte der Krümmung drückt, worauf es dem Zuge des in bd herabfallenden folgt. —

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß im luftleeren Raume der Schenkelheber nicht fließt oder ein fließender bei der fortschreitenden Luftverdünnung um so eher aufhört, je höher b über a liegt.

Will man nun durch den Schenkelheber ein Gefäß theilweise oder ganz leeren, so steckt man, wie es Fig. 3 zeigt, den kürzeren Schenkel in die Flüssigkeit, die in ihm bis zum Niveau steigt, und saugt bei d Luft aus. Dadurch wird die abgesperrte Luft verdünnt, ihre Druckkraft auf die Flüssigkeit im Rohre vermindert und diese muß dem größeren auf das Niveau wirkenden und durch die Flüssigkeit fortgepflanzten Drucke folgen, steigt also im kürzeren Schenkel um so mehr, je mehr Luft ausgesaugt worden ist und ist sie im längeren Schenkel bis unter das Niveau der Flüssigkeit im Gefäße gelangt, welches jetzt als die Lage der Mündung des kürzeren Schenkels anzusehen ist; so fließt sie weiter von selbst und so lange aus, als der kürzere Schenkel noch in der Flüssigkeit steckt und die Mündung des äußeren noch unter deren Niveau sich befindet.

Hat man die Flüssigkeit auch nur bis c (Fig. 2) oder bis in dessen Nähe gesaugt, so kommt der Heber schon in den Gang, weil sie nach dem Beharrungsgesetze dort nicht stehen bleibt, sondern darüber hinausgeht. Hat man die Flüssigkeit aber weniger weit, z. B. nur bis e gesaugt und hört man zu saugen auf; so geht sie von e aus aufwärts über b ins Gefäß zurück, weil jetzt ba als der längere Schenkel anzusehen ist.

Die lothrechte Entfernung des höchsten Punktes des Hebers über dem Niveau der Flüssigkeit richtet sich nach ihrem spezifischen Gewichte: sie darf nicht die Höhe übersteigen, ja nicht einmal erreichen, welche von der betreffenden Flüssigkeit dem Drucke der Atmosphäre gleich ist, also

bei Wasser etwa 32 Fuß, bei Quecksilber 28 Zolle. Durch Heber kann man also Wasser nicht über bedeutende Anhöhen bringen. Da in den Flüssigkeiten stets etwas Luft enthalten ist, so wird sie die Höhe etwas vermindern und kann sich bei längerem Fließen des Hebers oben so ansammeln, daß er endlich zu fließen aufhört. Man muß ihn dann von neuem füllen.

Die Menge des durch einen bestimmten Heber ausfließenden Wassers wird um so größer sein, je tiefer die Mündung des langen Schenkels unter dem Niveau liegt. Hat der Heber eine feste Lage im Gefäße, so nimmt mit fallendem Niveau die Ausflußgeschwindigkeit, also auch die Ausflußmenge ab. Will man, daß immerfort dieselbe Menge abfließt, so muß man den kürzeren Schenkel durch einen schwimmenden Körper stecken, welcher den ganzen Heber trägt, so daß mit sinkendem Niveau auch die Mündung des längeren Schenkels um gleich viel sinkt.

Da das Saugen an der Mündung des langen Rohres theils unbequem, theils nachtheilig werden kann, wie z. B. bei Schwefelsäure; so wendet man ein gegen das Ende des langen Schenkels angesetztes und nach oben gerichtetes Saugrohr an, welches zu noch besserer Sicherung eine kugelförmige Erweiterung hat, wie es Fig. 4 zeigt. Nachdem der kürzere Schenkel in die Flüssigkeit gesteckt worden, verschließt man die Mündung des längeren irgendwie und saugt am Ende des Seitenrohres, bis die Flüssigkeit, was man leicht hört, bei Glasröhren sieht und an dem Luftzuge des Saugrohres wahrnimmt, unten am langen Schenkel anschlägt; dann öffnet man den letzteren. Solche Heber nennt man auch Giftheber.

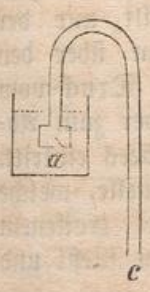
Das Füllen des Hebers kann noch auf verschiedene Weise geschehen. Will man z. B. heißes Wasser aus einem Kessel in eine benachbarte Badewanne bringen, ohne es auszuschöpfen, so steckt man in das lange Rohr an einem Stäbchen einen mit Werg umwundenen und mit etwas Oel getränkten gut passenden Kork bis an die Biegung und zieht ihn heraus, während die Mündung des kurzen Rohrs im heißen Wasser steckt.

Man kann den Heber auch, ihn mit den Oeffnungen nach oben in einer horizontalen Ebene haltend, füllen, die beiden Mündungen abschließen und nicht eher öffnen, als bis die des kürzeren Schenkels in der Flüssigkeit steckt und die des längeren unterhalb ihres Niveaus liegt.

Sind beide nach unten gerichtete Oeffnungen geschlossen und hat man eine verschließbare Oeffnung oben an der Krümmung, so kann durch sie der Heber gefüllt werden. Ist dieses geschehen, so verschließt man diese Oeffnung und verfährt dann nach dem Obigen.

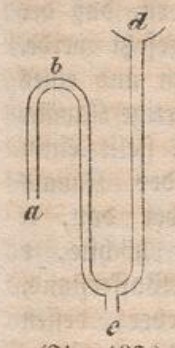
Eine sinnreiche Methode, den Heber in den Gang zu bringen, besteht darin, daß man den längeren Schenkel in der Nähe der Krümmung zu einer Kugel aufbläst oder eine Erweiterung anbringt, diesen Schenkel und die Kugel mit der betreffenden Flüssigkeit anfüllt und

dann den Heber umkehrt, indem man den kürzeren Schenkel in die abzulassende Flüssigkeit bringt.



(Fig. 136.)

Ist am kürzeren Schenkel a in einer Erweiterung desselben (Fig. 136) ein nach innen sich leicht öffnendes Klappenventil angebracht und bringt man diesen Schenkel in Flüssigkeit, so wird er schon dadurch etwas mit Flüssigkeit erfüllt. Wenn man nun den Heber in einzelnen Stößen abwärts bewegt, so gelangt bei jedem Stoße von der Flüssigkeit etwas durch das Ventil in den kürzeren Schenkel, weil das Zurückfließen verhindert ist. Dadurch kann man es auch so weit bringen, daß der Heber endlich fließt, wobei aber vorausgesetzt wird, daß die Strömung das Ventil stets offen erhält. Dieser Ventilheber hat den Vorzug, daß die Flüssigkeit, wenn sie einen trüben Bodensatz hat, beim Herausziehen desselben nicht umgerührt wird, weil ein Zurückfließen aus dem Heber wegen Schließung des Ventils nicht stattfindet.



(Fig. 137.)

Eine ganz bequeme Methode, den Heber abc (Fig. 137) zu füllen und in den Gang zu bringen, besteht darin, daß man vom Ende c des längeren Schenkels, wo man eine Oeffnung oder eine kleine Röhre anbringt, noch eine Röhre cd aufwärts und etwas über den höchsten Punkt b des Hebers gehen läßt. Hält man c zu und gießt man von d aus von der betreffenden Flüssigkeit so viel ein, daß sie bis b gelangt ist; so wird der Heber, nachdem man a unter das Niveau der abzulassenden Flüssigkeit gebracht hat, bald zu fließen anfangen, denn die aus c kommende Flüssigkeit bewirkt in ba eine Luftverdünnung und diese ein Steigen der Flüssigkeit im Gefäße. Man kann diese Vorrichtung einen Doppelheber nennen.

Anwendungen des Schenkelhebers.

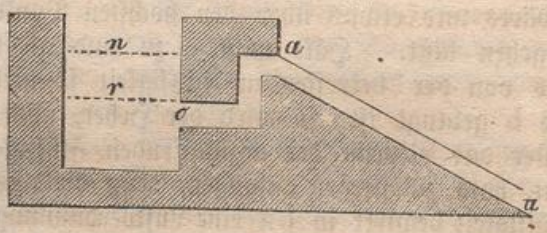
Es finden sich theils in der Natur Erscheinungen, welche sich nur aus der Theorie des Hebers erklären lassen, theils hat man Einrichtungen getroffen, um diese Theorie zum Nutzen oder zur Unterhaltung anzuwenden.

In der ersten Beziehung ist bemerkenswerth der Zirknitzer See, bei welchem es gestattet ist, in demselben Jahre Fischfang zu treiben und Mais anzubauen. Wenn er sich durch das Schmelzen des Schnees und den Zufluß der Gewässer bis zu einer gewissen Höhe erfüllt hat, lauft das sämmtliche Wasser ab, um in der trockneren Jahreszeit sich bebauen zu lassen. Dieses Ablaufen ist nur dadurch möglich, daß von seinem Boden aus, wenn auch in einiger Tiefe unter der Sohle, durch

Felsen ein heberartiger Kanal zunächst etwas aufwärts und dann abwärts in tiefer liegende hohle Räume geht. Ist der See noch nicht bis zum höchsten Punkte dieses versteckten Kanals gefüllt, so enthält nur der kürzere Schenkel desselben Wasser; sowie aber das Niveau über den höchsten Punkt gekommen ist, lauft das Wasser durch den Druck vom Niveau aus in den anderen Schenkel, wodurch er bis zu der zum Ablaufen nöthigen Tiefe gefüllt wird und das Entleeren des Sees eintritt.

Zu Green County in Virginien ist eine sehr starke Quelle, welche eine kleine Mühle treiben könnte, die in 24 Stunden bei trockenem Wetter 7 bis 8mal, bei nassem stündlich 20 bis 30 Minuten fließt und dann völlig verschwindet.

In Frankreich hat man Kanalheber angelegt. Nämlich der Kanal von Languedoc, welcher mittelst der Garonne zur Verbindung des Mittelländischen Meeres mit dem Atlantischen Oceane dient, würde durch die vielen kleinen von Gebirgshöhen kommenden Gewässer gegen das Frühjahr und bei heftigen Regengüssen der Gefahr der Ueberfluthung ausgesetzt sein, wenn man dagegen nicht Vorkehrungen getroffen hätte, welche es aber auch gleichzeitig verhindern, daß der Wasserstand unter das zur Schiffahrt nöthige Maß herabgesetzt werde. Die Vorrichtung muß also das Ueberschreiten eines höchsten und eines tiefsten Wasserstandes nicht gestatten und dazu dienen heberartige Kanäle.



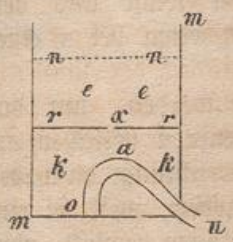
(Fig. 138.)

Fig. 138 stellt einen Querschnitt des Kanals mit dem Heber dar, n ist dabei der höchste, r der tiefste Wasserstand, oau der Heber, dessen höchster Theil a mit n und obere Oeffnung o mit r in demselben Horizonte liegt.

Steigt das Wasser im Kanale von r an, so füllt sich der kürzere Schenkel bis zu derselben Höhe; wenn es den Stand n erreicht hat, so erfüllt es den obersten Theil des Hebers ganz und es muß dann in dem längeren Schenkel wegen des von n ausgehenden und durch den Heber fortgesetzten Druckes herab- und ausfließen, bis von o aus Luft in den Heber gelangen kann, was geschieht, wenn der tiefste Stand soeben erreicht worden ist. — Noch ehe der oberste Theil des Hebers gefüllt ist, wird bei u schon etwas Wasser ausfließen und das wird selbst längere Zeit geschehen, wenn nämlich der Zufluß in den Kanal nicht größer ist, als der Abfluß; wenn aber ein schneller und bedeutenderer Zufluß eintritt, so fließt dann der Heber voll aus.

Es gibt manche Quellen und Brunnen, welche die Eigenthümlichkeit besitzen, daß sie nur mit Unterbrechungen Wasser geben; man nennt sie deshalb intermittirende Quellen, auch wohl Hunger-

brunnen. Man kann sich leicht eine Vorrichtung herstellen, welche dieses im Kleinen leistet.

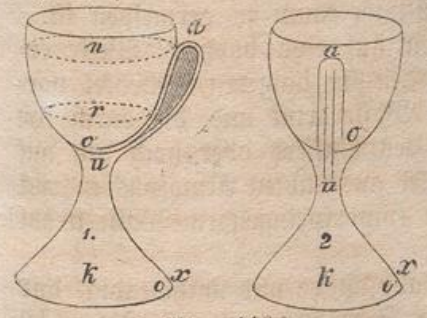


(Fig. 139.)

In Fig. 139 sei mm ein Gefäß mit zwei Abtheilungen ee und kk, in der Zwischenwand ist nur eine kleine Oeffnung x, in der unteren Abtheilung ist ein Schenkelheber oau, dessen kürzerer Schenkel in der Nähe ihres Bodens, dessen längerer aber außerhalb seine Oeffnung hat.

Hat nun die obere Abtheilung einen bedeutenden Wasserzufluß oder ist sie gefüllt, so kann es durch die kleine Oeffnung o nur allmählig in die untere gelangen und wird in derselben so lange bleiben, als der Wasserstand noch nicht den höchsten Punkt a des Schenkelhebers erreicht hat; ist letzteres aber geschehen und die Weite des Hebers größer, als die Weite der Oeffnung x, so wird das Wasser aus kk durch ihn bis zur Mündung von o abfließen, weil durch den geringeren Zufluß das Niveau von a nicht mehr erreicht wird. Nach dem Abflusse tritt eine Pause ein, bis Letzteres wieder geschehen ist. Wie die Speisung des unteren Behälters mit Wasser geschieht, ist gleichgiltig, und es läßt sich leicht denken, wie unter besonderen Umständen, namentlich in Gebirgen, die Natur selbst durch das Zusammenstürzen von Felsen dieser Darstellung entsprechende Höhlen und Kanäle gebildet hat.

Hebervorrichtungen dienen auch zur Unterhaltung, wie der Vexirbecher. Man gießt Jemandem in einen Becher nur etwas Wein und, da er mit dem Wenigen nicht zufrieden ist, gießt man ihm demselben voll. Wenn man ihm dann nach einigem Zögern den Becher zum Trinken reicht, so findet er ihn leer. Eine solche Einrichtung läßt sich leicht herstellen.



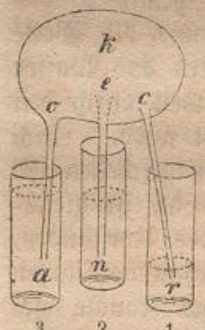
(Fig. 140.)

Der in Fig. 140 dargestellte Becher aus Metall hat einen hohlen Fuß k; von dem Boden des oberen Theiles, des eigentlichen Bechers, geht durch den Henkel oder Griff ein Schenkelheber oau, dessen längerer Schenkel bei u in den Fuß mündet; der oberste Punkt a des Henkels muß tiefer liegen, als das Niveau des gefüllten Bechers. Wie lange der Becher noch nicht bis zu dieser Höhe erfüllt ist, fließt auch der Heber noch nicht.

Es ist nicht nothwendig, daß der Heber aus zwei von einander getrennten Röhren besteht; es kann auch der längere Schenkel im kürzeren stecken, wie es Fig. 2 zeigt. Durch den Boden des oberen Becherraumes geht ein offenes Rohr, dessen untere Mündung u in dem Fuße

k ist; über dieses wird eine oben bei a geschlossene Röhre gesteckt, welche unten an einer Seite einen Ausschnitt o hat. Hierbei ist oa der kürzere und au der längere Schenkel. Der Ausfluß beginnt, wenn das Niveau den Punkt a übersteigt. Um die Flüssigkeit leicht aus dem Fuße des Bechers fortzuschaffen, hat derselbe unten etwa bei x einen zu öffnenden Verschluß.

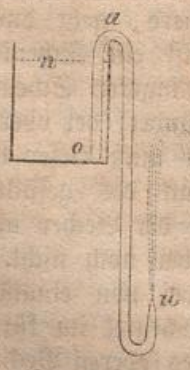
Der Schenkelheber kann ferner dazu verwendet werden, um das verschieden hohe Niveau in zwei oder mehren getrennten Gefäßen auf genau gleiche Höhe zu bringen. Man hat der Vorrichtung dazu den Namen Fraterna caritas, brüderliche Liebe, gegeben, weil sie eine gleiche Eintheilung einer Flüssigkeit unter mehren Personen bewirkt, ohne daß man die Theilung selbst vornimmt.



(Fig. 141.)

An einem kleinen Gefäße k (Fig. 141) von irgend einer Form befinden sich drei offene Röhren oa, en und cr, außerdem sind noch auf einem Tische drei Gläser, mit Wasser bis zu verschiedenen Höhen erfüllt, so aufgestellt, daß die drei Röhren einzeln in sie gebracht werden können. Kehrt man das gefüllte Gefäß um, füllt man es und die Röhren mit Wasser, was leicht dadurch geschehen kann, daß man es in einen Behälter mit Wasser steckt und bringt man es schnell wieder in die gezeichnete Lage; so fließt das Wasser durch die Röhren und das Gefäß k so lange, bis das Niveau der Flüssigkeit in den drei Gläsern in demselben Horizonte liegt. Hier haben wir unstreitig Schenkelheber, deren Arme durch k verbunden sind. Für die Gläser 1 und 2 ist cr der längere Schenkel, für 2 und 3 ist es en, für 1 und 3 wieder cr. Es hindert die Verbindung der Schenkel nicht, wenn auch in dem oberen Theile von k etwas Luft sich befindet, was beim Umkehren der Vorrichtung nach ihrer Füllung kaum zu vermeiden ist.

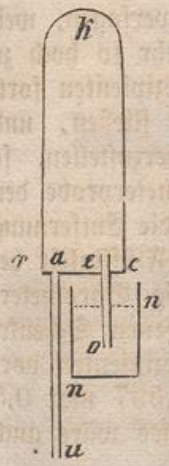
Heberspringbrunnen kann man auf eine doppelte Weise erhalten, man kann nämlich entweder nur den im längeren Schenkel vorhandenen größeren Wasserdruck und die durch ihn erzeugte Bewegung des Wassers oder noch den auf den kürzeren Schenkel ausgeübten Atmosphärendruck benutzen, um einen emporspringenden Wasserstrahl zu erhalten.



(Fig. 142.)

1) Im ersten Falle ist es nur nothwendig, das Ende des längeren Schenkels, wie es Fig. 142 zeigt, etwas aufwärts zu krümmen und spitz zulaufen zu lassen. Ginge die Röhre von u an weiter aufwärts, so würde die Flüssigkeit in ihm bis zum Niveau n im Gefäße (nicht bis zu dem des a) steigen, weil die beiden Schenkel von

a abwärts bis zum Niveau im Gleichgewichte gehalten werden; aber die Flüssigkeit wird in dem freispringenden Strahle die Höhe n doch nicht erreichen, weil sie bei der Bewegung an den Röhrenwänden und dann an der Luft einen Widerstand erleidet und weil, wenn der Strahl lothrecht in die Höhe ginge, die herabfallenden Flüssigkeitstheilchen die aufwärtssteigenden in ihrer Bewegung hindern würden.



(Fig. 143.)

2) Für die zweite Erscheinung nimmt man eine lange Glasglocke rkc (Fig. 143), durch deren metallenen und luftdicht anschließenden Boden zwei Röhren oe und au gehen, von denen die erste zu beiden Seiten nur etwas hervorsteht, um unten in ein Gefäß nn mit Wasser getaucht zu werden und oben das einzugießende Wasser mit ihrer Springöffnung zu überragen, die zweite vom Boden ausgehende aber eine ziemliche und beliebige Strecke tiefer herabgeht.

Will man die Vorrichtung gebrauchen, so kehrt man die Glocke rkc um und gießt in sie etwas Wasser, was am leichtesten von a aus geschehen kann, wenn die Röhre au abzuschrauben geht; dann bringt man die Glocke wieder in die gezeichnete Lage, indem man gleichzeitig und sofort die Mündung o der kurzen Röhre unter das Niveau des Wassers im Gefäße bringt.

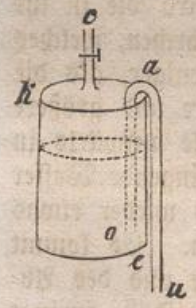
Die Erscheinungen sind nun leicht vorauszusehen und zu erklären. Zuerst fließt das Wasser aus u, weil anfänglich die Luft in der Glocke die Dichtigkeit der äußeren hat, das Wasser also nur seiner Schwere folgt. Durch den Abgang von Wasser in der Glocke wird die in ihr abgesperrte Luft verdünnt und drückt auf das Wasser im Röhrchen, welches anfangs nur bis an das Niveau im Gefäße nn reichte, weniger, als die freie Atmosphäre auf dieses Niveau wirkt. Dieser letztere und größere Druck preßt also das Wasser durch oe in einem Strahle aufwärts in den luftverdünnten Raum. Durch das in die Glocke springende Wasser wird der Raum für die Luft etwas kleiner, sie wird also wieder etwas dichter, und der Abfluß aus u kann wieder stattfinden. Es kommt natürlich auf das Verhältniß der Weite der Springröhre und des Abflußrohres an, ob der Strahl in einer sich gleich bleibenden Höhe springt oder nicht.

Man nennt die Vorrichtung den unterbrochenen Heber, weil zwischen dem kürzeren Schenkel oe und dem längeren au eine Unterbrechung durch abgesperrte Luft stattfindet oder zwischen e und a ist die obere Krümmung des Hebers mit abgesperrter Luft erfüllt.

Schließlich wollen wir noch die Hebererscheinungen im luftverdünnten Raume betrachten. Wenn die freie Atmosphäre oder auch abgesperrte Luft von derselben Spannkraft im Stande war, eine Wassersäule von etwa 32 Fuß zu tragen, so wird verdünnte Luft eine

um so niedrigere zu tragen vermögen, je dünner sie ist. Hätte man in einer Glocke durch Auspumpen eine hundertfache Verdünnung erreicht, so würde diese Luft nur eine Wassersäule von $^{32}/_{100}$ Fuß oder 3,84 Zollen tragen können. Hätte man also unter dieser Glocke einen Heber, bei welchem der höchste Punkt der Krümmung nur 3 Zolle über dem Wasserspiegel oder noch tiefer läge, so würde er fließen; läge aber der höchste Punkt 4 Zolle darüber, so würde er den Dienst versagen, weil die so verdünnte Luft das Wasser im Gefäße nicht mehr so hoch zu drücken im Stande ist. Je weiter die Verdünnung im Rezipienten fortschreitet, desto kürzer müßte der Heber sein, um noch zu fließen, und wenn es gelänge, einen vollkommen luftleeren Raum herzustellen, so würde kein Heber mehr fließen. Da man aus der Barometerprobe den Grad der Verdünnung weiß, so kann man aus ihr auch die Entfernung des höchsten Punktes des Hebers von dem Spiegel der Flüssigkeit bestimmen, die durch den Heber abfließen soll. Zeigte die Barometerprobe 0,5 Zoll, d. h. stände das Quecksilber im geschlossenen Schenkel noch ½ Zoll über dem des offenen, so würde die im Rezipienten vorhandene Luft im Stande sein, eine Wassersäule von 13,597 mal 0,5 Zoll oder 6,7985, d. i. fast 6,8 Zoll zu tragen, und dies wäre auch die größte Höhe der Heberschenkel über dem Niveau.

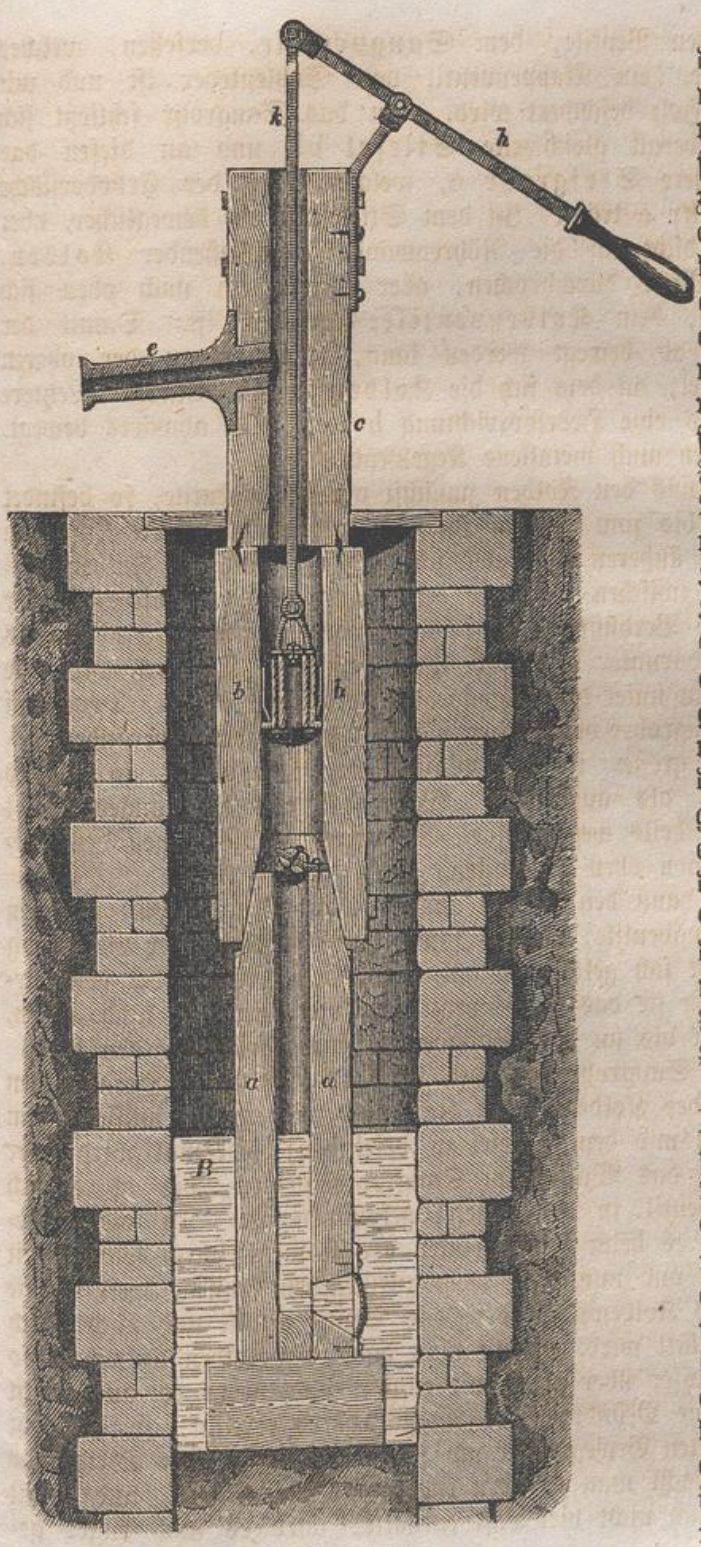
Der Einfluß der Dichtigkeit der Luft, welche auf das Niveau der Flüssigkeit und durch sie fort bis auf die Mündung des kürzeren Schenkels wirkt, läßt sich sehr leicht durch die in Fig. 144 dargestellte Vorrichtung zeigen. Der Heber oau geht luftdicht durch die Decke des Gefäßes ke, und durch dieselbe Decke geht noch eine verschließbare Oeffnung c. Ist letztere nicht geschlossen, so wird der Heber wie in einem ganz offenen Gefäße fließen; ist er im Fließen und verschließt man c, so hört er bald auf zu laufen, weil durch den Abgang der Flüssigkeit im Gefäße die Luft über ihr so verdünnt wird, daß sie die Wassersäule vom Niveau bis a nicht mehr zu tragen im Stande ist. Wenn aber auch der Ausfluß aufhört, so bleibt doch der ganze Heber gefüllt, weil der äußere freie Luftdruck die Flüssigkeit von der Mündung u des längeren Schenkels an bis a ebenso gut trägt, als der Druck der inneren Luft vom Niveau bis ebendahin sie emporhält. Oeffnet man c, so beginnt der Ausfluß; schließt man es wieder, so hört er in kurzer Zeit wieder auf und so kann man weiter fortfahren.



(Fig. 144.)

Die Saughebepumpe.

Eine der nützlichsten und daher auch gewöhnlichsten Anwendungen des Druckes der Atmosphäre findet bei den Saughebepumpen, welche man auch Straßenpumpen nennt, statt.



(Fig. 145.)

Man bohrt zu diesem Zwecke gewöhnlich recht grade und astfreie Baumstämme zu einer zylindrischen Röhre aus. Statt dessen könnte man aber auch aus Bohlen anders geformte wasserdichte Röhren zusammensetzen, was zur Förderung großer Wassermassen auf nicht bedeutende Höhen, z. B. aus Kellern auf die Straße, ganz geeignet ist. Uebrigens ist es nicht nothwendig, daß die Röhre überall gleiche Weite hat; es genügt, wenn dies nur in der Gegend, in welcher der Kolben bewegt wird, der Fall ist. Fig. 145 stellt einen Querschnitt dar.

In dem Wasser B des Brunnens steht ein engeres Rohr aa, das Saugrohr, welches unten eine mit einem Siebe versehene Seitenöffnung hat, um etwaige Unreinigkeiten nicht hineinzulassen. Oben ist das Saugrohr mit einem nach

oben sich öffnenden Ventile, dem Saugventile, versehen, welches bei Straßenpumpen ein Klappenventil von Sohlenleder ist und mit einem Stückchen Holz beschwert wird. An das Saugrohr schließt sich wasserdicht der überall gleichweite Stiefel bb und an diesen das wieder etwas engere Steigrohr c, welches über der Erdoberfläche das Ausflußrohr e trägt. In dem Stiefel ist ein beweglicher, aber sich hinreichend dicht an die Röhrenwände anschließender Kolben, welcher in der Mitte durchbrochen, aber mit einem nach oben sich öffnenden Ventile, dem Kolbenventile, versehen ist. Damit der Kolben auf und ab bewegt werden kann, trägt er an der oberen Fläche einen Bügel, an dem sich die Kolbenstange befindet. Letztere wird durch irgend eine Hebelvorrichtung h auf- und abwärts bewegt. Die Ventile können auch metallene Kegelventile sein.

Denken wir uns den Kolben zunächst am Saugventile, so befindet sich unter diesem bis zum Niveau im Saugrohre abgesperrte Luft von der Dichtigkeit der äußeren atmosphärischen. Zieht man den Kolben aufwärts, so entsteht zwischen ihm und dem Saugventile ein luftverdünnter Raum und ist die Verdünnung hinreichend vorgeschritten, so wird das Ventil durch die darunter befindliche Luft geöffnet. Dadurch wird die Luft in dem Raume unter dem Saugventile verdünnt, und der Druck auf das Wasser im Saugrohre vermindert, während der äußere unverändert geblieben, jetzt also größer ist und Wasser ins Rohr drückt, so daß es darin höher steht, als außerhalb. Während dieses Vorganges bleibt das Kolbenventil, theils wegen seines Gewichtes, theils wegen des größeren Luftdruckes von oben geschlossen.

Drückt man dann den Kolben abwärts, so wird die Luft zwischen ihm und dem Saugventile, welches schon beim Aufhören der Bewegung durch sein Gewicht sich geschlossen hat, zusammengedrückt, bei vermehrter Dichtigkeit stößt sie das Kolbenventil auf und entweicht nach außen, so daß der Kolben bis an das Saugventil herabgedrückt werden kann.

Enthält das Saugrohr viel Luft, so wird man dieses Heraufziehen und Hinabstoßen des Kolbens noch einigemal wiederholen müssen, um alle Luft aus ihm und dem Stiefel zu beseitigen; jedesmal wird aber beim Hinaufziehen das Wasser im Saugrohre steigen, bis es endlich durch das Saugventil in den Stiefel gekommen ist. Ist dieses geschehen, so wird es beim Hinabdrücken des Kolbens durch sein Ventil über ihn gelangen und nun nicht mehr zurückgehen können, weil, sowie die Bewegung des Kolbens aufhört, das Ventil zufällt und auch durch das Wasser zugedrückt wird. Zieht man dann den Kolben aufwärts, so hebt man das Wasser über ihm mit empor und wenn es auch nicht gleich anfänglich die Mündung des Ausgußrohres erreicht, so geschieht dies bei wiederholten Bewegungen um so eher, je enger das Steigerohr ist und deshalb macht man es gern enger, als den Stiefel, und damit das Saugerohr auch nicht viel Luft enthalte, wird es auch enger ge-

macht. Nothwendig ist es nicht, ungleichweite Rohre zu nehmen; bei nicht zu tiefen Brunnen reicht meistens ein einzelnes überall gleich weites Rohr aus.

Weil das Brunnenwasser immer Luft enthält und weil die Ventile und der Kolben niemals luftdicht schließen, so muß das Bodenventil stets tiefer über dem Niveau des Wassers im Brunnen angebracht sein, als es der Atmosphärendruck gestatten würde, wenn diese Umstände nicht vorhanden wären. 20 bis höchstens 24 Fuß würde man bei tiefen Brunnen nehmen; bei flach liegenden ist es besser, das Ventil dem Wasserspiegel näher, ja sogar an oder unter ihn zu legen, weil man dann nur wenige oder gar keine Luft wegzuschaffen hat und bald Wasser bekommt.

Ueber dem Kolben kann das Wasser so weit gehoben werden, als die uns grade zu Gebote stehende Kraft ausreicht. Es ist also natürlich, daß dieselbe Kraft das Wasser in einem engen Steigrohre höher heben kann, als in einem weiten, weil das Gewicht des Wassers im letzteren bei derselben Höhe der Wassersäule größer ist, als das im ersteren.

Schließt sich der Kolben gut an und sind die Ventile dicht, so wird es, wenn die Pumpe einige Zeit vorher gebraucht worden ist, nicht nothwendig sein, die Arbeit lange fortzusetzen, ehe Wasser erscheint, weil sich dasselbe in allen drei Röhren erhält und nur wenig unter dem Ausgußrohre steht, wenn man sie nicht gebraucht.

Bei einer einfachen Pumpe kommt der Wasserstrahl aus dem Ausgußrohre stoßweise in der Zeit, in welcher der Kolben aufwärts bewegt wird, und die Zeit, in welcher der Kolben abwärts geht, ist für die Förderung des Wassers verloren. Man hat in neuester Zeit aber auch den zweiten Theil der Bewegung des Pumpenschwengels für das Herausschaffen des Wassers nutzbar zu machen gewußt. Man stellt nämlich, wie Fig. 146 andeutet, zwei solche Pumpen nebeneinander ins Wasser, verbindet die Enden der beiden Kolbenstangen beweglich mit den Enden einer horizontalen Querstange, läßt durch die Mitte derselben winkelrecht und fest mit ihr verbunden eine kurze Stange gehen, die auf Lagern ruht, welche durch die Röhren getragen werden, und an dieser ist der nach unten gehende Schwengel, dessen Ende in vortheilhafter Weise mit einer Metallkugel versehen ist, um die pendelartige Schwingung durch diese Masse kräftiger zu machen. Die beiden Steigrohre sind gegenüber dem Ausgußrohre des einen durch ein Querrohr verbunden.



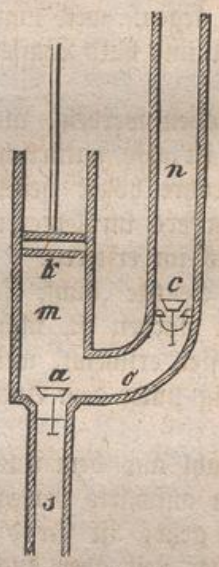
(Fig. 146.)

Es ist natürlich, daß, während in der einen Pumpe das Wasser gesaugt wird, es in der anderen gehoben wird; es wird also bei jeder Bewegung, sowohl hin als auch zurück, Wasser durch das Ausgußrohr gefördert. Diese Pumpen heißen kalifornische und wur-

den erst durch die letzte Weltausstellung zu London in Europa bekannt, obwohl sie in ihrer ganzen Einrichtung so höchst einfach sind, daß man schon längst auf sie hätte kommen können.

Saugdruckpumpen.

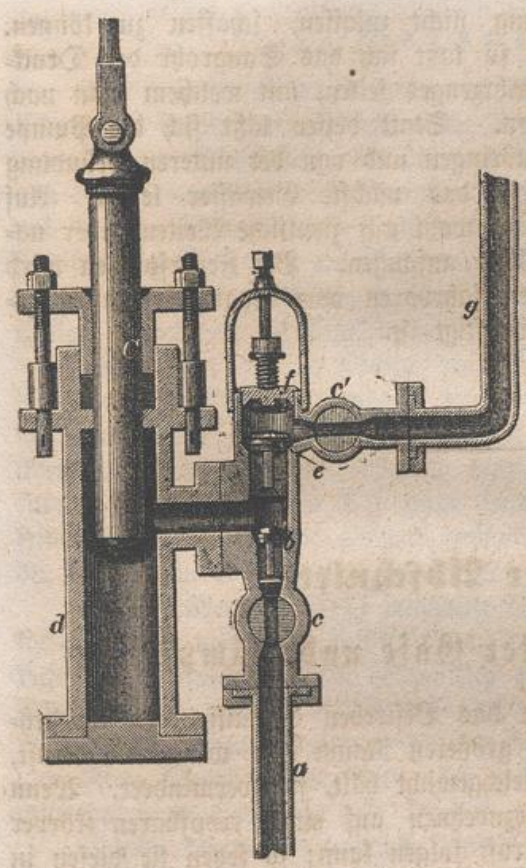
Bei den Saughebepumpen fließt das Wasser in einem nur ganz kurzen Bogen aus der Ausflußröhre zur Erde. Will man einen weit reichenden Strahl erhalten, um z. B. ein Feuer in der Höhe zu löschen oder entfernte Gegenstände zu bespritzen; muß man abgesperrtes Wasser durch eine engere Röhre mittelst eines auf dieses Wasser ausgeübten Druckes pressen und dazu dienen die Saugdruckpumpen, deren Einrichtungen im Einzelnen sehr verschieden sein können.



(Fig. 147.)

An ein engeres Saugrohr s (Fig. 147), welches ins Wasser oder in eine andere Flüssigkeit gestellt wird, schließt sich oben ein weiterer Stiefel m, in welchem sich der massive Kolben k mit gutem Anschluß auf- und abwärts bewegen läßt; am Boden des Stiefels ist ein nach ihm hin sich öffnendes Ventil a; mit dem Raume des Stiefels ist unten ein engeres Seitenrohr on, das Steigrohr verbunden, welches ein nach außen sich öffnendes Ventil c trägt. Die Anwendung und Wirkungsfähigkeit dieser Vorrichtung ist leicht zu erkennen. Wird s nur mit seiner Mündung ins Wasser gestellt, so ist in ihm und dem Stiefel noch Luft. Denken wir uns den Kolben zunächst am Boden des Stiefels und die Ventile durch ihr eigenes Gewicht geschlossen und ziehen wir dann den Kolben aufwärts, so wird das Bodenventil geöffnet; es steigt durch dasselbe die darunter befindliche Luft und vielleicht auch schon Wasser, während das Steigeventil c durch den größeren Atmosphärendruck geschlossen bleibt. Drücken wir den Kolben abwärts, so schließt sich das Bodenventil theils wegen seines Gewichtes, theils wegen des von oben ausgeübten Druckes und das Seitenventil wird wegen eben desselben Druckes geöffnet, so daß die vorhin aufgesaugte Luft und das etwa im Stiefel schon vorhandene Wasser über dasselbe steigt. Hört die Bewegung des Kolbens auf, so schließen sich beide Ventile und das des Steigerohres kann schon auch durch Wasser zugedrückt werden.

Bei jedem neuen Zuge nach oben wird Wasser gesaugt, bei jedem neuen Drucke aber in das Steigerohr gepreßt und das, welches bereits über seinem Ventile ist, kann nicht mehr zurück, so daß es im Steige-



(Fig. 148.)

rohre mit jedem Drucke höher steigt und, wenn man ein sich verengendes Ausflußrohr ansetzt, in einem Strahle ausspritzt.

Die Höhe, bis zu welcher das Wasser gepreßt werden kann, hängt von der verfügbaren Kraft ab und wird für eine bestimmte Kraft um so größer sein, je enger das Rohr ist. Scharfe rechtwinklige Krümmungen dieses Rohres müssen vermieden werden, weil das Wasser durch den graden Stoß an eine Fläche seine Geschwindigkeit vermindern würde.

Weil der auf eine abgesperrte Flüssigkeit irgendwo ausgeübte Druck sich ungeschwächt durch die ganze Flüssigkeit fortpflanzt, kann man den Saugdruckwerken sehr verschiedene Gestalten geben. Fig. 148 stellt eine sehr geeignete Einrichtung dar. Der Stiefel oder das Kolbenrohr d steht neben dem Saugrohre a; in dem Stiefel befindet sich ein Kolben C, welcher wasserdicht durch eine an der Decke desselben befindliche Stopfbüchse geht und im Uebrigen sich an die Wände desselben nicht eng anschließt; Kolbenrohr und Saugrohr sind durch ein Querrohr miteinander verbunden; unterhalb desselben ist im Saugrohre ein nach oben sich öffnendes Ventil b und oberhalb desselben ein zweites e, welches sich auch nach oben öffnet; über letzterem schließt sich an das Saugrohr das Steigerohr g. Unterhalb des Saugventils b ist ein Hahn c und oberhalb des Druckventils ein anderer c', welche beide geöffnet sein müssen, wenn man die Pumpe gebrauchen will.

Auch hier wird gesaugt, wenn C aufwärts geht, und gedrückt, wenn es abwärts bewegt wird. Daß sich auch hier die Kolbenstangen zweier Pumpen zu einer gemeinsamen Bewegung und zur schnelleren Förderung des Wassers, was besonders bei Feuersgefahren wichtig ist, verbinden lassen, versteht sich von selbst; aber dessen ungeachtet kommt der Wasserstrahl stoßweise aus der Springröhre.

An das Steigrohr lassen sich natürlich auch wasserdichte Schläuche anschrauben, um das Wasser nach verschiedenen Räumen, die eine un-

mittelbare und grade Verbindung nicht zulassen, schaffen zu können. Sind in Gartenanlagen Teiche, so läßt sich das Saugrohr der Druckpumpe durch den Boden eines Fahrzeuges leiten, mit welchem man nach verschiedenen Punkten fahren kann. Statt dessen läßt sich die Pumpe auf einem kleinen Handkarren anbringen und von der unteren Mündung des Saugrohres ein Schlauch in das nächste Gewässer leiten. Auf diese Weise kann man das Wasser wohl auf ziemliche Weiten, aber natürlich nicht auf bedeutende Höhen ansaugen. Bei Feuerspritzen wird das Wasser in der Regel in den fahrbaren oder tragbaren Kasten gegossen, in welchem die Spritze befestigt ist.

Sechster Abschnitt.

Druck abgesperrter Gase und Dämpfe.

Alle luftigen Körper haben das Bestreben der allseitigen Ausdehnung und nehmen somit einen größeren Raum ein, wenn die Kraft, welche ihrer Ausdehnung das Gleichgewicht hält, sich vermindert. Wenn sie bei diesem Bestreben sich auszudehnen auf einen tropfbaren Körper treffen, welcher der drückenden Kraft folgen kann; so setzen sie diesen in Bewegung und treiben ihn unter Umständen auch aufwärts, so daß man an der Höhe der Flüssigkeitssäule ein Maß für die drückende Kraft hat. Wenn nun die bewegte tropfbare Flüssigkeit, welche sich nur äußerst wenig zusammendrücken läßt, auf ein abgesperrtes Gas wirkt; so wird dieses durch den vermehrten Druck in gleichem Verhältnisse auf einen kleineren Raum beschränkt, und dadurch ein Anhaltspunkt für die Spannkraft des luftigen Körpers, mag es nun ein Gas oder Dampf sein, gewonnen.

Da durch alle Flüssigkeiten, vorzüglich aber durch Dämpfe ein sehr bedeutender Druck ausgeübt werden kann, welcher namentlich bei letzteren oft schon sehr gefährlich geworden ist; so ist es wichtig, Mittel anzugeben, diesen Druck zu messen, um auch, abgesehen von der auszunutzenden Druckkraft, beurtheilen zu können, ob in gewissen Fällen die Gefahr vorhanden ist, daß Gefäße zersprengt werden.

Wir werden demnächst einige Mittel zur Messung des Druckes angeben und dann Instrumente anführen, bei welchen der Druck abgesperrter Gase auf tropfbar flüssige Körper oder der Druck tropfbar flüssiger Körper auf abgesperrte Gase angewendet wird.

Manometer.

Wir achten bei der Angabe der Mittel, die Druckkraft der luftigen Körper zu bestimmen, zunächst nicht darauf, ob diese Kraft abhängig ist nur von der Dichtigkeit des Körpers bei bestimmter Temperatur, oder von der Temperatur bei bestimmter Dichtigkeit, oder von beiden zugleich und da die zu erwähnenden Instrumente diese Unterschiede nicht berücksichtigen, so sind auch die Benennungen: Manometer, Dasymeter, Elaterometer nicht bezeichnend; denn Manometer heißt eigentlich Dünnheitsmesser, Dasymeter Dichtigkeitsmesser, Elaterometer Elastizitätsmesser.

Wenn eine gewisse Menge eines luftigen Körpers abgeschlossen ist in einem bestimmten Raume, so besitzt er eine bestimmte Dichtigkeit und wird auch bei bestimmter Temperatur eine bestimmte Druckkraft ausüben; wenn nun dieser Körper in demselben Raume eine höhere Temperatur erlangt, so kann sich zwar seine Dichtigkeit nicht ändern, aber seine Druckkraft ist eine größere geworden, wie wir es in der Lehre von der Wärme in Betreff verschiedener Körper werden genauer kennen lernen.

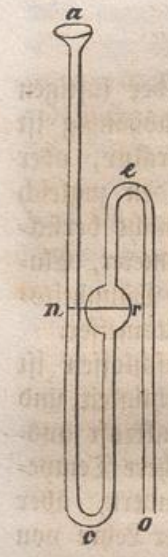
Das früher (S. 254) erwähnte Wagemanometer ist auch ein Dichtigkeitsmesser und dient somit, wenn auch nur mittelbar, den Druck der Luft zu bestimmen, indem bekanntlich die Dichtigkeit der Luft mit ihrer Druckkraft in gradem Verhältnisse steht und eine Vergleichung der Beobachtungen dieses Manometers mit denen des Barometers wohl auch zum Ziele führen würde; hier aber wollen wir nur die Mittel zur unmittelbaren Bestimmung des Druckes angeben.

Dieses kann nicht dadurch bewirkt werden, daß man den Druck der luftigen Körper blos auf die inneren Wände von Gefäßen, in denen sie eingeschlossen sind, wirken läßt und etwa untersucht, unter welchen Bedingungen sie Gefäße aus verschiedenen Stoffen und von verschiedener Wandstärke zu zersprengen im Stande sind, weil dies gefährlich und wegen der nicht zu überwindenden Schwierigkeit, Gefäße herzustellen, deren Widerstandsfähigkeit ihrem Grade nach vorher bestimmbar ist, unausführbar wäre; sondern nur dadurch, daß diese luftigen Körper entweder blos auf tropfbar flüssige, welche dem Drucke folgen, oder durch diese noch auf luftige, welche abgesperrt sind, wirken können.

Sicherheitsröhren.

Die Sicherheitsröhren sind doppelt gebogene, also aus drei Schenkeln bestehende Röhren, deren mittelster Theil in der Regel kugelförmig erweitert ist, wie es acco in Fig. 149 zeigt. Das eine Ende a ist trichterförmig erweitert, um bequem so viel Wasser eingießen zu können, daß es die Kugel und das eine kommunizirende Rohr theilweise erfüllt.

Hält man das Instrument mit dem Wasser in der freien Luft, so stehen die beiden Niveaus n und r in derselben Horizontalebene. In



(Fig. 149.)

dieser Stellung würde nichts geändert, wenn in reo statt der atmosphärischen Luft Gase oder Dämpfe von derselben Spannkraft wären. Sowie aber die Spannkraft in oer kleiner ist, steigt die Flüssigkeit in r und fällt von n und zwar hier um so mehr, je weiter die Kugel bei einem bestimmten Steigen in ihr ist; wird aber die Spannkraft in oer größer, so steigt das Wasser in cn.

Befindet sich nun o in einem Behälter, in welchem eine Luftart entwickelt wird, so kann man aus dem Stande der Sperrflüssigkeit beurtheilen, ob das entwickelte Gas eine geringere oder größere Druckkraft besitzt, als die atmosphärische Luft und ob die Erzeugung dieser Luftart eine sehr träge oder sehr lebhafte ist. Bei einer sehr trägen Entwickelung und namentlich bei der Abkühlung des Entwickelungsapparates könnte es geschehen, daß die Sperrflüssigkeit nach o getrieben würde, was nachtheilig werden könnte, weshalb man durch Herausziehen der Röhre diesem vorbeugt; bei einer sehr lebhaften Entwickelung, daß die Sperrflüssigkeit aus a geschleudert würde, was unstreitig weniger unangenehm wäre, als ein Zersprengen des Entwickelungsgefäßes. Diese Röhren dienen also nur dazu, um gegen Letzteres zu sichern, nicht aber um einen genauen Maßstab für die Expansivkraft des betreffenden Gases zu haben.

Gefäßmanometer.

Zu einer genaueren Bestimmung der Größe des Druckes abgesperrter Gase sind schon die Gefäßmanometer oder auch Windmesser geeignet, welche deshalb so genannt werden, weil man sie anwendet, um den Druck der Luft in verschiedenen Theilen von Gebläseapparaten zu bestimmen.



(Fig. 150.)

Von der Decke eines beliebig geformten Gefäßes (Fig. 150) geht eine Röhre eo nach einem Luftbehälter, eine zweite Röhre xna geht von dem Boden dieses Behälters eine Strecke aufwärts; der Behälter und ein Theil der mit ihm kommunizirenden Röhre ist mit Wasser gefüllt.

Hat die Luft im Behälter die Dichtigkeit der äußeren, so stehen die Niveaus r und n in derselben Horizontalebene; je mehr sich die von o aus eintretende Luft verdichtet, desto höher steigt das Wasser über n, wo man den Nullpunkt eines Maßstabes anbringen kann. Da die Röhre na im Verhältnisse zu der Weite des Behälters eng ist, so kann n, ohne einen bedeutenden Fehler zu begehen, als Nullpunkt beibehalten werden und es läßt sich aus der Höhe

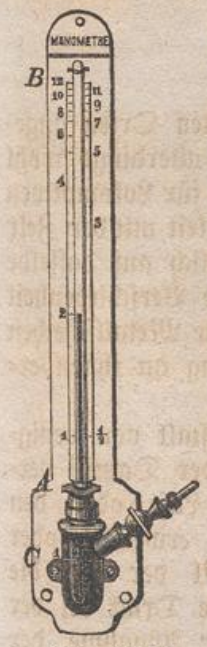
der Wassersäule über n auf den Druck des abgesperrten Gases ein Schluß ziehen.

Um für bedeutendere Drucke nicht allzulange Röhren anwenden zu müssen, dient Quecksilber statt des Wassers. Da bei gleichem Stande desselben im Gefäße und in der Röhre das abgesperrte Gas schon die Spannkraft einer Atmosphäre besitzt, so würde bei einem Höhenstande in der Röhre, welcher dem grade stattfindenden Barometerstande gleich wäre, der Druck des abgesperrten Gases zwei Atmosphären betragen.

Röhrenmanometer.

Die Röhrenmanometer dienen zu genaueren Messungen und man wendet dabei entweder geschlossene oder offene Glasröhren mit Quecksilber an.

Bei geringeren Drucken, etwa bis zu fünf Atmosphären, hat man die geschlossenen Röhren und es kommt dabei das mariottesche Gesetz zur Anwendung.



(Fig. 151.)

Steht eine etwa 10 Zoll lange, oben geschlossene und überall gleichweite Glasröhre AB (Fig. 151) unten in Verbindung mit einer offenen, durch eine Metallfassung C geschützten, diese mit einem Raume, in welchem verdichtete Gase oder auch Dämpfe erzeugt werden, und ist in dem unteren Theile der Röhren Quecksilber; so steht dieses in beiden Röhren gleich hoch, wenn die abgesperrte atmosphärische Luft denselben Druck ausübt, als das Gas oder die Dämpfe auf den offenen Schenkel, so daß in diesem Falle letztere die Spannkraft einer Atmosphäre haben, wenn die abgesperrte Luft sie besaß. Man setzt also an das Ende des Quecksilbers im langen Schenkel die Ziffer 1.

Wird der Druck auf das Quecksilber im offenen Schenkel vermehrt, so pflanzt sich dieser größere Druck durch das Quecksilber fort bis zur abgesperrten Luft und zwingt sie einen kleineren Raum einzunehmen, wodurch sie dichter wird und auch einen größeren Druck nicht nur aushält, sondern auch ausübt. Es hält jetzt dieser ihr vermehrter Druck mit dem der erhöhten Quecksilbersäule das Gleichgewicht dem Drucke, welcher auf den offenen Schenkel ausgeübt wird. Weil nun die Räume, welche die abgesperrte Luft einnimmt, in demselben Verhältnisse kleiner werden, in welchem der Druck auf sie sich vermehrt, so läßt sich leicht eine Eintheilung anbringen, welche den Druck nach Ganzen und Bruchtheilen des Atmosphärendruckes anzeigt.

Zur Messung eines bedeutenderen Druckes kann man eine offene

starke und hinreichend lange Glasröhre anwenden, welche man sehr sorgfältig in ein Gefäß von Schmiedeeisen einkittet, von wo aus noch eine dünne eiserne Röhre aufwärts geht. Kommt in erstere und die damit verbundene Metallröhre Quecksilber, so steht es im Freien in beiden gleich hoch und der Punkt, bei welchem es in der Glasröhre steht, wird auf einem daran befestigten Maßstabe mit Eins bezeichnet, weil ja auf das Quecksilber auch in der Metallröhre eine Atmosphäre drückt. Wenn nun auf das Metallrohr ein vermehrter Druck ausgeübt wird, so steigt das Quecksilber im Glasrohre. Ist seine Höhe grade gleich dem Barometerstande, so ist die drückende Kraft im anderen Rohre schon gleich dem Drucke zweier Atmosphären, und man setzt an die betreffende Stelle 2, weil ja auf das Quecksilber im offenen Schenkel die freie Atmosphäre herabdrückt. Auf diese Weise läßt sich die Eintheilung weiter fortführen.

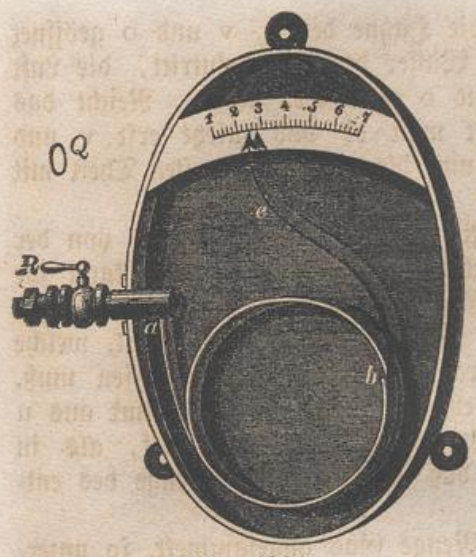
So kann durch genaue Messung des Höhenstandes des Quecksilbers im offenen Schenkel der Druck auf dasselbe im geschlossenen genau bestimmt werden. Daß das Glasrohr genau lothrecht stehen muß, ist eine wesentliche Bedingung, weil jede schiefe Lage desselben die Quecksilbersäule verlängert.

Metallmanometer.

Können gläserne Manometer nicht an sehr geschützten Orten angebracht werden, wie es bei stehenden Dampfmaschinen allerdings wohl zulässig ist; so wendet man Metallmanometer an, welche für Lokomotiven und Lokomobilen vortheilhaft sind, obwohl ihre Zuverlässigkeit mit der Zeit etwas abnimmt. Ihre Wirksamkeit gründet sich wesentlich auf dasselbe Prinzip, wie die der Aneroidbarometer: nämlich, daß die Verschiedenheit des Druckes, welchen zwei mit einander verbundene dünne Metallscheiben von ungleicher Flächenausdehnung erleiden, eine Bewegung an ihnen erzeugt, wenn sich der Druck auf beide ändert.

Wird in einem aus dünnen Metallbleche in der Gestalt von wenigstens $^3/_4$ eines Kreises gefertigten flachen Rohre Luft oder Dampf verdichtet oder auch verdünnt, wobei das eine Ende die Luft oder den Dampf aufnimmt, das andere aber geschlossen ist; so erweitert oder verengt sich der Zwischenraum der Röhrenenden, weil der auf die äußere, weniger gekrümmte und größere Platte ausgeübte Druck bei der Zunahme der drückenden Kraft mehr zunimmt, bei der Abnahme der drückenden Kraft mehr abnimmt, als der Druck auf die innere und kleinere Platte und deshalb muß die bogenförmige Röhre in jenem Falle sich mehr strecken, in diesem mehr krümmen, als es bei dem ursprünglichen Drucke der Fall war.

Wenn nun das eine Ende a (Fig. 152) dieser Röhre, durch welches das Gas oder der Dampf geleitet wird, befestigt und das andere b mit einem Zeiger e versehen oder mit dem kurzen Ende eines drehbaren Zeigers verbunden ist; so lassen sich an den Kreisbogen, welchen

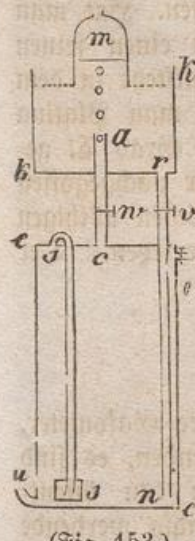


(Fig. 152.)

das Ende des langen Zeigers beschreibt, die Zahlen setzen, welche anzeigen, wie viele Atmosphärendrucke das abgesperrte Gas ausübt. Es ist natürlich, daß man die Lage dieser Zahlen aus vergleichenden Beobachtungen mit einem anderen Manometer erhält.

Das Gasometer, Aspirator.

Wenn man verschiedene Gasarten entwickelt, so hat man die Absicht, sie entweder bald zu benutzen oder sie auch für spätere Zwecke aufzubewahren. Für den ersten Fall ist es meist ausreichend, sie in umgestürzten Flaschen, welche mit einer tropfbaren Flüssigkeit (Wasser, Quecksilber, Oel) gefüllt und mit ihrer Mündung unter den Spiegel der Flüssigkeit gehalten werden, aufzufangen, wofür die pneumatischen Wannen mit ihren Querleisten, worin sich Oeffnungen befinden, ganz bequem sind; aber für den zweiten Fall hat man die tragbaren Gasometer, die man auch Aspiratoren nennt, eingerichtet.



(Fig. 153.)

Ueber einem geschlossenen Metallzylinder ee (Fig. 153) von etwa 1½ oder 2 Fuß Höhe und 1 Fuß Durchmesser befindet sich ein oben offener kk von ¼ Fuß Höhe. Von dem Boden des oberen geht eine Röhre rn bis in die Nähe des Bodens des unteren und von der Decke des unteren eine kurze ca durch den Boden des oberen Gefäßes. Beide Röhren können durch die Hähne v und w, welche sich zwischen den Gefäßen befinden, abgesperrt werden. Außerdem ist am unteren Gefäße in der Nähe des Bodens eine etwas weitere, nach oben gekrümmte Röhre u, welche sich durch einen Kork verschließen läßt; in der Nähe der Decke eine engere Seitenröhre o, an welche sich verschieden enge Ansatzröhren schrauben lassen und noch ein Glasrohr ss, welches außerhalb des Gefäßes von der Decke aus bis in die Nähe des Bodens geht und beiderseits mit dem inneren Raume in Verbindung steht.

Das untere Gefäß dient zur Aufnahme des Gases, das obere zur Erzeugung eines Druckes auf dasselbe, um es ausströmen zu machen.

Will man das irgendwie entwickelte Gas ansammeln, so füllt man zuerst das untere Gefäß durch die Röhre rn aus dem oberen mit

Wasser, wobei u geschlossen, aber die Hähne bei w, v und o geöffnet sein müssen, so daß, während das Wasser durch rn eintritt, die Luft aus dem unteren Gefäße durch a und o entweichen kann. Reicht das Wasser bereits bis o, so verschließt man es und zuletzt erst v und dann w. Auch die Röhre ss wird nun bis auf den obersten Theil mit Wasser erfüllt sein.

Wird jetzt u geöffnet, so fließt das Wasser wegen des von der Atmosphäre darauf ausgeübten Druckes nicht aus und man kann die Röhre, durch welche das entwickelte Gas kommen soll, hineinstecken, ohne daß mehr Wasser ausfließt, als der Raum der Röhre einnimmt, welche übrigens ringsum noch einen Spielraum für das Wasser lassen muß. Sowie aber durch u Luft in den Behälter geleitet wird, kommt aus u Wasser und es fällt auch in dem Standmesser ss ebenso tief, als in dem damit verbundenen Gefäße, so daß man stets die Menge des entwickelten Gases beurtheilen kann.

Hat man nun die gewünschte Menge Gas angesammelt, so unterwirft man dasselbe einem Drucke, indem man in dem oberen Gefäße für Wasservorrath sorgt und dann den Hahn v öffnet, so daß das abgesperrte Gas dem Drucke der Wassersäule vom Niveau des oberen bis zum Niveau des unteren Gefäßes ausgesetzt ist.

Stürzt man über die Mündung a eine mit Wasser gefüllte Glocke m, so kann man nach dem Oeffnen des Hahnes w dieselbe mit Gas erfüllen und dasselbe dann zu Versuchen anwenden; statt dessen aber kann man es zu gewissen Zwecken auch durch o ausströmen lassen. Hat man z. B. Sauerstoff in dem Behälter und läßt man davon einen feinen Strahl durch die Flamme einer Weingeistlampe gehen, so entsteht in dem dadurch gebildeten Flammenkegel eine so große Hitze, daß man Platina schmelzen kann, was erst bei einer Temperatur von 1700 Grad C. geschieht. In beiden Fällen muß in das obere Gefäß Wasser nachgegossen werden, um das Gas im unteren unter dem zum Ausströmen nöthigen Drucke zu erhalten und den Abgang durch Wasser zu ersetzen. Der Standmesser gibt den Gasvorrath stets an.

Leuchtgas-Gasometer.

Man hat für den Privatgebrauch zwar auch tragbare Gasometer, um das gereinigte Leuchtgas an beliebigen Orten zu verwenden, es sind aber theils für solche Zwecke, theils und vorzüglich für den öffentlichen Bedarf große Behälter erforderlich, um das nothwendig werdende Gas rechtzeitig anzusammeln und es von da aus mittelst gußeiserner Röhren oft auf große Entfernungen und verschiedene Punkte zu leiten, was nur möglich ist, wenn es je nach den kleineren oder größeren Strecken einem geringeren oder bedeutenderen Drucke unterworfen wird, damit es aus den Brennern mit einer gewissen Geschwindigkeit aus-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ströme. Eine kleine Flamme kann man zwar erhalten, wenn entweder das Gas unter einem kleinen Drucke langsam ausströmt oder wenn man den Hahn zum Brenner nur wenig lüftet, so daß von schneller strömendem Gase nur wenig durchdringen kann; eine große Flamme aber nur, wenn das Gas einem größeren Drucke ausgesetzt ist.

Soll ein solcher Gasometer zweckentsprechend sein, so muß er außer den Zu- und Ableitungsröhren für das Gas bei möglich großem Inhalte einen kleinen Raum einnehmen und das darin befindliche Gas muß während der ganzen Verbrauchszeit einem gleichmäßigen Drucke ausgesetzt sein.

Da die Kugelform, welche allerdings bei dem größten Inhalte die kleinste Oberfläche hat, bei diesen Apparaten nicht in Anwendung kommen kann, so wählt man die dem Zwecke am nächsten entsprechende Zylinderform und macht die Höhe gleich dem Strahle oder Radius der Grundfläche. Es wird also eine zylindrische und wasserdichte Zisterne gebaut; in sie paßt mit einigem Spielraume an den Wänden ein luftdichter Metallzylinder, welcher oben abgerundet eingedeckt ist und dessen Seitenwände aus dünnem Bleche bestehen. Statt der zylindrischen Form könnte man auch die eines ihm nahe kommenden Vielseits anwenden, also die Metalltafeln nicht erst krümmen. Damit der Behälter für das aufzunehmende Gas mit seinem unteren Rande in allen Entfernungen vom Boden stets horizontal bleibe und auch an den Wänden der Zisterne sich nicht reibe, läßt man von der Decke des Behälters in der Richtung seiner Axe eine Röhre herabgehen, welche ohne Reibung auf eine von der Mitte des Bodens der Zisterne ausgehende lothrechte Stange paßt. Statt dessen kann man an der Außenfläche des Gasbehälters einander gegenüber Paare von Ringen anbringen, die sich längs Stangen an der Zisterne bewegen. Zur Herstellung des stabilen Gleichgewichtes ist der Gasbehälter über Rollen aufgehängt und durch geeignete Gegengewichte balancirt.

Ehe der Behälter mit Gas gefüllt werden kann, muß er herabgelassen und ganz mit Wasser erfüllt werden, weshalb eine Vorrichtung vorhanden sein muß, um die anfänglich darin befindliche atmosphärische Luft herauszulassen. Wird nun das Gas von unten hineingeleitet, so hebt es den Behälter mehr und mehr und es würde aus ihm, wenn er leicht genug und nicht blos durch Wasser abgesperrt wäre, einen Aerostaten oder Luftballon machen, denn das Leuchtgas hat ein spezifisches Gewicht von nur 0,56, ist also etwas über die Hälfte leichter, als die atmosphärische Luft.

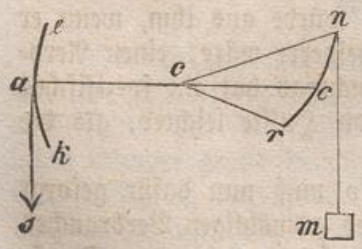
Ist das Füllen des Behälters erfolgt, so muß nun dafür gesorgt werden, daß das Gas in ihm ungeachtet seines allmähligen Verbrauches fortwährend einem bestimmten, durch die Umstände bedingten Drucke ausgesetzt werde, welcher größer sein muß, als der, welchen die freie Atmosphäre ausübt, damit es aus dem Behälter durch die Leitungsröhren

und Brenner ströme. Stände das Sperrwasser im Behälter so hoch, wie außerhalb um ihn, was sich mittelst eines Standmessers oder Index leicht beurtheilen läßt; so würden beide Gase gleich stark drücken; es muß also für den vorliegenden Zweck das äußere Wasser höher stehen, als das innere und je höher es steht, desto größer ist der Druck, welchen das Leuchtgas erleidet und ausübt. Ist der äußere Wasserstand für einen gewissen Zweck, z. B. um 1 Zoll höher, als der innere; so muß dieser Stand fortwährend erhalten werden. Dieses kann nur dadurch erreicht werden, daß der Behälter stets mit demselben Gewichte auf das abgesperrte Gas herabdrückt.

Während der Behälter nur mit seinem untersten Rande im Wasser ist, trägt dieses von seinem absoluten Gewichte nur wenig; je tiefer bei der Abnahme des Gases im Innern der Behälter einsinkt, desto mehr trägt das Wasser von seinem Gewichte, desto leichter wird er und desto mehr muß er belastet werden, um den früheren Druck auszuüben. Dieses Mehr seines Gewichtsverlustes und der dadurch nothwendigen größeren Belastung beträgt aber um so weniger, je dünner das Metallblech zu seinen Seitenwänden und je größer sein Rauminhalt ist, weshalb man auch möglichst dünnes Blech anwendet. Dagegen wird beim Sinken des Behälters des Gases in ihm weniger, so daß er auch weniger durch dasselbe gehoben wird.

Glichen beim fortschreitenden Verbrauche des Gases die Abnahme des Druckes vom Gasbehälter nach unten und vom leichten Gase nach oben einander aus, so würde der Behälter stets einen gleichen Unterschied der Wasserstände verursachen und es wäre eine anderweitige Ausgleichung nicht nothwendig. Man müßte natürlich für größere Gasometer die Stärke des Metallbleches zu der Seitenwand in angemessener Weise vergrößern. Bei kleinen Gasometern wird der Druck nach unten, bei großen der nach oben leicht größer sein können und deshalb muß in dergleichen Fällen eine Kompensation oder Ausgleichung vorgenommen werden.

Wird der Gasometer beim Sinken schwerer (beim Steigen leichter), so muß man, um einen gleichmäßigen Druck zu erhalten, von seiner Belastung nach und nach abnehmen. Dieses könnte erreicht werden, wenn man an Schnuren von ungleicher Länge, welche über dem Gasometer angebunden sind, das ganze Belastungsgewicht vom höchsten bis zum tiefsten Stande vertheilt angebracht hätte, so daß beim höchsten Stande des Gasometers alle Gewichtstheile auf seiner Decke ruhten und dann bei seinem Herabsinken immer mehr und mehr an den Schnuren schweben blieben. — Gleichmäßiger geht die Entlastung vor sich, wenn man den Gasbehälter mittelst feiner Ketten



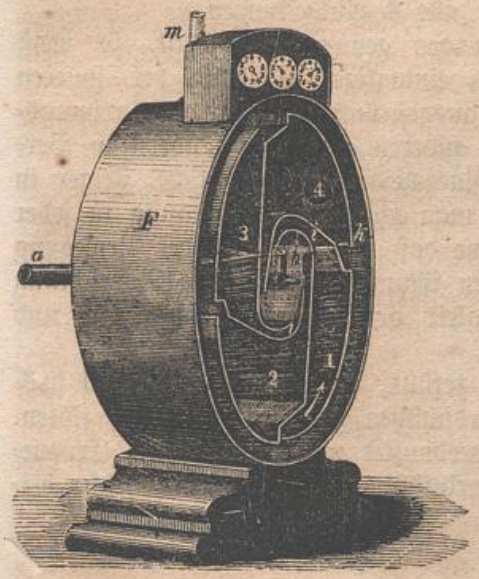
(Fig. 154.)

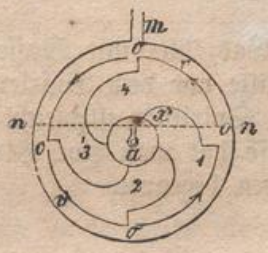
an das eine Ende e (Fig. 154) eines Kreisbogens eak hängt, zu welchem der Radius oa der eine Arm eines Hebels aoc ist, an dessen anderem Ende c ein Bogen ncr befestigt ist, dessen Punkte von n nach r hin dem Drehpunkte o immer näher und näher liegen und an welchem bei n eine andere Kette mit dem Gewichte m angehängt ist. Sinkt der Gasometer in der Richtung des Pfeiles bei s, so steigt das Gewicht und weil seine Kette sich dabei an den Bogen ncr anlegt, so kommt es dem Drehpunkte o immer näher, so daß es immer weniger auf seinen Hebelarm ziehend wirkt. Die Krümmung des Bogens muß natürlich nach dem jedesmaligen Gasometer eingerichtet werden, um ein angemessener Gasometerregulator zu sein.

Verlangte der Gasometer bei seinem Sinken eine zunehmende Belastung, wie es u. a. bei einem hölzernen der Fall sein würde, so müßte der Bogen eine Krümmung haben, welche das Gewicht von dem Drehpunkte entfernte.

Gasuhren.

Von ganz besonderer Wichtigkeit sind die Gasuhren, Gaszähler, oder, wie man sie gewöhnlich auch wohl nennt, die Gasometer, weil sie die Menge des verbrannten Gases sehr genau bestimmen lassen. Wenn bei einem bestimmten Drucke im Gasometer die Flammen in einer unveränderten Größe erhalten würden, wie es wohl möglich wäre; so würde in bestimmter Zeit auch ein bestimmter Gasverbrauch stattfinden. Aber dessen ungeachtet wäre eine Kontrolle über die Gasflammen immerhin um so unausführbarer, je vielseitiger der Verbrauch ist. Die Erfindung eines Instrumentes für die genaue Messung des verbrannten Gases war also sowohl für die Gasanstalten, als auch für die Gasverbraucher ein dringendes Bedürfniß, welchem in einer sehr sinnreichen und für beide Theile absolut genügenden Weise entsprochen worden ist. Fig. 155 (1) zeigt links das Innere des Gaszählers nach Wegnahme der vorderen Deckplatte von der Seite und rechts den Querschnitt. F ist eine





(Fig. 155.)

zylinderförmige völlig abgeschlossene Trommel von Eisenblech, um ihre röhrenförmige und horizontal liegende Axe ist eine aus Eisenblech bestehende Vorrichtung drehbar angebracht, welche aus 4 Abtheilungen besteht, die an ihrem äußeren Umfange durch die Oeffnungen o, o, o, o mit dem freien Spielraume r r, also auch untereinander und an ihrem inneren Umfange durch Oeffnungen wie bei x mit dem mittelsten Raume a in Verbindung stehen.

Das Gas gelangt von den Röhrenleitungen aus durch die Röhre a in den mittelsten Raum, würde ohne die Vorrichtungen, als die angeführten, durch die Oeffnungen x in die 4 Abtheilungen, aus ihnen durch die Oeffnungen o in den Zwischenraum r und endlich durch eine von hier ausgehende Röhre m zu den Brennern strömen, ohne daß man eine Messung vorgenommen hätte.

Gießt man aber in die Trommel soviel Wasser, daß es, wie n n es angibt, bis über die Axe steht, aber die Mündung des nach oben gebogenen Gasrohres a, sowie die Verbindung x nach dem Raume 1 noch freiläßt; so kann das zuströmende Gas nur in den obersten Theil dieses Raumes gelangen, und da es einen Druck sowohl auf das absperrende und abgesperrte Wasser, als auch auf einen Theil der Wand der ersten Abtheilung ausübt, so wird diese Abtheilung und natürlich auch die mit ihr fest verbundenen eine Drehung in der Richtung der Pfeile annehmen. Dadurch wird die erste Abtheilung nach und nach gefüllt, ihre Mündung bei c bis zum Niveau des Wassers gehoben, das Gas strömt aus ihr in den Raum r und von da nach m; inzwischen ist aber an die Stelle der ersten Abtheilung die zweite getreten und dieselben Vorgänge wiederholen sich für alle 4 Abtheilungen.

Da der Raum aller 4 Abtheilungen genau bekannt ist, so weiß man auch genau, wieviel Gas nach einmaliger Drehung der inneren Trommel durch a ein- und durch m ausgeströmt ist. Hat die Drehungsaxe ein gezahntes Rad, welches mit anderen gezähnten Rädern in Verbindung ist, durch welche unter Glasscheiben unzugängliche Zeiger in Bewegung gesetzt werden, so kann man aus deren Bewegung zu jeder Zeit den Gasverbrauch erkennen, ohne daß man selbst an der Bewegung irgendwie eine Störung hervorbringen könnte, so daß diese Vorrichtung gegen Unredlichkeit oder Unvorsichtigkeit vollkommen gesichert ist und sicher stellt.

Ist der Gaszähler mit Wasser gefüllt, so muß man ihn bei größerer Winterkälte vor dem Einfrieren schützen oder mit Spiritus füllen. Da aber der Spiritus allzuleicht verdunstet und öfterer einer Erneuerung bedarf, so hat man eine Glycerinlösung vorgeschlagen, welche beiden Uebelständen begegnet.

Heronsball und Spritzflasche.

Wenn Luft, welche einseitig auf eine tropfbare Flüssigkeit wirken kann, eine größere Spannkraft besitzt, so wird sie dann diese Flüssigkeit in Bewegung setzen, wenn der Gegendruck geringer ist. Hat man ein Gefäß (Fig. 156) von beliebiger Gestalt zum Theil mit Wasser gefüllt und geht luftdicht durch seine obere Mündung ein Glasröhrchen bis in die Nähe des Bodens, welches oben etwas zugespitzt ist; so steht das Wasser in ihm ebenso hoch, als im Gefäße, weil die abgesperrte Luft über dem Wasser denselben Druck auf dasselbe ausübt, wie die freie atmosphärische auf das Wasser im Röhrchen.



(Fig. 156.)

Bläst man nun aus den Lungen soviel als möglich Luft durch das Röhrchen ins Gefäß, so entsteht über dem Wasser verdichtete Luft, weil das Wasser durch die hinzugekommene Luft sich nur äußerst wenig zusammendrücken läßt, die hineingebrachte Luft also mit der vorhanden gewesenen fast denselben Raum einnehmen muß.

Hört man zu blasen auf, so springt aus der Röhre sofort ein Wasserstrahl, weil die innere Luft auf das abgesperrte Wasser einen größeren Druck ausübt, als die äußere und dieser größere Druck durch das Wasser bis in die Röhre sich fortpflanzt. Daß der Strahl anfänglich um so höher sein wird, je mehr die Luft zusammengepreßt war und daß er nach und nach niedriger werden muß, ist klar, weil bei dem Abgange des Wassers die innere Luft einen größeren Raum einnehmen kann, wodurch ihre Dichtigkeit und Druckkraft vermindert wird. Schließlich bleibt wegen der größeren Verdichtnng der inneren Luft nur noch die Röhre gefüllt.

Stellt man einen Heronsball mit nicht verdichteter Luft unter die Glocke einer Luftverdünnungspumpe, so fängt er bei der stattfindenden Verdünnung sofort zu springen an, weil auch jetzt die Luft auf das Wasser in der Röhre weniger drückt, als die abgesperrte.

Man kann auch durch Luftverdichtungspumpen in das Gefäß Luft pressen, wenn das Rohr mit einem Hahne versehen ist und sich auf eine solche Pumpe schrauben läßt. Dadurch kann man leicht einen Strahl bis zu 100 Fuß Höhe und darüber erhalten.

Eine kleine Abänderung des Heronsballes ist die in den Apotheken und chemischen Laboratorien so häufig gebrauchte Spritzflasche. Das Ausflußrohr geht, sowie es aus der Flasche tritt, in einer Biegung schräge abwärts und für das Einblasen der Luft ist oben auf der anderen Seite noch eine zweite, bequem eingerichtete Röhre angebracht. Sowie man durch letztere bläst, kommt auch aus der ersten ein Wasserstrahl. Auf diese Weise kann man stoßweise nach Belieben Strahle be-

kommen, durch die man chemische Präparate mit destillirtem Wasser abspült.

Feuerspritze mit Windkessel.

Das Prinzip des Heronsballes wird außerordentlich wichtig, wenn man einen stärkeren und dauernden Wasserstrahl erhalten will, durch welchen einem Feuer viel eher und sicherer Einhalt gethan werden kann, als wenn man blos mit Unterbrechungen Wasser ins Feuer schleudert, so daß es sich in den Zwischenzeiten immer wieder etwas erholen kann.

In einem Kasten befindet sich in der Mitte ein umgekehrter Kessel aus starkem Metalle; an seiner Bodenfläche münden die Röhren von zwei einander gegenüberstehenden Saugdruckpumpen, die ihr Wasser aus dem Kasten erhalten; von der Nähe des Bodens geht durch den Kessel ein Metallrohr, an welches sich außerhalb ein wasserdichter Schlauch mit einem Ausgußrohre an seinem Ende oder auch ein bloßes Ausgußrohr, welches dann drehbar sein muß, anschrauben läßt. Die beiden Pumpenstangen befinden sich an einer gemeinschaftlichen Querstange, die um ihren Mittelpunkt durch die an den beiden Enden angreifenden Menschen auf und ab bewegt werden kann.

Es ist klar, daß bei dieser Verbindung der beiden Pumpen während jeder Bewegung sowohl auf- als auch abwärts in den Windkessel Wasser gedrückt und dadurch die darin enthaltene Luft zusammengepreßt wird. Die verdichtete Luft drückt ihrerseits auch, fortwährend sich ausdehnend, auf das Wasser, welches keinen anderen Ausweg hat, als durch das Springrohr, und somit erzeugt sie einen ununterbrochenen Strahl, wenn nur die Drnckpumpen den Kessel hinreichend mit Wasser versorgen.

Wendet man statt der Menschenhände die Dampfkraft an, so lassen sich solche Spritzen von bedeutenderer Ausdehnung und einer erstaunlichen Wirkungsfähigkeit bauen. In New-York z. B. kostet eine nach den besten Grundsätzen höchst elegant gebaute Dampfspritze 4000 Dollar. Man unterhält bei einzelnen fortwährend ein mäßiges Feuer, und die angeschirrten Pferde stehen dabei, um sie sofort benutzen zu können.

Springbrunnen mit Windkessel.

Es liegt außerordentlich nahe, daß man das Wasser, welches von der über ihm in einem starken Kessel befindlichen verdichteten Luft durch ein von der Nähe des Bodens ausgehendes Rohr getrieben wird, zu einem fortwährenden Springstrahle benutzen kann. Es ist hierbei nicht nothwendig, daß der Windkessel dicht unter dem Springrohre liegt, sondern dieses kann mehr oder minder weit fort und zuletzt aufwärts geleitet werden. Auf diese Weise hat man in vielen flachen Gegenden, wo es an einem höher gelegenen Wasserbehälter, von welchem aus der Druck ginge, fehlt, solche künstliche Springbrunnen mit seitwärts ge-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

legenen Dampfmaschinen. Das dazu nöthige Wasser ließe sich durch die Maschinen auch auf Anhöhen in Behälter schaffen, von wo aus zu beliebigen Zeiten die Springbrunnen in Thätigkeit gesetzt werden könnten.

Es ist gleichgiltig, was für ein luftiger Körper den Druck auf das Wasser ausübt. Wären es Wasserdämpfe, so müßte das Wasser, auf welches sie unmittelbar drücken, dieselbe Temperatur haben wie sie selbst, weil, wenn die Temperatur eine niedrigere ist, ein Theil dieser Dämpfe zu Wasser wird, wodurch ihre Druckkraft geringer geworden ist.

In Zuckerfabriken wird der in den unteren Räumen des Gebäudes durch Pressung erhaltene zuckerhaltige Saft in gleicher Weise in obere, oft 40 Fuß höhere Behälter gebracht, um ihn von da durch Kohlenfilter abklären zu lassen.

Die Geiser.

Wenn nun in feuerspeienden Bergen innere Gewässer, welche einseitig abgesperrt sind, mit dem Feuer in Berührung kommen; so werden sie theilweise in Dämpfe verwandelt. Wiederholt sich dieser Vorgang unter sich gleichbleibenden Bedingungen, so können die entwickelten Dämpfe endlich eine solche Spannkraft erhalten, daß sie im Stande sind, zeitweise bedeutende Wassermassen emporzuschleudern.

Diese Erscheinung zeigen uns auf Island in großartigster Weise die Geiser, mit welchem Namen man alle dortigen heißen Quellen mit den verschiedenartigsten Merkmalen bezeichnet. Sehr merkwürdig ist zunächst der Auschrolin oder der brüllende Berg. Aus einer Oeffnung in einer etwa 4 Fuß betragenden Erhöhung von erhärtetem Bolus strömt Dampf mit einem Getöse gleich dem eines Wasserfalles; wirft man Steine hinein, so wird das Toben gewaltiger und die Steine werden hoch emporgeschleudert. Kurze Zeit darauf brechen von verschiedenen Stellen dicke Dampfwolken und Springstrahlen von kochend heißem Wasser hervor. Nach etwa 5 Minuten tritt eine Pause von etwa 2 Minuten ein, um dieselben Erscheinungen zu wiederholen. — Im Thale Reikholt sind auf einem Hügel 16 heiße Quellen, von denen zwei alle 4½ und 3 Minuten mit einander abwechseln, die eine einen Strahl von 12, die andere von 15 Fuß Höhe emportreibend. — Die bedeutendsten heißen Quellen sind zwei Tagereisen vom Hekla entfernt, bei Skalholt unweit Haukadal, wo die umgebenden Eisberge bis in die Wolken reichen und ein wunderbares Naturgemälde darstellen, wenn daneben die zum Himmel geschleuderten Wassermassen mit den umgebenden Dampfwolken den Anblick nicht trüben. Unter den etwa 50 Quellen ist der große Geiser besonders zu bemerken. Er springt aus einer gegen 70 Fuß tiefen Röhre, welche unten 16 bis 18, oben 10 bis 12 Fuß Durchmesser hat, in der Regel auf 80 bis 100, bisweilen aber bis zu 200 Fuß Höhe und noch darüber in einem 8 bis 10 Fuß dicken Strahle, welcher in ein flaches Bassin von etwa 50 Fuß Durchmesser fällt. Bei

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ihm findet der periodische Wechsel nicht regelmäßig statt, indem das Wasser bisweilen mehre Tage ausbleibt, bisweilen aber auch in kurzen Unterbrechungen erscheint. Inzwischen hört man aber stets ein unterirdisches Getöse, dann kommt Dampf und Wasser in einzelnen Stößen und bisweilen wird dann pfeilschnell ein in Dampf gehüllter Wasserstrahl 80 bis 90 Fuß hoch geworfen, von welchem aber einzelne abgelöste Theile eine unglaubliche Höhe erreichen.

Der Heronsbrunnen.

Bewegnng und Leben fesselt uns mehr, als Ruhe und Abgestorbensein. Daher hat man schon im Alterthume selbst in den Wohnräumen springende Brunnen herzustellen gesucht und vermocht. Der Heronsball gibt einen nur kurze Zeit andauernden, nicht hoch gehenden und in seiner Höhe bald abnehmenden Strahl; die in höher gelegenen Räumen und auf den Dächern der Häuser angebrachten Wasserbehälter, von welchen aus Röhren mit Springöffnungen herabgehen, bieten manche Unbequemlichkeiten und selbst Nachtheiliges dar, so daß man sie nur selten anwendet; dagegen gewähren die tragbaren und wenig Raum einnehmenden Heronsbrunnen eine gewisse Annehmlichkeit. Ihre Form ist mehr oder weniger einfach oder elegant. Es ist wesentlich ein Heronsball, bei welchem aber die Verdichtung der das Springen des Wassers bedingenden Luft durch den Druck einer Wassersäule bewirkt und erhalten wird.



(Fig. 157.)

In Fig. 157 ist B ein geschlossenes Gefäß von Metall oder Glas, darüber befindet sich ein zweites A, ebenfalls geschlossenes, mit einem offenen Becken C; durch die Mitte des letzteren geht bis in die Nähe des Bodens vom oberen Gefäße eine offene Röhre i, welche etwas über dem Becken in eine enge Springöffnung endet, so daß das obere Gefäß die Dienste eines Heronsballes thun kann; von dem Boden des Beckens aus geht durch die Decke des oberen Gefäßes eine offene Röhre cae bis in die Nähe des Bodens vom unteren Gefäße und eine andere auch offene Röhre ubo von der Decke des unteren bis in die Nähe der Decke des oberen Gefäßes, so daß die beiden Räume der Gefäße nur durch diese dritte Röhre mit einander verbunden sind.

Hat man nun das obere Gefäß zum größten Theile, also bis in die Nähe der Mündung o, mit bloßem oder auch mit wohlriechendem Wasser gefüllt und gießt man dann in das Becken Wasser, so fließt

dasselbe durch die Röhre cae in das untere Gefäß ab und die Mündung e, also auch die Luft in den Gefäßen, wird bald abgesperrt. Das von nun an herabfließende Wasser nöthigt die Luft in den Gefäßen einen kleineren Raum einzunehmen und dies wird nach und nach um so mehr geschehen, je länger die Röhre cae und je höher der Wasserstand im Becken ist. Wird inzwischen die Springöffnung zugehalten oder durch einen Hahn abgeschlossen, so tritt endlich ein Zeitpunkt ein, in welchem die Spannkraft der abgesperrten Luft und die Druckkraft des Wassers einander das Gleichgewicht halten, so daß vom Becken aus Wasser nicht mehr hinabfließt. Beim Oeffnen der Springröhre erscheint natürlich der Strahl und behält ziemlich eine gleiche Höhe, wenn die Flüssigkeit in das Becken herabfällt, nach dem unteren Gefäße gelangt und so die Spannung der Luft erhält.

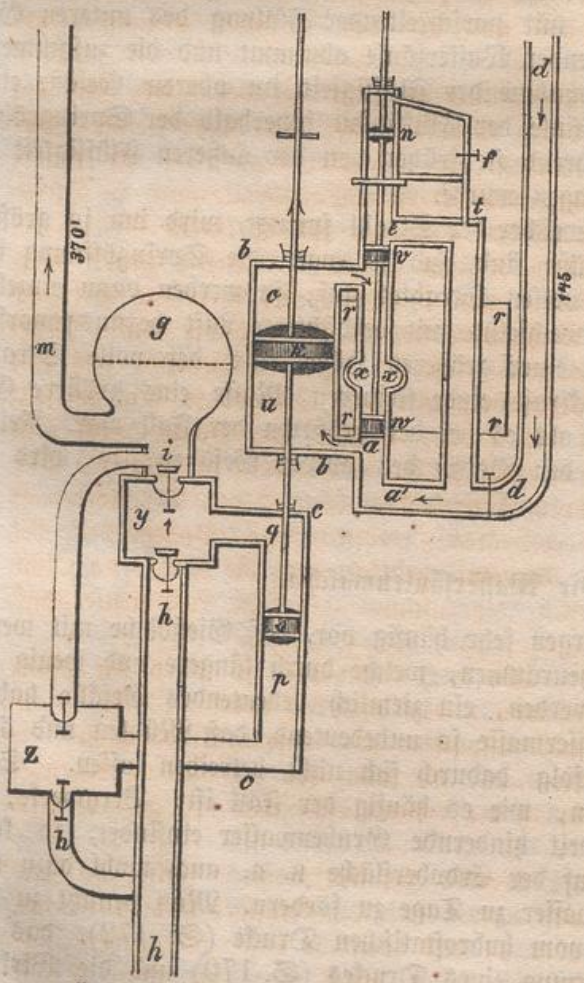
Etwas, wenn auch nicht viel, nimmt allerdings die Höhe des Springstrahles ab, weil mit vorschreitender Füllung des unteren Gefäßes die Höhe der drückenden Wassersäule abnimmt und die zusammengedrückte Luft mit der Abnahme der Flüssigkeit im oberen Gefäße eine immer höher werdende Säule der Flüssigkeit innerhalb der Springröhre selbst zu tragen hat, während sie früher von der äußeren Flüssigkeit in diesem Gefäße mehr getragen wurde.

Die Zeit, während welcher der Strahl springt, wird um so größer sein, je weiter die Gefäße sind und je enger die Springöffnung ist. Hört das Springen des vollen Strahles auf, so werden dann einzelne Theile von Flüssigkeit abwechselnd mit verdichteter Luft herausgeworfen und die ersteren dann zu einer größeren Höhe, als der volle Strahl, weil eine bestimmte Druckkraft einer kleineren Masse eine größere Geschwindigkeit geben muß, als es bei der größeren der Fall war. Reicht die Springröhre fast an den Boden des oberen Gefäßes, so wird es auch fast ganz geleert.

Die Wassersäulenmaschine.

Es kommt in Gebirgen sehr häufig vor, daß Gießbäche mit wenig Wasservorrath in Zwischenräumen, welche durch längere und wenig geneigte Flächen gebildet werden, ein ziemlich bedeutendes Gefälle haben. Nicht selten ist ihre Wassermasse so unbedeutend, daß Mühlen und ähnliche Maschinen mit Erfolg dadurch sich nicht betreiben lassen. Sind aber in solchen Gegenden, wie es häufig der Fall ist, Bergwerke, in denen sich das die Arbeit hindernde Grubenwasser einfindet, so kann man jene Wasserkraft auf der Erdoberfläche u. a. auch wohl dazu verwenden, dieses Grubenwasser zu Tage zu fördern. Man benutzt zu diesem Zwecke das Gesetz vom hydrostatischen Drucke (S. 172), das der ungeschwächten Fortpflanzung eines Druckes (S. 170) und die Wirkung der zusammengedrückten Luft in Windkesseln.

Leitet man Wasser von einer bedeutenden Höhe in verhältnißmäßig nicht weiten Röhren abwechselnd in die beiden Abtheilungen eines weiten Stiefels, in welchem ein Kolben oder Embolus wasserdicht beweglich ist; so wird es diesen Kolben hin und her bewegen, wenn nur dafür gesorgt ist, daß das Wasser aus dem Raume, nach welchem hin die Bewegung geschieht, rechtzeitig abfließen kann. Die Größe der Druckkraft des Wassers läßt sich aus der Größe der Kolbenfläche und Höhe der Wassersäule leicht berechnen. Statt blos einen Stiefel zu gebrauchen, kann man zwei mit abwechselndem Kolbengange oder einen doppelt wirkenden anwenden, wodurch man den Vortheil erreicht, daß man ein Schwungrad anbringen kann, welches die gleichmäßige Bewegung der Maschine erhält, wobei auch das Druckwasser in Bewegung bleibt und somit kräftiger wirkt; denn bei den einfach wirkenden Maschinen kommt das Druckwasser zum Stillstande, während der Kolben den Rückweg antritt, und es währet immer einige Zeit, bis sie wieder ganz in Bewegung gelangt. Daß man hierbei Krümmungen, und vorzüglich scharfe, möglichst vermeiden muß, ist wohl selbstverständlich. Man kann bei gutem Baue der Maschinen bis 0,8 der berechneten Kraft wirklich erreichen, wie es bei den von v. Reichenbach für das Heben von Salzsoole in Baiern mehrfach gebauten der Fall ist. Das Wesentlichste einer doppelt wirkenden Wassersäulenmaschine, welche mit einem Druckwasser von 145 Fuß Höhe die Salzsoole auf 370 Fuß hebt, wird durch folgende Darstellung sich ergeben. — In Fig. 158 kommt das Druckwasser



(Fig. 158.)

in der Röhre dd herab und kann abwechselnd unterhalb und oberhalb des Kolbens k in den Kraftzylinder bb geleitet werden. Nach dem unteren Raume geht die Zuleitung durch aa, nach dem oberen durch ee. Die Mündungen in diese Räume können durch ein Schieberventil in der nebenanstehenden Verbindungsröhre beider mit den an einer gemeinschaftlichen Stange befindlichen Schieberkolben v und w abwechselnd geschlossen und geöffnet werden. Dieses Verbindungsrohr mündet bei xx in einen Kasten rr, welcher das verbrauchte Druckwasser aufnimmt.

In dem durch die Zeichnung dargestellten Falle gelangt das Druckwasser von dd durch aa nach u und preßt den Kolben k aufwärts; dem über k etwa befindlichen Wasser ist von o aus der Weg nach x offen, indem die Schieberventile die ihnen gestattete höchste Stellung haben. In dem Augenblicke, in welchem der Kolben oben angelangt ist, müssen die Ventile v und w soweit herabgehen, daß das Wasser von dd durch ee nach o gelangen und das von u durch a nach x abfließen kann.

Die Kolbenstange des Kraftzylinders geht an der Decke und am Boden desselben wasserdicht durch Stopfbüchsen; ihre obere kleine Querstange hilft, wie wir sehen werden, die Maschine reguliren; der untere Theil setzt die Arbeitsmaschine, nämlich eine Saugdruckpumpe in Bewegung. Der daran befestigte Kolben s bewegt sich in einem Stiefel cc, dessen beide durch ihn gebildete Räume p und q mittelst zweier Verbindungsröhren zu zwei Kasten z und y führen, die ihrerseits mit dem in die Tiefe herabgehenden Saugrohre hh in Verbindung stehen. Jeder dieser beiden Kasten hat zwei nach oben sich öffnende Ventile, das eine am Boden, welches die Verbindung mit der Saugröhre hh herstellt und aufhebt, das andere an der Decke, welches die Soole durch i in einen Windkessel g und von da aus in das Steigerohr m gelangen läßt.

Bei dem in der Zeichnung dargestellten Gange des Arbeitskolbens nach aufwärts geht auch s aufwärts, wodurch das Bodenventil des Kastens y geschlossen, das Deckenventil geöffnet und die Soole nach dem Windkessel und von hier durch die zusammengedrückte Luft weiter aufwärts gepreßt wird.

Ginge der Arbeitskolben, also auch s abwärts; so würde die Soole von y aus durch hh gesaugt, von z aus nach ig gedrückt; also ist bei dieser doppelt wirkenden Saugdruckpumpe mit einem Arbeitsstiefel ein Stillstand sowohl des Druckwassers, als auch der zu- und abfließenden Soole nicht vorhanden, wodurch die Leistungsfähigkeit der ganzen Maschine eine größere ist.

Soll aber der Gang des Werkes zweckentsprechend sein, so darf man den rechtzeitigen Zu- und Abfluß des Druckwassers nicht Menschenhänden überlassen, sondern übergibt das Geschäft einer viel zuverlässigeren Kraft, nämlich der Maschine selbst durch eine sogenannte Selbststeuerung.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

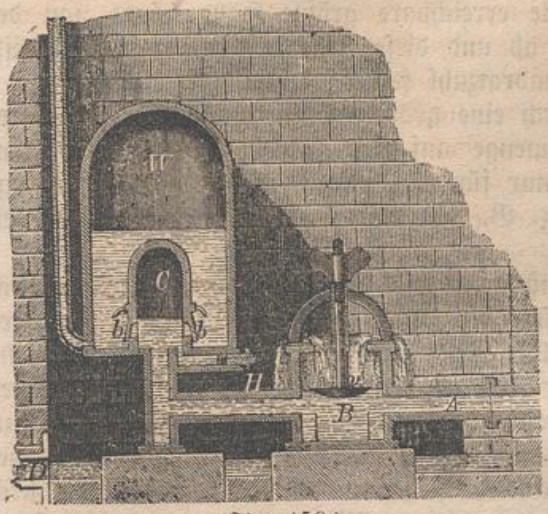
Die Stange, welche die beiden Schieberventile v und w, von deren rechtzeitiger Bewegung der Zu- und Abfluß des Druckwassers abhängt, trägt, hat oben eine Fortsetzung mit einem dritten Kolben u, welcher sich wasserdicht in einem kleinen Stiefel bewegt. Die beiden Räume dieses Stiefels bekommen von der Röhre e aus durch die Röhre t, welche sich nach unten und oben verzweigt, ihr Wasser, welches sich durch den bei f angebrachten Vierweghahn abwechselnd nach dem oberen und unteren Raume leiten läßt und zwar in den Augenblicken, in welchen der Arbeitskolben k beziehungsweise seine höchste und tiefste Stelle erreicht hat. Durch dieselben zwei Röhren und den Hahn wird das in dem kleinen Stiefel verbrauchte Wasser in den Kasten rr abgeleitet, was man sich leicht denken kann.

Alles kommt nun darauf an, daß der Hahn rechtzeitig gedreht wird. Dieses geschieht, indem derselbe mit einem hier nicht gezeichneten drehbaren Gestänge mit zwei Seitenarmen, an deren Enden sich kurze Bogen befinden, verbunden ist. Sowie der Kolben k sich den Enden seiner Bahn nähert, stößt das Querstück der Kolbenstange an den betreffenden Bogen und das Gestänge bewirkt die angemessene Drehung des Hahnes.

Die bemerkenswertheste Anwendung hat die Wassersäulenmaschine wohl in Baiern gefunden, wo eine Salzsoole aus einer holzarmen Gegend 370089 Fuß weit durch unebene Gegenden geführt worden ist und in verschiedenen Absätzen im Ganzen auf 3727 Fuß gehoben werden mußte, obwohl der Höhenunterschied des Ausgangs- und Endpunktes nur 282 Fuß beträgt. Von der Grube zu Illsang bei Berchtesgaden bis Reichenhall beträgt die Leitung 97281 baikische Fuß und die Soole wird in drei Absätzen 50, 311 und 1218 Fuß gehoben; von Reichenhall bis Hammer auf 72618 Fuß Entfernung sind sechs Hebungen von 44, 190, 220, 400, 125 und 370 Fuß; von Hammer bis Rosenhain 200190 Fuß weit, wird die Soole fünfmal gehoben auf 200, 175, 200, 180 und 44 Fuß. Unter den Maschinen sind nur drei bloße Pumpenwerke.

Der Stoßheber, hydraulische Stößer.

Hat man fließendes Wasser, gleichgiltig ob das Fließen durch das Gefälle eines Baches oder Flusses oder durch den Druck von Wasser in einem höher gelegenen Behälter hervorgebracht worden ist; so kann man die in dem Beharrungsvermögen des bewegten Wassers liegende Kraft benutzen, um einen Theil dieses Wassers zu einer oft nahmhaft größeren Höhe zu bringen, als woher das treibende Wasser kommt. Man könnte statt dessen auch bedeutendere Wassermengen auf verhältnißmäßig geringe Höhen bringen, was u. a. zur Bewässerung von Wiesen und anderen Zwecken nützlich sein würde, zumal die Anlage wenig kostspielig und ohne große Umstände auch verlegbar ist.



(Fig. 159)

Fig. 159 gibt eine Vorstellung davon. Auf der oberen Seite einer ziemlich weiten Röhre A, welche bei B eine Erweiterung hat, ist eine Oeffnung, welche von innen her durch das Ventil v geschlossen werden kann; das benachbarte Ende dieser Röhre geht aufwärts und hat zwei sich nach außen sehr leicht öffnende Ventile b, b, welche unmittelbar in einen Windkessel W führen, von dessen Boden eine offene Röhre aufwärts geht.

Will man die Maschine in Thätigkeit setzen, so zieht man das Ventil v an die Röhrenwand, so daß es die Röhre schließt. A ist mit W und dem Steigerohre unmittelbar verbunden, und daher wird letzteres nach dem Gesetze der kommunizirenden Gefäße ebenso hoch gefüllt, als das Druckwasser in A steht; ist aber der Windkessel vorhanden, so wird ein Theil dieses Kessels auch erfüllt, die Luft darüber in W zusammengedrückt, so daß sie ihrerseits den Druck auf das Niveau wiedergibt und weiter auf das Wasser an der Mündung der Steigröhre und in sie fortpflanzt, wodurch dieselbe Höhe erreicht wird.

Ist dieses geschehen, so wird das Ventil v, welches nicht sehr schwer sein darf, durch den Druck des stillstehenden Wassers festgehalten; drückt man es aber hinab, so beginnt bei ihm der Ausfluß des Wassers und die ganze Wassermasse des Druckrohres A geräht in Bewegung. Läßt man dann das Ventil los, so wird es durch den Druck des Wassers wieder gehoben und das bewegte Wasser hat bei ihm keinen Ausweg mehr; aber da es nach dem Beharrungsgesetze in Bewegung bleiben will, so stößt es das Ventil b auf und dringt theilweise in den Windkessel und das Steigerohr, wodurch es in letzterem zu einer etwas größeren Höhe gelangt. Da aber die Kraft des stoßenden Wassers durch den Widerstand des anderen in der Steigröhre und im Kessel bald aufgehoben wird, so fängt es an durch die Ventile bb theilweise wieder zurückzugehen, wodurch sie aber sofort geschlossen werden und das Ventil v, seinem Gewichte folgend, und bei der Verminderung des Druckes auf dasselbe, herabfällt.

Nun beginnt bei v wieder der Ausfluß des Wassers; die ganze Wassermasse in der Druck- oder Fallröhre kommt in Bewegung und hat diese eine gewisse Geschwindigkeit erlangt, so wird dadurch v wieder zu- und bb wieder aufgedrückt, so daß das Wasser in der Steigröhre

noch höher hinaufdringt. Die erreichbare größte Höhe hängt von der Kraft des stoßenden Wassers ab und diese steht in gradem Verhältnisse zu seiner Masse und der Quadratzahl seiner Geschwindigkeit.

Man wird demnach durch eine größere Wassermasse von geringerer Fallhöhe eine kleinere Wassermenge auf eine größere Höhe fördern können. Der Windkessel sorgt nur für eine ununterbrochene Ausströmung; er würde in vielen Fällen, z. B. für die Bewässerung von Ländereien unentbehrlich sein.

Höchst wichtig ist es, daß man das Gewicht des Ventiles v nach der Kraft des stoßenden Wassers einrichtet, wenn die Maschine ununterbrochen im Gange bleiben soll. Tritt auch bei sonst angemessener Einrichtung einmal nach längerer Zeit ein Stillstand ein, so ist ein kleiner Stoß auf das Ventil v hinreichend, um sie wieder in Thätigkeit zu setzen. Dieses Ventil kann auch am Ende der Zuleitungsröhre angebracht sein, und aus einer lothrecht stehenden Klappe bestehen, die durch ein äußerlich angebrachtes Gegengewicht geöffnet wird, wenn der Stoß des Wassers aufgehört hat.

Man hat dergleichen Maschinen je nach der zu Gebote stehenden Wasserkraft von sehr verschiedenen Dimensionen gebaut.

Um einen Begriff von ihrer Wirkungsfähigkeit zu geben, wollen wir einige Beispiele anführen.

Bei einer Zuleitungsröhre von 5 Zoll Durchmesser und 12 Fuß Länge wechselte das Spiel der Ventile in einer Minute 12 bis 15 mal und die Steigröhre hatte bei 1,5 Zoll Durchmesser gegen 30 Fuß Höhe.

In einem anderen Falle war die Leitröhre 4 Zoll 7 Linien weit, 25 Fuß lang und hatte 18 Zoll Gefälle; die Steigröhre hatte 9 Fuß 9 Zoll Höhe und das Ventil machte 30 Stöße in der Minute. Die Maschine hob die Hälfte des verbrauchten Wassers.

Zu Clermont-Oise wurde eine angewendet, deren Leitröhre 0,027 Meter Weite, 33 M. Länge, 7 M. Fallhöhe und deren Steigröhre 420 M. Länge, 60 M. Höhe hatte. Sie lieferte bei einem Wasseraufwande von 12,4 Liter in jeder Minute 0,972 Liter, was einen Nutzerfolg von etwa 62 Prozent gewährt.

Vierte Abtheilung.

Verschiedenartige Massenbewegungen.

Wir haben bereits im zweiten Abschnitte der ersten Abtheilung dieses Werkes von den Bewegungsarten im Allgemeinen und von den sie erzeugenden Kräften, welche nach der Dauer und Stärke ihrer Einwirkung verschieden sein können, gesprochen. Nun wollen wir einzelne besondere Bewegungsarten ganzer Körper und die Bedingungen ihrer Entstehung etwas näher betrachten.

Das freie Fallen.

Es geht die Sage, daß der durch seine Forschungen unsterblich gewordene Newton, als er im Jahre 1666 der Pest wegen sich von Cambrigde nach seinem Landgütchen Wootsthorpe begeben hatte, durch das Fallen eines reifen Apfels von dem Baume, unter welchem er sich befand, zu den so ungemein wichtig gewordenen Gesetzen des freien Fallens geführt worden sei. Es ist nicht wahrscheinlich, daß ein Forscher, welcher mit bewundernswürdigem Scharfsinne ebenso sehr das unendlich Große, wie das unendlich Kleine durchdrang, einer so unbedeutenden Veranlassung bedurft haben wird, um Gesetze zu entdecken, welche die Weltkörper regieren; es ist vielmehr glaublich, daß Newton der Madam Conduit, seiner freundlichen Wirthin, von welcher die ganze Erzählung herrührt, die Gesetze des Fallens durch das Fallen eines Apfels von einem Baume, aus dessen Holz man nach seinem Umsturz durch den Wind einen heute noch aufbewahrten Stuhl angefertigt hat, anschaulich zu machen suchte und daß diese nachher die gegebene Erläuterung mit der allerdings um diese Zeit stattfindenden Auffindung des Gravitationsgesetzes in Verbindung brachte.

Wir wissen, daß ein Stein, welcher, durch irgend eine Unterlage gestützt, in relativer Ruhe sich befindet, wegen seiner Schwere oder des Bestrebens der Erde, ihn an sich zu ziehen, auf diese Unterlage einen

Druck ausübt; wir wissen es aus den alltäglichsten Erfahrungen, daß der Stein, seiner Stütze beraubt, sich in lothrechter Richtung nach der Erdoberfläche hin bewegt, oder daß er fällt.

Der fallende Körper kommt während des Fallens dem Erdmittelpunkte, als dem Sitze der anziehenden Kraft, immer näher und näher, und insofern wird er, je näher er der Erdoberfläche kommt, immer stärker angezogen; aber weil der Unterschied der Entfernungen des Erdmittelpunktes von verschiedenen Punkten seiner Bahn in Beziehung auf die Größe des Erdradius als verschwindend klein angesehen werden kann, so können wir, ohne einen irgend merklichen Fehler zu begehen, sagen, daß ein an der Erdoberfläche fallender Körper fortwährend von einer sich stets gleichbleibenden Kraft getrieben wird. Ein Stein oder irgend ein anderer Körper wird also auf der Höhe eines Thurmes von der Erde ebenso stark angezogen, als in der Nähe seines Fußes.

Da die Masse irgend eines einzelnen Körpers an der Erdoberfläche, welcher dem Fallen ausgesetzt ist, gegen die ungeheure Masse der ganzen Erde mit einem Gewichte von 123191 Trillionen Zollzentnern als fast verschwindend klein anzusehen ist, so sind alle Körper, ungeachtet der Verschiedenheit ihres Gewichtes und der Beschaffenheit ihres Stoffes, in gleichem Grade der Erdanziehung ausgesetzt und die Erde muß allen, wenn sie von demselben Orte ausgehen, in gleichen Zeiten dieselbe Geschwindigkeit ertheilen oder:

alle Körper fallen gleich schnell.

Da die bestimmte Kraft der Erdanziehung bei einem anzuziehenden Körper von doppelter Masse auch doppelt soviele Angriffspunkte hat, so muß sie die doppelte Masse mit derselben Leichtigkeit in Bewegung setzen, wie die einfache, so daß die Fallgeschwindigkeit von der Masse der Körper in der That ganz unabhängig ist.

Diese soeben ausgesprochene Behauptung möchte vielleicht von Manchem bezweifelt werden: denn wir können es ja alle Tage sehen, daß eine Flaumfeder sehr langsam, ein Stückchen Holz weit schneller und eine Bleikugel noch schneller fällt, wenn man sie auch von gleicher Höhe losläßt. Ebenso fallen die Schneeflocken langsamer, als Regentropfen oder Hagelkörner. Wenn wir aber berücksichtigen, daß der fallende Körper die atmosphärische Luft immerfort aus dem Wege drängen muß, daß also der Erdanziehung ein Widerstand entgegenwirkt, und daß dieser Widerstand von verschiedenen Körpern je nach ihrer Gestalt, ihrem Volumen und Gewichte in einem verschiedenen Grade überwunden wird; so darf uns die Verschiedenheit in der Geschwindigkeit, welche verschiedenartige, aus gleicher Höhe fallende Körper in einem gewissen Punkte erreicht haben, durchaus nicht befremden.

Mittelst der Luftpumpe und eines ganz einfachen Apparates läßt sich leicht zeigen, daß nur der Widerstand der Luft der Grund ist von

der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher verschiedenartige Körper in ihr fallen. Man hat zu diesem Zwecke einen hohen Glaszylinder, welchen man mit seiner unteren Oeffnung auf den Teller einer Luftpumpe setzt; durch die Decke desselben geht luftdicht ein verschiebbarer Metalldraht, an dessen unterem, also innerem Ende drei oder vier kurze Querstücke befestigt sind, welche als Stützen für ebenso viele Klappen dienen, auf welche man verschiedene kleine Gegenstände (z. B. eine Feder, ein Korkstück, ein Metallstück) legt. Die Halter müssen so angebracht sein, daß sie alle bei ihrer gleichzeitigen Drehung durch den Draht die Klappen in demselben Augenblicke fallen lassen, wodurch die darauf befindlichen Gegenstände ihrer Stütze beraubt werden und gleichzeitig zu fallen beginnen. Ist die Luft aus dem Glaszylinder gepumpt worden, so kommen alle gleichzeitig am Boden an.

Wir werden später, wenn wir die Erscheinungen des Pendels werden kennen lernen, noch eine andere interessante Bestätigung davon haben, daß die Erde bei ihrer Anziehung gegen die verschiedenen Körper an ihrer Oberfläche durchaus keinen Unterschied in Betreff des Stoffes macht: sie zieht alle Stoffe gleich stark an.

Kann ein Körper an der Oberfläche der Erde ihrer anziehenden Kraft folgen, so muß seine Bewegung eine gleichmäßig beschleunigte sein.

Denken wir uns zunächst die anziehende Kraft in den Anfängen einzelner, sehr kleiner Zeitabschnitte wirksam, so wird sie dem Körper durch ihre andauernd gleichmäßige Einwirkung am Schlusse eines jeden eine gewisse Geschwindigkeit ertheilt oder in ihn das Bestreben gelegt haben, in dem folgenden Zeitabschnitte einen gewissen Weg auch ohne einen neuen Antrieb blos nach dem Beharrungsvermögen zurückzulegen.

Wenn die am Ende der ersten Sekunde erlangte Geschwindigkeit des Körpers oder die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde a (9,809 Meter oder gegen 30 pariser oder etwa 31 rheinl. Fuß) heißt, so würde er innerhalb der zweiten Sekunde schon blos nach dem Beharrungsvermögen den Weg a zurücklegen. Da aber die anziehende Kraft der Erde während der zweiten Sekunde denselben beschleunigenden Einfluß äußert, wie während der ersten; so hat er am Schlusse der zweiten Sekunde die Geschwindigkeit 2 . a. Dieses wäre der Weg während der dritten Sekunde ohne Erdanziehung; aber mit ihrer sich gleichbleibenden Einwirkung, welche dem Körper auch in der dritten Sekunde die Endgeschwindigkeit a ertheilt, ist seine wirkliche Endgeschwindigkeit 3 . a. Die am Ende der vierten Sekunde würde 4 . a u. s. w. sein. Statt der Sekunden können beliebige viel kleinere Zeiteinheiten gedacht werden; so daß wir das gefundene Gesetz allgemein aussprechen können:

Die Endgeschwindigkeiten eines frei fallenden Körpers wachsen wie die Fallzeiten.

Aus den Geschwindigkeiten, welche der fallende Körper am Anfange

und zu Ende einer jeden einzelnen Zeiteinheit besitzt, lassen sich nun die Fallräume für die einzelnen Zeittheile bestimmen.

Die Geschwindigkeit, welche der Körper am Ende einer jeden einzelnen Sekunde besitzt, hat er durch einen während dieser ganzen Zeit vom Anfange bis zu Ende sich fortwährend gleichbleibenden Antrieb erlangt, so daß er sich mit einer stets gleichmäßig wachsenden Geschwindigkeit bewegt hat. Es ist nun für die Beurtheilung der Größe des in der ganzen Sekunde zurückgelegten Weges, d. h. für die Geschwindigkeit, welcher eine gleichmäßige Bewegung zum Grunde liegt, einerlei, ob wir annehmen, daß der Körper sich mit jener gleichmäßig wachsenden oder mit der mittleren Geschwindigkeit aus denen für alle einzelnen, in der Sekunde gedachten gleichen Zeitabschnitte bewegt. Es würde z. B. für einen Landwirth denselben Erfolg haben, wenn er, statt in fünf aufeinander folgenden Jahren von einem Ackerstücke die Erträge von 100, 105, 110, 115, 120 Thalern, in jedem der fünf Jahre eine Einnahme von 110 Thalern hätte, welches entweder der fünfte Theil von der Summe aller Erträge oder die Hälfte der Summe des ersten und letzten Ertrages ist.

Ganz ebenso können wir bei der Bestimmung der Fallräume für einzelne Zeiteinheiten rechnen.

Für die erste Sekunde fing der Körper mit der Geschwindigkeit Null an und erlangte am Schlusse die Geschwindigkeit a. Es ist für die Größe des ganzen in dieser Sekunde zurückgelegten Weges einerlei, ob der Körper mit einer gleichmäßigen Beschleunigung von 0 bis zur Geschwindigkeit a oder mit der gleichmäßigen Bewegung, welche das Mittel von 0 und a ist, nämlich mit der Geschwindigkeit $\frac{a}{2}$ gegangen ist. Da aber die Geschwindigkeit der in der Zeiteinheit zurückgelegte Weg ist, so hat der fallende Körper in der ersten Sekunde den Weg $\frac{a}{2}$ zurückgelegt, wenn a die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde war.

Da die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde zugleich die Anfangsgeschwindigkeit für die zweite ist und die Endgeschwindigkeit dieser letzteren $2 . a$ beträgt; so ist es für die Größe des in der zweiten Sekunde zurückgelegten Weges einerlei, ob der Körper mit der von a bis $2 . a$ gleichmäßig wachsenden Geschwindigkeit gegangen ist, oder ob er mit der mittleren Geschwindigkeit zwischen a und $2 . a$, d. mit $\frac{a + 2 . a}{2} = \frac{3 . a}{2}$ oder $3 . \frac{a}{2}$ gleichmäßig gegangen wäre. Es ist also $3 . \frac{a}{2}$ auch der innerhalb der zweiten Sekunde zurückgelegte Weg.

Ganz ebenso werden die Wege für die folgenden Sekunden bestimmt; er ist also für die dritte Sekunde $\frac{2 \cdot a + 3 \cdot a}{2} = \frac{5 \cdot a}{2} = 5 \cdot \frac{a}{2}$, für die vierte $\frac{3 \cdot a + 4 \cdot a}{2} = \frac{7 \cdot a}{2} = 7 \cdot \frac{a}{2}$ u. s. f., so daß bei $\frac{a}{2}$ oder dem Fallraume der ersten Sekunde als Faktoren der Reihe nach die ungraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9 u. s. f. stehen und sich als Gesetz ergibt:

Die Fallräume der einzelnen Zeiteinheiten wachsen wie die ungraden Zahlen.

Weiß man vom Beginne des Fallens an die Räume für die einzelnen Zeiteinheiten, so darf man diese Räume, immer vom ersten anfangend, nur addiren, um den Raum, durch welchen der Körper in der ganzen für sein Fallen nothwendigen Zeit gegangen ist, zu erhalten. Es ist natürlich der Fallraum für zwei Sekunden die Summe der Räume der beiden ersten, der Fallraum für drei Sekunden die Summe der Räume der drei ersten u. s. w.

Es ergeben sich demnach als Fallräume:

für 1 Sekunde . . . . . $1 \cdot \frac{a}{2}$

für 2 Sekunden $1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} = 4 \cdot \frac{a}{2}$

für 3 Sekunden $1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} + 5 \cdot \frac{a}{2} = 9 \cdot \frac{a}{2}$

für 4 Sekunden $1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} + 5 \cdot \frac{a}{2} + 7 \cdot \frac{a}{2} = 16 \cdot \frac{a}{2}$

für 5 Sekunden $1 \cdot \frac{a}{2} + 3 \cdot \frac{a}{2} + 5 \cdot \frac{a}{2} + 7 \cdot \frac{a}{2} + 9 \cdot \frac{a}{2}$

$= 25 \cdot \frac{a}{2}$ u. s. w.

Es stehen also bei $\frac{a}{2}$ oder dem Fallraume der ersten Sekunde der Reihe nach die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25, 36 u. s. w., d. h. die Quadratzahlen der Fallzeiten von 1, 2, 3, 4, 5, 6 u. s. w. als Faktoren und somit gilt als Gesetz:

Die ganzen Fallräume wachsen wie die Quadrate der Fallzeiten.

Dieses letztere Gesetz läßt sich auch nach der Entwickelung des ersten sofort als richtig erkennen, wenn man aus der Anfangs- und der End-

geschwindigkeit für die Anzahl von Sekunden, durch die der Körper gefallen ist, die mittlere Geschwindigkeit aufsucht, und diese mit der betreffenden Anzahl von Fallsekunden multiplizirt. Der Fallraum der ersten Sekunde war $\frac{1}{2}$ a. — Die Endgeschwindigkeit nach 2 Sekunden war 2a, die Anfangsgeschwindigkeit 0, das Mittel $2 \cdot \frac{a}{2}$. Geht der Körper mit dieser mittleren Geschwindigkeit 2 Sekunden, so ist der Weg $4 \cdot \frac{a}{2}$. — Das Mittel zwischen der Anfangsgeschwindigkeit 0 und Endgeschwindigkeit nach 3 Sekunden ist $3 \cdot \frac{a}{2}$, also der Weg in 3 Sekunden $9 \cdot \frac{a}{2}$ u. s. w.

Wie sicher auch die blos durch unfehlbare Schlüsse aus der Natur der Sache erhaltenen obigen Gesetze sind, so schwierig ist es, dieselben durch die Erfahrung unmittelbar zu bestätigen, nicht nur weil der Widerstand der Luft zu berücksichtigen ist, sondern weil ungeachtet dieses Widerstandes, den man durch die Wahl der fallenden Körper freilich wohl theilweise sehr gering machen kann, die Geschwindigkeiten bald so bedeutend werden, daß die zurückgelegten Räume scharfen Beobachtungen sich entziehen. Man hat daher auf Mittel denken müssen, die Bewegungen zu verlangsamen, also nur einen Theil der Erdanziehung zur Wirkung gelangen zu lassen, ohne in der Stetigkeit der Einwirkung der Kraft etwas zu ändern.



(Fig. 160.)

Denken wir uns eine Rolle (Fig. 160) um ihre horizontale Axe o außerordentlich leicht drehbar, um diese Rolle in ihrem ausgetieften Umfange eine Schnur gelegt, an deren Enden zwei gleich schwere Gewichte m und n befindlich sind; so ist diese Vorrichtung als eine im Gleichgewichte befindliche Gleichwage anzusehen, deren Arme die horizontalen Strahlen oa und oc sind, wobei die herabhängenden beiden Schnurentheile als gleich schwer angesehen werden müssen. Zieht man das Gewicht n etwas herab oder hinauf, so wird das Gleichgewicht nicht gestört, wenn die Verlängerung oder Verkürzung des betreffenden Schnurentheils einen merklichen, die nicht ausbleibende Reibung der Drehungsaxe nicht übertreffenden Gewichtsunterschied nicht hervorbringt, wie es bei einer sehr zarten Schnur wohl angenommen werden kann.

Wenn man nun an n ein kleines Gewicht x hängt, so stört dieses das Gleichgewicht: n und x fallen, m steigt. Das Uebergewicht x bringt allein die Bewegung der sämmtlichen drei Massen m, n und x hervor, wobei es die Masse n abwärts, die Masse m aufwärts zu

bringen hat. Es ist also nicht möglich, daß es mit der ihm allein zukommenden Schwerkraft fallen kann, sondern es muß sovielmal langsamer fallen, als wie oft sein Gewicht in dem Gewichte der Gesammtmasse, deren Beharrung überwunden werden muß, enthalten ist. — Hätten m und n das Gewicht von je 7 Lothen und wäre x nur ein Loth schwer, so würde es fünfzehnmal langsamer fallen, als wenn es sich selbst überlassen wäre. Fiele es also unter diesen Umständen in der ersten Sekunde einen Fuß, so würde es freifallend 15 Fuß zurücklegen, wie es auch so ziemlich der Fall ist, denn zu Paris beträgt der Fallraum der ersten Sekunde 15,598 Fuß, also der der zweiten 3 . 15,598 = 46,794; der dritten 5 . 15,598 = 77,990 u. s. w. Der Körper fällt in zwei Sekunden durch 62,392, in 3 Sekunden, durch 140,382 Fuß, durch 10 Sekunden 1559,8 Fuß u. s. w.

Atwood hat zur Bestätigung der obigen Fallgesetze nach den soeben angegebenen Rücksichten, welche die Geschwindigkeit und den durchlaufenen Weg nur von der Zeit abhängig machen, eine besondere und sinnreich erdachte Maschine angegeben, bei welcher die Reibung durch sogenannte Friktions- oder Reibungsrollen, welche sich drehen, wenn die Axe der großen Rolle an ihren Umfängen sich bewegt, außerordentlich vermindert ist Auf einem dreieckigen Brette mit drei Füßen, von denen zwei Schrauben sind, um es horizontal einzustellen, ist lothrecht eine Leiste angebracht, welche eine Eintheilung in etwa 64 Zolle (auch 81 oder 49) enthält; an diese Leiste lassen sich zwei verschiebbare Metallplättchen befestigen (wenn auch nur durch Klemmung), von denen das eine kreisförmig durchbrochen ist, um die zylindrischen Gewichte bequem durchschlüpfen zu lassen. Die Uebergewichte sind doppelt gestaltet; die einen sind kreisförmige Plättchen mit einem Ausschnitte, um sie auf die zylindrischen Gewichte so legen zu können, daß sie mit ihnen durch die Oeffnungen der Scheiben schlüpfen; die anderen bestehen aus Metallstreifen, welche länger sind, als der Durchmesser der Oeffnungen, so daß sie beim Fallen des Gewichtes auf den Scheiben zurückgelassen werden. Nebenbei ist ein Pendel, welches seine Schwingungen durch Schläge bemerklich macht und entweder Sekunden oder andere gleiche Zeittheile angeben kann. Außerdem ist eine Vorrichtung, um die Bewegung in einem bestimmten Augenblicke beginnen zu lassen.

Hat man die Länge des Pendels so eingerichtet, daß es genau 8 Schläge macht, während das mit dem Uebergewichte versehene Gewicht den Raum von Null bis 64 durchlauft; so langt dieses Gewicht nach dem ersten Schlage bei 1, nach dem zweiten bei 4, beim dritten bei 9, beim vierten bei 16 u. s. w. an, so daß die Fallräume der ganzen Zeiten in der That wie die Quadratzahlen der Fallzeiten sich verhalten. Um die Beobachtung selbst genau anzustellen, bringt man die undurchbrochene Scheibe nach und nach invoraus auf die mit 1, 4, 9, 16 bezeichneten Theilpunkte des Maßstabes und hört dann das fal-

lende Gewicht in den richtigen Augenblicken in der That aufschlagen. Es ist natürlich, daß beim Beginne eines jeden Versuches die untere Fläche des Gewichtes genau auf Null stehen muß.

Ist dieses Gesetz bestätigt, so liegt darin auch die Bestätigung der beiden ersten, weil jenes ohne diese nicht stattfinden kann; es kann aber auch noch durch einen besonderen Versuch gezeigt werden, wie groß die Endgeschwindigkeit des fallenden Körpers in jedem beliebigen Punkte ist. Es ist für diesen Fall nothwendig, daß grade in diesem Punkte das Uebergewicht beseitigt wird und das Gewicht mit der bis dahin erlangten Geschwindigkeit gleichmäßig und nicht beschleunigt weiter fortgeht. Zu diesem Zwecke bringt man die durchbrochene Scheibe an den betreffenden Punkt des Maßstabes und gebraucht als Uebergewicht einen Metallstreifen, welcher an diesem Punkte auf der Scheibe liegen bleibt, so daß das Gewicht allein, also ohne Beschleunigung, weiter fortgeht.

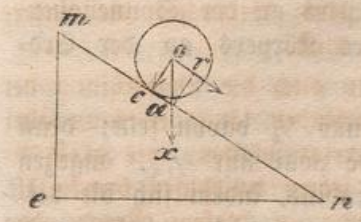
Wenn a die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde oder $\frac{a}{2}$ der Fallraum der ersten Sekunde war, so war die Endgeschwindigkeit der fünften Sekunde 5a oder der Körper müßte fortan in jeder folgenden Sekunde ohne Beschleunigung 5a zurücklegen. Nehmen wir nun an, der Fallraum der ersten Sekunde sei 1 Zoll, also die Endgeschwindigkeit der ersten Sekunde 2 Zoll, so müßte die Endgeschwindigkeit der fünften Sekunde 5 . 2″ oder 10″ sein. Und in der That! Wenn man die durchbrochene Scheibe bei 25, wo das Gewicht am Schlusse der fünften Zeiteinheit anlangt, befestigt, und das Gewicht von Null an loßläßt; so geht es, nachdem es an dem Theilpunkte 25 sein Uebergewicht verloren hat, in jeder folgenden Zeiteinheit durch 10, also in fünf Zeittheilen durch 50 Theile des Maßstabes.

Es ergibt sich hieraus zugleich, daß ein fallender Körper einen doppelt so großen Weg zurücklegen würde, wenn er mit der am Ende einer gewissen Zeit erlangten Geschwindigkeit gleichmäßig ebensolange fortginge, als es bereits geschehen ist.

Nach diesen Angaben wird es leicht ausführbar sein, für beliebige Uebergewichte die Versuche anzustellen und auch die Größe der Uebergewichte für gewisse Fallräume zu berechnen.

Ein anderes Mittel, durch Beobachtung einer langsamen Bewegung, welche durch eine fortwährend und gleichmäßig wirkende Kraft eine gleichmäßige Beschleunigung hervorbringt, die Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers zu ermitteln, besteht in der Anwendung einer recht gut polirten Kugel, welche auf einer ebenso beschaffenen, gegen den Horizont geneigten Ebene herabrollt.

Liegt die Kugel auf einer horizontalen Ebene, so drückt sie auf dieselbe mit ihrem ganzen absoluten Gewichte und würde ohne diese oder eine andere Unterlage auch mit der in diesem Gewichte liegenden Kraft



(Fig. 161.)

fallen; befindet sie sich aber auf der schiefen Ebene mn (Fig. 161), so steht ihre Schwerlinie ox, in deren Richtung die Kraft wirkt, nicht lothrecht auf ihr, sondern bildet schiefe Winkel, wirkt also nicht ganz, sondern nur zum Theil. Nehmen wir die Linie oa als das Maß der absoluten Kraft an, so läßt dieselbe sich in zwei Seitenkräfte auflösen, von denen die eine oc auf die schiefe Ebene mn lothrecht drückend wirkt und durch ihren Widerstand aufgehoben wird, die andere or aber mit ihr parallel, so daß sie ganz zur Geltung kommen kann, da die schiefe Ebene gar keinen Einfluß auf sie hat. Mit der Kraft, welche durch die Linie or ausgedrückt ist, rollt die Kugel auf der schiefen Ebene herab, und da sie kleiner ist, als die oa; so gibt sie der Kugel eine geringere Geschwindigkeit, als sie im freien Fallen haben würde. Je kleiner der Neigungswinkel n der schiefen Ebene gegen den Horizont, oder je geringer ihre Höhe me bei einer bestimmten Länge mn ist; ein desto kleinerer Antheil ist die or von der oa, desto langsamer also wird die Kugel herabrollen und desto eher werden ihre Wege in bestimmten Zeiten können beobachtet werden.

Es steht die Kraft, mit welcher ein Körper auf der schiefen Ebene herabgeht, zu der, mit welcher er frei fällt, überhaupt in gleichem Verhältnisse der Höhe zur Länge der schiefen Ebene.

Das bei weitem beste und schärfste, wenn auch schwierigste Mittel, die Geschwindigkeit eines an der Erdoberfläche frei fallenden Körpers mittelbar zu bestimmen, besteht in der Beobachtung des Pendels, wovon wir aber erst später das Wesentlichste im Zusammenhange angeben können. Aus diesen Beobachtungen ergibt sich u. a. mit der größten Sicherheit die Gestalt der Erde als einer an beiden Polen abgeplatteten oder zusammengefallenen und am Aequator erweiterten Kugel (die sphäroidische Gestalt) und die Größe dieser Abplattung, d. h. um wie viel die Erdaxe kürzer ist, als der Durchmesser des Aequators. Da ein bestimmtes Pendel unter dem Aequator am langsamsten geht und seine Schwingungen um so mehr beschleunigt, je näher man den Polen der Erde kommt, so ist man dort weiter vom Erdmittelpunkte entfernt, als hier, und dort fällt ein Körper langsamer, als hier.

Wäre der Sonnenradius gleich dem Erdradius, so würde die Sonne zufolge ihrer Masse jeden Körper an ihrer Oberfläche 339000 mal stärker anziehen, als die Erde; da jener aber 112 mal größer, als dieser ist und die anziehende Kraft so abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung zunehmen, so ist die Kraft der Sonne nur der 112 . 112te Theil von 339000, d. h. sie ist $\frac{339000}{112 \cdot 112}$ oder etwa 27 mal größer,

als die der Erde und das Gewicht eines Körpers an der Sonnenoberfläche ist auch das 27fache von dem dieses Körpers an der Erdoberfläche.

An der Mondoberfläche würde es etwa nur $\frac{1}{6}$ davon sein; denn die Masse des Mondes ist von der der Erde zwar nur $\frac{1}{75}$, dagegen ist der Mondradius viel kleiner, als der Erdradius, indem sich die beiden Radien wie 2731 zu 10000 oder nahe wie 3 zu 11 verhalten und daher würde ein Körper an der Oberfläche des Mondes $\left(\frac{11}{3}\right)^2 = \frac{11^2}{3^2} = \frac{121}{9}$ mal stärker angezogen, als an der Erdoberfläche, wenn beide Körper gleiche Massen hätten. Da aber die Mondmasse nur $\frac{1}{75}$ von der Erdmasse beträgt, so ist die Stärke der Anziehungskraft bei jenem $\frac{1}{75}$ von $\frac{121}{9}$, d. i. $\frac{121}{645}$ oder nahe $\frac{1}{6}$ von der der Erde.

Legen wir 15,598 als den Fallraum in der ersten Sekunde zu Paris zum Grunde, so würde der Fallraum in der ersten Sekunde an der Sonne etwas über 421 Fuß und der an der Mondoberfläche fast 2,6 Fuß betragen.

Wenn man auf der Felsenfestung Königstein in Sachsen in den dort befindlichen Brunnen ein Steinchen fallen läßt, so hört man den beim Aufschlagen auf das Wasser erzeugten Schall erst etwa nach zehn Sekunden vom Augenblicke des Loslassens an. Durch ein bis zu gewisser Tiefe hineingehaltenes Licht läßt sich erkennen, in welchem Momente das Steinchen die Wasserfläche trifft und dies gibt die Zeit des Fallens, denn die von da an bis zur Wahrnehmung des Schalles verfließende Zeit gebraucht der Schall, um von unten bis an unser Ohr zu gelangen, welches in diesem Falle ungefähr $1\frac{1}{8}$ Sekunde beträgt, so daß der Körper nur während 8,7 Sekunden fällt und der Brunnen somit eine Tiefe von fast 1180 Fuß hat.

Das Werfen.

Bei dem Werfen sind zwei Kräfte wirksam: 1) die Kraft, mit welcher ein Körper geworfen wird und 2) die Anziehung der Erde. Jene Kraft wirkt nur in einem Augenblicke auf den Körper, gleichgiltig ob das Werfen mit der Hand, durch die Elastizität einer Spiralfeder, einer angespannten Saite, eines gekrümmten Holzes oder eines Stahlstreifens oder durch die augenblickliche Entwickelung eines Gases geschieht; diese Kraft aber wirkt fortwährend mit gleicher Stärke in einerlei Richtung; jene Kraft ertheilt ihm eine gleichmäßige Bewegung, diese eine gleichmäßig beschleunigte.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

In Betreff der Richtung des Wurfes können vier Fälle stattfinden: der Wurf geschieht 1) senkrecht abwärts, 2) senkrecht aufwärts, 3) horizontal, 4) unter einem schiefen Winkel gegen den Horizont.

Im ersten Falle wirken die beiden Kräfte in einer graden Richtung mit einander, im zweiten in einer graden Richtung gegen einander, im dritten und vierten Falle unter einem Winkel.

Im ersten Falle werden die Fallräume für die einzelnen Zeiteinheiten um den Raum vergrößert, durch welchen die Wurfkraft den Körper in der Zeiteinheit zu treiben vermochte, also bewegt sich der Körper mit einer gleichmäßig beschleunigten Geschwindigkeit.

Triebe die Wurfkraft den Körper in jeder Sekunde z. B. durch 50 Fuß, so ginge er in der ersten durch 50 + 15,598 = 65,598; in der zweiten durch 50 + 46,794 = 96,794; in der dritten durch 50 + 77,990 = 127,990 Fuß u. s. w.

Im zweiten Falle wirken die beiden Kräfte einander in grader Richtung entgegen, denn die Erde zieht den lothrecht aufwärts geworfenen Körper fortwährend lothrecht abwärts mit einer sich gleichbleibenden Kraft; also bewegt sich der Körper mit einer gleichmäßig verzögerten Geschwindigkeit aufwärts.

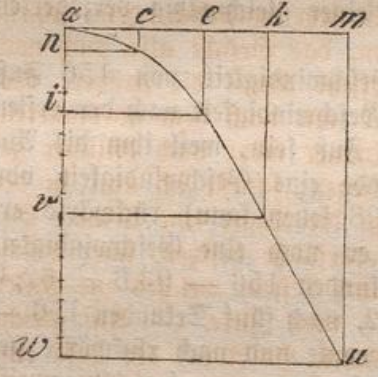
Wenn man einen Körper mit der Geschwindigkeit von 156 Fuß aufwärts geworfen hätte; so würde seine Geschwindigkeit nach der ersten Sekunde nur noch 156 — 31,2 = 124,8 Fuß sein, weil ihm die Anziehungskraft der Erde nach einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 31,2 (was man für das Obige 2 . 15,598 setzen kann) rückwärts ertheilt hat. Nach zwei Sekunden besäße er noch eine Geschwindigkeit von 156 — 62,4 = 93,6, nach drei Sekunden 156 — 93,6 = 62,4, nach vier Sekunden 156 — 124,8 = 31,2, nach fünf Sekunden 156 — 156,0 = 0, indem die durch die Erde erzeugte und nach rückwärts gerichtete Geschwindigkeit nach 2, 3, 4, 5 Sekunden beziehungsweise 2 . 31,2 = 62,4; 3 . 31,2 = 93,6; 4 . 31,2 = 124,8 und 5 . 31,2 = 156,0 beträgt. — Bei der hier angenommenen Wurfkraft wird also der Körper durch fünf Sekunden aufwärts gehen, in dem Punkte, welcher 5 . 156 = 780 Fuß von dem Ausgangspunkte entfernt ist, seine ganze Geschwindigkeit verloren haben und dann den Rückweg antreten, wobei er durch die Erdanziehung in demselben Grade mit beschleunigter Bewegung abwärts geht, mit welcher er aufwärts ging, so daß er mit derselben Geschwindigkeit unten ankommt, mit welcher er geworfen wurde, denn es ist seine Geschwindigkeit nach der ersten Sekunde 31,2, nach der zweiten 62,4, nach der dritten 93,6, nach der vierten 124,8 und nach der fünften 156 Fuß.

Wäre eine senkrecht emporgeschossene Kanonenkugel 40 Sekunden ausgeblieben, bis sie wieder auf die Erde fällt, so wäre sie 20 Sekunden gestiegen und ebenso lange gefallen, hätte also eine Höhe von 20 . 20 . 15,6 = 6240 Fuß erreicht, wenn man auf den Widerstand

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

der Luft nicht Rücksicht nimmt. — Man kann aus der Zeit des Ausbleibens der Kugel auf die von ihr erreichte Höhe und auf ihre anfängliche Geschwindigkeit schließen. Es würde ein solcher Versuch also ein Mittel sein, theils um die mittelst eines gewissen Kanonenrohres und eines gewissen Geschosses die Güte des verwendeten Pulvers, theils mittelst einer gewissen Pulverladung entweder die Güte des Rohres oder die des Geschosses zu untersuchen, wenn es auf die Weite, bis zu welcher das Geschoß gehen soll, ankommt.

Der dritte Fall nimmt einen horizontalen Wurf an. Hier wirken die beiden Kräfte, nämlich die Wurfkraft und die Anziehung der Erde fortwährend unter einem rechten Winkel aufeinander ein; denn es gehen zwar die von den verschiedenen Punkten der Bahn des geworfenen Körpers gedachten Falllinien nach dem Erdmittelpunkte zusammen, aber die über die Erdoberfläche bis an die grade Richtungslinie des Wurfes gehenden Theile sind gegen den Erdradius so klein und einander so nahe, daß sie ohne einen Fehler als gleichlaufend und parallel angesehen werden dürfen.



(Fig. 162.)

Denken wir uns einen Körper in a (Fig. 162) zuerst von der nur augenblicklich wirkenden Wurfkraft allein in der horizontalen Richtung getrieben; so geht er in gleichen Zeiten durch die gleichen Wege ac, ce, ek, km; wirkte aber auf ihn die Anziehungskraft der Erde allein, so verhalten sich die Räume der einzelnen Zeiten wie die ungraden Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. und er würde nach der ersten ebenso großen Zeiteinheit in n, nach der zweiten in i, nach der dritten in v und nach der vierten in w sein.

Wirken nun beide Kräfte gleichzeitig auf a, so folgt er keiner der beiden Kräfte einzeln, sondern schlägt einen Zwischenweg ein, indem er jeder von diesen Kräften genügt. Dieser Zwischenweg würde aus einer gebrochenen Linie bestehen, deren Theile den einzelnen Zeiteinheiten angehörten, wenn die beiden Kräfte stoßweise im Beginne dieser Zeittheile wirkten. Da dieses aber nicht der Fall ist, sondern weil die beiden Kräfte fortwährend wirken, sowohl das Beharrungsvermögen, als auch die Schwere; so ist die Bahn des geworfenen Körpers in der That eine krumme Linie, welche aus unendlich vielen sehr kleinen graden, als den Wegen für unendlich kleine Zeiteinheiten, zusammengefügt angesehen werden darf.

Wird im vierten Falle der Körper in einer Richtung geworfen, welche unterhalb der vom Ausgangspunkte kommenden Horizontalen liegt, so ist die Bahn wesentlich dieselbe, nur daß sie unter gleichen

Umständen schneller sich zur Erde hin krümmt; wird aber der Körper schräge aufwärts von der Horizontalen geworfen, so geht er in einer gekrümmten Linie aufwärts und nach Erreichung des höchsten Punktes auch in einer solchen abwärts. Mit dem Winkel, unter welchem man wirft, ändert sich die Weite des Wurfes; bei einem halben rechten oder 45 Graden ist sie am größten. Bei 30 oder 75 Graden ist die Wurfweite nur die Hälfte der größten.

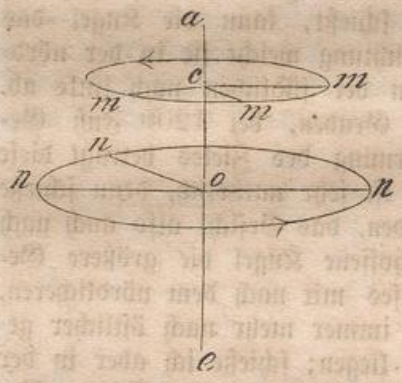
Mit einem 24-Pfünder könnte man unter dem Erhebungswinkel 45° und einer Pulverladung von dem halben Gewichte der Kugel auf eine Entfernung von 15000 Fuß schießen. Für so große Entfernungen des Zieles ist die Axendrehung der Erde von Westen nach Osten nicht ganz ohne Einfluß; denn nur dann, wenn man genau in der Richtung des Parallelkreises des Ausgangspunktes schießt, kann die Kugel das Ziel wirklich treffen, bei jeder anderen Richtung weicht sie in der nördlichen Halbkugel der Erde nach rechts, in der südlichen nach links ab. In einer geographischen Breite von 50 Graden, bei 1200 Fuß Geschwindigkeit der Kugel und 1200 Entfernung des Zieles beträgt diese Abweichung doch etwa $\frac{5}{8}$ Zoll. Dieses ist sehr natürlich, denn schieße ich in der nördlichen Halbkugel nach Norden, das Gesicht also auch nach Norden wendend, so bringt die abgeschossene Kugel die größere Geschwindigkeit des südlicheren Parallelkreises mit nach dem nördlicheren, eilt also nach dem Beharrungsvermögen immer mehr nach östlicher gelegenen Punkten, welche mir zur Rechten liegen; schieße ich aber in der nördlichen Halbkugel nach Süden, so bringt die Kugel eine kleinere Geschwindigkeit mit, als die Punkte der Erdoberfläche besitzen, über welche sie weggeht, letztere eilen also der Kugel nach Osten, welches zur Linken liegt, voraus und die Kugel trifft rechts vom Ziele. — Auf gleiche Weise läßt es sich zeigen, daß in der südlichen Halbkugel der Erde eine abgeschossene Kugel links von dem Ziele, welches man zu treffen beabsichtigt, einschlagen muß. — Es ist klar, daß diese Abweichung vom Ziele um so unbedeutender ist, je schneller die Kugel geht, je näher das Ziel liegt und je weniger die Richtung des Schusses von dem Parallelkreise des betreffenden Ortes abweicht.

Wäre der Widerstand der Luft nicht vorhanden, so würden die Bahnen aller nicht lothrecht geworfenen Körper Parabeln sein und zwar beim horizontal und schräge abwärts geworfenen mit einem Aste, bei dem schräge aufwärts geworfenen mit zwei Aesten, einem aufsteigenden und einem abwärtsgehenden. Die Parabel erhält man als Gränzlinie der Ebene, welche einen Kegel so schneidet, daß sie mit einer Seitenlinie parallel ist. Dreht man die Parabelebene um ihre Mittellinie oder Axe, so beschreibt die Parabellinie eine krumme Fläche, welche für viele praktische Fälle von der größten Wichtigkeit ist. Hat man z. B. eine parabolisch gekrümmte Spiegelfläche und bringt man in einen gewissen Punkt, den Brennpunkt, eine Flamme; so gewährt diese auf

sehr große Strecken eine sehr starke Erleuchtung, weil die von der Spiegelfläche (Reverbere) zurückgeworfenen Lichtstrahlen parallel fortgehen. Diese für Straßenbeleuchtung und namentlich für Leuchtthürme wichtigen Betrachtungen werden wir in der Lehre vom Lichte noch näher betrachten.

Wird der Widerstand der Luft bei abgeschossenen Kugeln berücksichtigt, so sind die krummen Linien, in welchen die Geschosse sich bewegen, nicht genaue Parabeln, sondern die sogenannten ballistischen Kurven, deren nähere Betrachtung aber unserem Zwecke nicht nahe genug liegt.

Die Axendrehung.



(Fig. 163.)

Wenn man sich durch irgend einen Körper eine grade Linie ae (Fig. 163) denkt und nun den ganzen Körper so um diese feststehende Linie, welche man Axe nennt, bewegt, daß jeder seiner Punkte, wie z. B. m oder n, fortwährend in derselben Entfernung von dieser Linie bleibt, wie cm oder on; so ist diese Bewegung eine Axendrehung. Jeder Punkt des Körpers beschreibt eine Kreislinie, die um so größer ist, je entfernter der Punkt von der Axe liegt, d. h. je größer die lothrechte Linie von dem Punkte m oder n auf die Axe ae ist; diese lothrechte Linie ist der Strahl des zugehörigen Kreises.

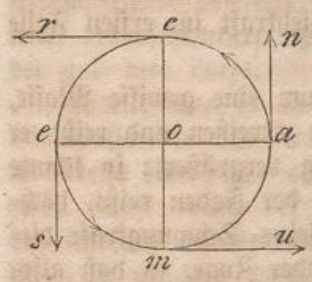
Da bei der Axendrehung alle Punkte des Körpers in derselben Zeit ihre Kreisbahnen zurücklegen und da die Bahnen in demselben Verhältnisse größer werden, in welchem die Strahlen wachsen; so ist die Geschwindigkeit der von der Axe entfernteren Punkte größer, als die der näher liegenden und sie wächst in gleichem Verhältnisse mit den Entfernungen.

Ist cm die Hälfte von on; so ist auch die von m beschriebene Kreisbahn die Hälfte der von n zurückgelegten Bahn und da beide Punkte m und n in denselben Zeiten diese Wege zurücklegen, so ist die Geschwindigkeit von n das Doppelte der von m.

Hat man eine glatte Kugel an einen Faden gebunden und bewegt man sie auf einem ebenen und horizontalen Billarde im Kreise, so spannt sie bei dieser Bewegung den Faden fortwährend an. Die Kraft, mit welcher diese Spannung geschieht, hängt in gradem Verhältnisse ab von dem Gewichte und von der Geschwindigkeit der Kugel; die Geschwindigkeit aber wächst in gleichem Verhältnisse mit der Länge des Fadens für eine bestimmte Drehungszeit und im umgekehrten Verhält-

nisse der Drehungszeit für eine bestimmte Fadenlänge. Dreht man die Kugel an einem Faden von zwei Ellen in einer Sekunde einmal im Kreise herum, so ist die Geschwindigkeit doppelt so groß als bei einem Faden von einer Elle und derselben Drehungszeit; sie ist aber auch das Doppelte, wenn die Kugel an einem Faden von einer Elle in jeder Sekunde zweimal im Kreise gedreht wird.

Wie groß aber auch die Kraft des gedrehten Körpers sein mag, stets hat er das Bestreben: von jedem Punkte seiner Bahn in der Richtung der durch diesen Punkt zu der krummen Linie gezogenen Berührungslinie oder Tangente sich gradlinig fortzubewegen.



(Fig. 164.)

Gesetzt die Kugel würde um den Punkt o (Fig. 164) von a aus in der Kreisbahn nach der Richtung der Pfeile bewegt, so würde sie beim Loslassen in den Punkten c, e, m, a in der Richtung der Tangenten dieser Punkte, nämlich beziehungsweise in den graden Linien cr, es, mu und an sich fortbewegen. Läge die Kreisbahn nicht horizontal, sondern lothrecht, so würde die Kugel von a aus senkrecht aufwärts, von e aus senkrecht abwärts, von c und m aus wie beim horizontalen Wurfe, von jedem anderen Punkte wie bei einem schiefen Wurfe sich bewegen.

Die Kraft, mit welcher ein in einer krummlinigten Bahn sich bewegender Körper das Bestreben hat, in der Tangente eines jeden Punktes der Bahn sich fortzubewegen, heißt die Tangentialkraft.

Die Tangentialkraft ist aber nicht eine Seitenkraft, sondern eine aus zwei anderen Kräften resultirende; denn der Faden, an welchem die Kugel gedreht wird, bleibt stets gespannt, was nicht der Fall sein würde, wenn die Kugel zweien lothrecht auf einander wirkenden Kräften ausgesetzt wäre. Es muß also die eine Seitenkraft den Faden spannen und somit in seiner Richtung wirken und die andere vom Drehungsmittelpunkte aus ihr gradlinig entgegen. Dieser spannenden Kraft, welche auch Fliehkraft (Zentrifugalkraft) heißt, weil sie den Körper fort von dem Mittelpunkte der Bewegung treibt, wirkt als Mittelpunktskraft hier die Kohäsion der Fadentheile vom Drehungsmittelpunkte aus gradlinig entgegen, jene erhält den Faden in grader Richtung und erzeugt mit dieser die resultirende Tangentialkraft oder Schwungkraft, die sich durch ihr eigenes Beharrungsvermögen erhält und von der Masse und Geschwindigkeit des bewegten Körpers abhängig ist.

Die Geschwindigkeit kann vergrößert werden entweder durch Verlängerung des Fadens bei derselben Drehungszeit oder durch Verkürzung

der Drehungszeit mit Beibehaltung der Fadenlänge oder durch Verlängerung des Fadens und gleichzeitige Verkürzung der Drehungszeit.

Dieses läßt sich durch einen einfachen Versuch leicht erkennen. Schwingt man an einem Faden von bestimmter Länge mit der Hand eine Bleikugel, dann eine Holzkugel von gleicher Größe in einer Sekunde einmal im Kreise herum, so haben zwar die beiden Kugeln gleiche Geschwindigkeiten, aber die Fliehkraft der Bleikugel ist größer, als die der Holzkugel und erstere wird weiter fortfliegen, als letztere, wenn man sie in demselben Punkte ihrer Bahnen losläßt. Nimmt man aber nur eine der beiden Kugeln und dreht sie das eine Mal in einer Sekunde einmal, das andere Mal in derselben Zeit zweimal an demselben Faden oder auch das zweite Mal an einem längeren Faden in einer Sekunde auch nur einmal im Kreise herum; so ist die Fliehkraft im ersten Falle geringer, als im zweiten.

Kann ein Faden von der Länge l grade nur eine gewisse Masse, z. B. von einem Pfunde Gewicht tragen, ohne zu zerreißen und reißt er wirklich, wenn man die Masse auch nur einwenig vergrößert; so könnte der Körper beim Schwingen im Kreise, ohne daß der Faden reißt, höchstens eine Geschwindigkeit g haben, bei welcher seine Schwungkraft dieselbe Gewalt hat, wie die Schwere beim Drucke oder Zuge, so daß also, wenn die beschleunigende Kraft der Erde a = 31,1 Fuß ist, $g^2 = al$ wäre. — Wäre nachträglich an demselben Faden eine Masse von ¼ Pfund Gewicht befestigt, so müßte man ihre Geschwindigkeit verdoppeln, um einen viermal so großen Werth für die Schwungkraft, als beschleunigende Kraft betrachtet, zu erhalten. Diese vierfache Kraft bewirkt, daß ¼ Pfund so stark drückt, als 1 Pfund, wenn es der Wirkung der Schwere ausgesetzt ist.

Ist z. B. die Länge des Fadens 1 Fuß, a = 31,1, g = 5,5 Fuß; so ist $\frac{g^2}{al} = 0{,}97$, also fast 1, so daß das mit 5,5 Fuß Geschwindigkeit bewegte ganze Pfund den Faden zerreißt, während ¼ Pfund dazu gegen 11 Fuß Geschwindigkeit in 1 Sekunde haben müßte.

Wenn die Fliehkraft hinreichend wächst, so kann sie also die Kohäsion überwinden und der Körper folgt nur der Tangentialkraft, die ihn ohne Mitwirkung irgend einer anderen Kraft in alle Ewigkeit gradlinig forttreiben würde.

Zur Erzeugung der Fliehkraft ist es nicht nothwendig, daß eine Masse an einem Faden oder starren linienförmigen Körper um einen gewissen Punkt gedreht werde, sondern es ist die drehende Bewegung allein ohne ein Bindemittel zwischen dem Körper und dem Drehungsmittelpunkte ausreichend. Das zeigt uns u. a. recht auffallend der sogen. Lendenritt der Kunstreiter. Während das Pferd möglichst rasch in einer nicht großen Kreisbahn rennt, hängt der Reiter seitwärts an

der dem Mittelpunkte der Bahn zugewendeten Hüfte des Pferdes, von wo er unfehlbar herabgleiten würde, wenn das Pferd still stände oder auch, wenn es zu langsam oder in einer graden Linie liefe. Je gewichtiger der Reiter ist, desto schneller muß das Pferd laufen, wenn er durch die Fliehkraft noch an dasselbe gedrückt werden will und das Pferd selbst muß sich dann noch mehr schräge nach der inneren Seite der Bahn legen, um sich auf derselben zu erhalten und nicht nach außen geschleudert zu werden.

Die Schwungkraft läßt sich sehr häufig beobachten.

Schnell gedrehte Schleifsteine schleudern das Wasser, in welchem sie mit ihrem unteren Theile laufen, von sich fort; ebenso schnell bewegte Räder eines Wagens den Straßenkoth. Ist ein Hammer nur lose an seinem Stiele befestigt, so wird er bei einer bogenförmigen Bewegung leicht losgeschleudert. Ebenso ist sie wirksam bei der eigentlichen Schleuder und dem Lasso.

Stellt man in einen lothrecht hängenden Faßbinderreifen ein Glas mit Wasser, so kann man es leicht dahin bringen, daß man den Reifen im Kreise schwingt, ohne daß auch nur ein Tropfen Wässer verloren geht, selbst wenn der Boden des Glases nach oben liegt. Will man den Versuch weniger ängstlich machen, so schwingt man einen offenen Korb, in welchem etwa Aepfel liegen, im Kreise.

Diese Erscheinung hat Veranlassung gegeben, eine Fahrbahn zu bauen, welche einen lothrecht stehenden Kreis bildet, so daß man in dem oberen Theile derselben, den Kopf nach unten gerichtet hat. Der Wagen mit der Person geht zuerst in einer sehr steilen Bahn abwärts, ehe er in die Kreisbahn kommt, damit die hinreichende Schwungkraft erlangt werde. Ist die Bewegungsgröße des Wagens zu klein, so fällt er von den höheren Punkten des Kreises herab. Je größer die Geschwindigkeit bei bestimmtem Gewichte des Wagens mit der darin sitzenden Person, desto sicherer ist die Fahrt. Die Zentrifugalkraft muß stets größer sein, als das Gewicht des Wagens sammt der Person, welche darin sitzt. Auf der Bahn muß für die Räder des Wagens eine Spur vorhanden sein, damit er nicht seitwärts ausweicht und der herabkommende Theil der kreisförmigen Bahn muß neben dem aufsteigenden liegen. Bei richtigen Verhältnissen dieser Zentrifugalfahrbahn ist durchaus keine Gefahr für die in dem Wagen sitzenden Personen, so gefährlich auch der Versuch Manchem erscheinen mag.

Wenn in einem Flußbette das Wasser plötzlich auf eine Vertiefung kommt und sich an der entgegengesetzten Wand derselben stößt, so bilden sich in ihm drehende Bewegungen oder Wirbel, welche die Oberfläche desselben um so mehr trichterförmig gestalten, je schneller die Drehung stattfindet, indem dann das Wasser um so mehr von der Mitte weggeschleudert wird. Gelangt man beim Baden auf die schiefe Fläche des Wassertrichters, so gleitet man leicht nach der Mitte und in die Tiefe.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Man bekommt auch leicht einen Wassertrichter, wenn man ein zylindrisches Gefäß mit Wasser um seine Axe dreht, wobei das fließende Wasser an den Wänden sich emporstaut.

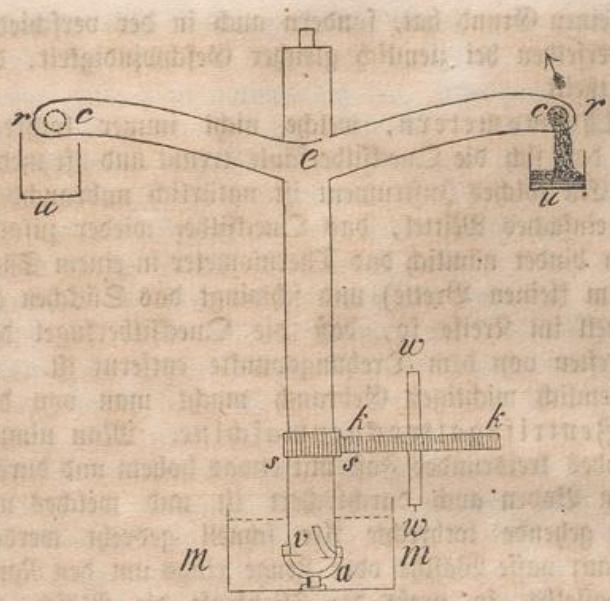
Wenn Eisenbahnen stärkere Krümmungen oder Kurven machen, wie es namentlich in Gebirgen nicht selten nothwendig ist, so muß man den Wirkungen der Schwungkraft entgegentreten. Ginge ein Eisenbahnzug über eine solche Krümmung oder Kurve nicht sehr langsam, so würde er über die Schienen geschleudert werden, wenn beide in derselben horizontalen Ebene lägen. Da das langsame Fahren unter Umständen sehr oft nothwendig werden würde und da eine bedeutende Verminderung der Geschwindigkeit überhaupt sehr störend ist; so legt man an solchen Krümmungen die äußere Schiene der Bahn um so höher gegen die innere, je stärker die Krümmung ist. Je länger der Eisenbahnzug ist, desto langsamer wird man über eine gewisse Krümmung fahren müssen. Als man die Schwungkraft noch gar nicht berücksichtigte, durfte man es nicht wagen, eine Bahn mit so starken Krümmungen anzulegen, wie es jetzt bei Gebirgsbahnen so häufig geschieht.

Die Schwungkraft wird noch in vielen Beziehungen praktisch benutzt.

Werden auf eine kreisförmige und horizontal liegende Scheibe in verschiedenen Entfernungen vom Mittelpunkte Kügelchen, etwa Erbsen, gelegt und die Scheibe anfänglich langsam, dann schneller um ihre Mitte gedreht, so entfernen sich die Kügelchen von ihrem Drehungsmittelpunkte und zwar die von ihm entferntesten zuerst. Wenn daher in einer Mehlmühle die Getreidekörner durch die in der Mitte des oberen und dünneren Steines, welchen man den Laufer nennt, befindliche Oeffnung gefallen sind; so entfernen sie sich mehr und mehr nach dem Umfange der beiden Steine und werden bei der Drehung durch die auf deren Flächen befindlichen Rippen zu Mehl zerrieben. Diese Rippen sind nicht in graden Strahlen, sondern bogenförmig in den Stein gehauen und der Drehung des Steines entgegengesetzt gekrümmt, damit die Körner nicht allzuschnell nach dem Umfange gelangen können.

Wir haben früher erwähnt (S. 114), daß man die Haarröhrchenanziehung eines aus lose nebeneinander liegenden Stricken bestehenden Seiles zur Hebung von Wasser benutzen kann, nämlich durch die Wasserseilmaschine. Hierbei wird das in dem um die beiden Walzen gedrehten Seile befindliche Wasser in dem obersten und am stärksten gekrümmten Theile abgeschleudert und durch ein Gefäß aufgefangen.

Es gibt noch ein anderes Mittel, die Zentrifugalkraft, allein mit Benutzung des Atmosphärendruckes, zur Hebung von Wasser zu verwenden; es sind die Zentrifugalwassermaschinen oder Saugschwungmaschinen. An eine lothrecht stehende Röhre ae (Fig. 165) schließen sich oben zwei oder mehre mäßig nach oben gebogene Röhren er, welche am Ende seitwärts Ausflußöffnungen cc haben. Die lothrecht stehende



(Fig. 165.)

und mit ihrem unteren Theile im Wasser befindliche Röhre hat am Boden ein sich nach innen öffnendes Ventil v, und ist um ihre Axe drehbar angebracht. Die Drehung wird bewirkt, indem sie bei ss einen Trilling oder ein gezahntes Rad trägt, welches durch die Zähne eines größeren Rades kk in schnelle Drehung um die Welle ww versetzt wird. Um durch die Maschine Wasser zu fördern, muß zuerst die Röhre rea von oben mit Wasser gefüllt werden; wird nun die Röhre gedreht, so entfernt sich das Wasser vermöge der Schwungkraft durch die Oeffnungen cc aus den oberen Röhren er; es kann aber durch den Abgang des Wassers ein leerer Raum in den Röhren nicht entstehen, weil der auf das Niveau des mm von der Atmosphäre ausgeübte Druck durch die ganze Flüssigkeit sich fortpflanzt und das Ventil v so lange geöffnet erhält, als der Ausfluß bei c stattfindet. Daß die Röhre ae nicht eine Höhe haben darf, welche über den Druck der Atmosphäre reicht, ist selbstverständlich.

Die Seitenöffnungen cc sind nicht auf der Seite, nach welcher die Bewegung hingeht, sondern auf der Rückseite und das Wasser wird durch einen Trog uu aufgefangen.

Wenn in einer schräge aufwärts gehenden und an beiden Enden geschlossenen Röhre sich Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Gewichte befinden, ohne daß sie mit einander sich vermischen, z. B. Quecksilber, Wasser, Oel, und man dreht die Röhre um eine an dem unteren Ende befindliche Axe; so fängt zuerst die leichteste Flüssigkeit an zu steigen und die schwerste erhebt sich erst bei hinreichender Drehungsgeschwindigkeit. Da aber die Stärke der Fliehkraft von der Masse und Geschwindigkeit abhängt, so ordnen sich die drei Flüssigkeiten endlich in umgekehrter Reihenfolge, so daß das Quecksilber die oberste ist.

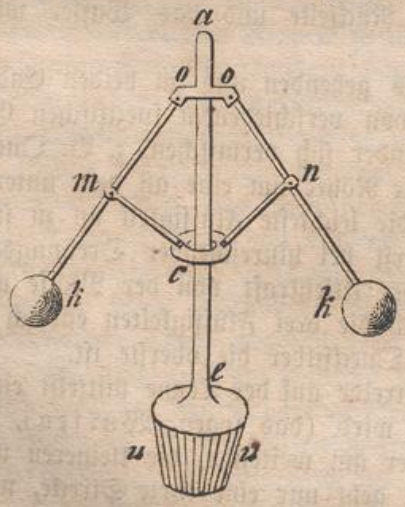
Wenn mit Spreu vermengtes Getreide auf der Tenne mittelst einer Schaufel in einem Bogen geworfen wird (das sogen. Wurfen), so fliegen die besten und schwersten Körner am weitesten, die kleineren und leichteren weniger weit und die Spreu geht nur eine kurze Strecke, was nicht blos in dem verschiedenen Widerstande, welchen die Luft diesen

Körpern entgegensetzt, seinen Grund hat, sondern auch in der verschiedenen Bewegungsgröße derselben bei ziemlich gleicher Geschwindigkeit, die ihnen die Schaufel mittheilt.

Es kommt bei Thermometern, welche nicht immer lothrecht hängen, bisweilen vor, daß sich die Quecksilbersäule trennt und oft mehre Zwischenräume zeigt. Ein solches Instrument ist natürlich unbrauchbar. Es gibt aber ein sehr einfaches Mittel, das Quecksilber wieder zusammen zu bringen. Man bindet nämlich das Thermometer in einem Säckchen fest (auch auf einem kleinen Brette) und schwingt das Säckchen an einer Schnur recht schnell im Kreise so, daß die Quecksilberkugel des Thermometers am weitesten von dem Drehungspunkte entfernt ist.

Einen technisch ziemlich wichtigen Gebrauch macht man von der Schwungkraft bei der Zentrifugaltrocknenmaschine. Man nimmt ein horizontal zu stellendes kreisrundes Faß mit etwas hohem und durchlöchertem Rande, dessen Boden auch durchlöchert ist und welches um eine durch seine Mitte gehende lothrechte Axe schnell gedreht werden kann. Legt man nun ganz nasse Wäsche oder Zeuge rings um den Rand des Fasses und dreht dasselbe, so preßt die Fliehkraft die Wäsche so bedeutend an den Rand, daß sie den größten Theil der Nässe verliert, welche durch den Boden abfließt. Man nennt die Maschine auch Hydroextraktor oder Wasserauszieher. Die Wäsche wird durch diese Vorrichtung weniger verletzt, als durch das mit Drehen verbundene Auswinden, wodurch die Fäden häufig zerdreht werden.

Man hat die Zentrifugalkraft auch benutzt zu Kartoffelschälmaschinen. Ein zylindrisches Gefäß, dessen Innenwände wie ein Reibeisen beschaffen sind, wird mit den darin befindlichen Kartoffeln um seine Axe gedreht. — Befinden sich in rotirenden Fässern unter zerreibbaren Körpern eiserne Kugeln, so kann man jene leicht pulverisiren.



(Fig. 166.)

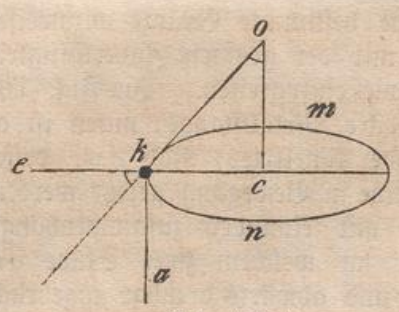
Bei der Bereitung des Paraffin wird die an ihm haftende ölige Flüssigkeit, welche sich bei niedriger Temperatur ausscheidet, durch Zentrifugalkraft abgesondert.

Eine der wichtichsten und vielseitigsten Anwendungen der Zentrifugalkraft ist in dem Zentrifugalregulator oder kurz Regulator vorhanden. Die Leistung einer Maschine hängt von einem gleichmäßigen Gange, welcher der jedesmaligen Arbeit entsprechen muß, ab. Damit aber der Gang ein gleichmäßiger werde, ist es nothwendig, der wirkenden Kraft, sie mag nun in Dämpfen, einem fließenden Gewässer

oder in einer anderen Quelle liegen, eine bestimmte Gränze anzuweisen und dies thut der Regulator vonselbst mit der größten Zuverlässigkeit, ohne daß man nothwendig hat, irgendwie einzugreifen. In Fig. 166 ist ae eine um ihre lothrechte Axe drehbare Metallstange, unten ist an derselben ein kegelförmiges, gezahntes (oder kanelirtes) Rad uu, dessen Zähne durch das Schwungrad der Maschine in Bewegung gesetzt werden; so daß die Geschwindigkeit beider innig mit einander zusammenhängt; oben ist bei o ein Metallstück befestigt, an welchem zwei Stäbe om und on in einer lothrechten Ebene auf- und abwärts drehbar angebracht sind; an diesen Stäben befinden sich zwei massive Kugeln k und k und von ihnen gehen noch zwei andere ebenso bewegliche Stäbe mc und nc nach einem Ringe c, durch welchen die Stange ae lose geht. Dieser Ring wird nach unten oder nach oben bewegt, jenachdem die beiden Kugeln zusammenfallen oder auseinander gehen. Ist nun mit dem Ringe ein Gestänge verbunden, welches nach Art der Klingelzüge mit Winkelhebeln in Verbindung steht, so läßt sich durch dasselbe ein Ventil, ein Hahn, eine Klappe, ein Schieber, bei Wassermühlen eine Schütze, hin und her bewegen, um dadurch dem Dampfe, dem Wasser u. s. w. den Zugang zur Kraftmaschine mehr oder weniger zu versperren oder zu gestatten. Ist nämlich der Gang der Maschine rascher, als es angemessen ist, so gehen die beiden Kugeln sofort höher und das Gestänge muß den Kanal, durch welchen der Dampf oder das Wasser strömt, mehr schließen, worauf der langsamere Gang erfolgt und die Kugeln herabgehen; ist der Gang der Maschine aber zu langsam, so fallen die Kugeln herab und das Gestänge öffnet den Kanal mehr.

Es ist natürlich, daß für eine zu erlangende bestimmte Geschwindigkeit die Kugeln bei einer bestimmten Höhe, also auch für eine bestimmte Lage des Ventils ein bestimmtes Gewicht haben müssen, wenn sie an Armen von unveränderlicher Länge angebracht sind. Weil aber der mehr oder minder leichte Gang der Maschine oft von Nebenumständen, welche sich während des Gebrauches ändern, abhängig ist; so bringt man auch die Kugeln an ihren Armen verschiebbar an, um durch Verlängerung der Arme eine Vergrößerung der Fliehkraft zu erlangen. Das Gewicht der Kugeln muß überhaupt derjenigen Kraft proportional sein, welche zur Erzeugung einer Veränderung in den Maschinentheilen erforderlich ist; für Wasserwerke gibt man 60 bis 80 Pfunde an, was oft noch zu wenig ist, um eine schwere Schütze in Bewegung zu setzen, weshalb man den Regulator mit dem Wasserrade auf geeignete Weise kuppelt, damit dieses das Geschäft selbst verrichtet.

Es ist nicht ohne Interesse, hier zugleich zu bemerken, wie in einem gewissen Falle das Gewicht der Kugel durch die Schwungkraft aufgehoben wird. Schwingt man die Kugel k (Fig. 167) an dem Faden ko im Kreise kmn, so daß der Faden den Mantel eines graden Kegels beschreibt; so hat die Kugel das Bestreben, sich von dem Mittel-



(Fig. 167.)

punkte c des Kreises so zu entfernen, als würde sie um c an den Faden ck in der Kreisbahn kmn bewegt und würde den Faden mit einer gewissen, in der Verlängerung der ck wirkenden Kraft spannen. Wenn diese Kraft durch die Linie ke und das Gewicht durch die ihr gleiche Linie ka, welche lothrecht ist, ausgedrückt wird; so halbirt die aus beiden entstehende Resultirende den rechten Winkel eka und wenn man dieselbe von k an bis zu der in c lothrecht auf dem Kreise gezogenen co, d. h. bis zur Axe des Kegels verlängert; so ist auch der Winkel o ein halber rechter. Daraus folgt, daß, wenn der Erhebungswinkel der an dem Faden ok hängenden und im Kreise geschwungenen Kugel ein halber rechter ist, die Schwere der Kugel durch ihre Fliehkraft aufgehoben wird.

Dieses Zentrifugal- oder konische Pendel (Kegelpendel) braucht zur Vollendung eines Umlaufes doppelt so viel Zeit, als ein ebenso langes zu einer ganzen Schwingung in einer Ebene, also müßte das konische Pendel nur den vierten Theil der Länge eines gewöhnlichen besitzen, wenn die Schwingungszeit beider gleich sein sollte.

Wirkung der Schwungräder.

Eine ganz andere und für das Maschinenwesen höchst wichtige Art von Regulatoren bilden die Schwungräder. Die oben erwähnten Regulatoren regelten die ursprüngliche bewegende Kraft, die Schwungräder aber erhalten die Maschinentheile selbst in einem gleichmäßigen Gange und bewirken es, daß bei schwingenden und kreisförmigen Bewegungen ein Stillstand in den sogenannten todten Punkten nicht stattfindet, so daß sie auch eine Umänderung der Bewegungsrichtung erzeugen.

Die Schwungräder sind Räder von verhältnißmäßig großem Durchmesser und vieler Masse an ihrer Peripherie. Es ist natürlich, daß dieselben auch bei einer nicht bedeutenden Drehungsgeschwindigkeit nach dem Beharrungsgesetze ein großes Bestreben zeigen, sich und also auch die mit ihnen verbundenen Maschinentheile in einer gleichmäßigen Bewegung zu erhalten. Dieses Bestreben wird noch vermehrt, wenn die Drehungsgeschwindigkeit eine große ist, wie es zu manchen Zwecken, z. B bei den Brettschneidemühlen mittelst einer graden Säge nothwendig ist.

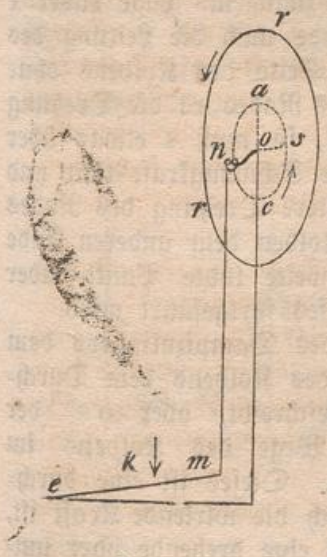
Das Gewicht eines Schwungrades bei großen Dampfmaschinen beträgt gegen 20000 Pfunde und weil sich ein Punkt seines Umfanges oft mit mehr als 300 Fuß Geschwindigkeit in einer Sekunde bewegt,

müssen die Speichen an den Seiten scharf zulaufend gemacht werden, damit sie die Luft besser durchschneiden.

Für die Auffindung seines Gewichtes für einen gewissen Zweck hat man eine praktische Regel aufgestellt: Man multiplizirt die Zahl der Pferdekräfte, welche durch die Maschine ersetzt werden sollen, mit 2000 und dividirt das Produkt durch die Quadratzahl der Geschwindigkeit eines Punktes seiner Peripherie. Wenn z. B. der Durchmesser des Rades 18 Fuß, seine Peripherie also gegen 56 Fuß beträgt; so wird seine Peripherie bei 22 Umläufen in einer Minute die Geschwindigkeit von $\frac{1232}{60} = 20{,}5$ Fuß in 1 Sekunde haben und somit für eine Maschine von 20 Pferdekräften das Gewicht des Schwungrades $\frac{20 \times 2000}{20{,}5^2} = 90{,}4$ Zentner sein müssen.

Soll das Schwungrad seine höchst wichtigen Zwecke erfüllen, so darf sein Gewicht nicht zu sehr von dem Normalgewichte abweichen; denn bei zu großem Gewichte reißt es zu sehr, bei zu kleinem zu wenig und der Gang der Maschine ist in beiden Fällen ungleich.

Um einen Begriff davon zu geben, wie das Schwungrad geeignet ist, eine gradlinig hin und her gehende Bewegung in eine drehende zu verwandeln nnd sie zu erhalten, wollen wir zwei der bekanntesten Anwendungen anführen und erläutern: das Spinnrad und die Lokomotive.



(Fig. 168.)

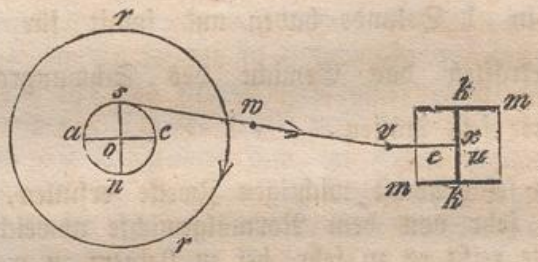
Es sei (Fig. 168) rr ein um o drehbares Rad; mit der Axe ist fest verbunden ein mit dem Rade paralleles Querstück on, in dessen Ende ein Stab nm beweglich eingehängt ist; bei m ist beweglich ein Tretbrettchen me, welches um die Kante e drehbar ist, angebracht.

Drückt man mit dem Fuße anhaltend, etwa bei k auf das Brettchen, so wird das Rad in der Richtung des Pfeiles zwar gedreht, bleibt aber stehen, wenn n lothrecht unter die Axe bei c angekommen ist. Ebenso würde die Drehung nicht stattfinden, wenn n genau lothrecht über o in a stände und der Druck bei k ausgeübt würde. Es sind also c und a die todten Punkte, in denen die angewendete Kraft durch den Widerstand der Axe aufgehoben wird.

Uebt man aber auf k in der ersten Stellung des Rades nicht einen anhaltenden Druck, sondern einen kurzen kräftigen Stoß aus und

überläßt das Rad sich selbst, so führt die Schwungkraft des Rades die Bewegung über die beiden todten Punkte in der Richtung des Pfeiles fort und man darf erst dann einen neuen Stoß bei k ausüben, wenn das Rad bereits über den Punkt a hinaus auf dem Wege nach a begriffen ist; nicht aber, wenn es bereits über c fortgegangen ist, weil dann eine Zurückdrehung eintreten würde.

Wie die Bewegung dieses Schwungrades weiter benutzt wird, gehört nicht hierher, wird aber bei einer anderen Gelegenheit erörtert werden.



(Fig. 169.)

Etwas Aehnliches findet bei den Lokomotiven statt. Es sei rr (Fig. 169) das große Triebrad, mit der Axe o ist fest verbunden das Querstück os, von seinem Ende s geht eine gegliederte Stange swvx, beweglich bei s, w und v, an deren Ende der Kolben kk in dem Dampfzylinder mm sich befindet. Wird der Dampf nach e geleitet, so treibt er den Kolben nach u, das Gestänge bewegt sich in der Richtung des daran befindlichen Pfeiles und das Rad rr wird auch in der ebenso angedeuteten Weise gedreht. Ist der Kolben ans Ende des Zylinders gekommen, so ist s in c angelangt und ein weiteres Zuströmen des Dampfes nach e würde das Rad zum Stehen zwingen. Läge dabei x in der graden Richtung von o und c, so würde auch die Leitung des Dampfes nach u, also auf die entgegengesetzte Seite des Kolbens ohne Erfolg bleiben, weil der Widerstand der Axe des Rades rr die Drehung nicht gestattet. Soll also das Rad sich drehen, so muß s etwas über den todten Punkt c fortgeführt werden, was die Schwungkraft thut und dann wird der nach u geleitete Dampf die weitere Drehung des Rades von c über n nach a bewirken, während der Kolben dem anderen Ende des Zylinders sich nähert. a ist aber der zweite todte Punkt, über welchen das Rad ohne Mitwirkung des Dampfes fortgeführt wird.

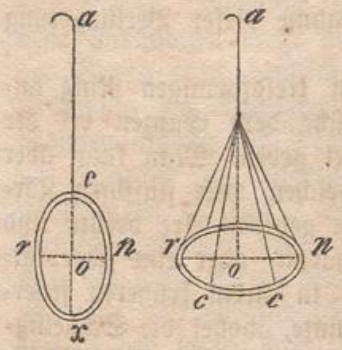
Soll das Verhältniß der inneren Länge des Dampfzylinders dem Triebrade entsprechen, so muß der Spielraum des Kolbens dem Durchmesser des Kreises gleich sein, welchen s beschreibt, oder os (der Kurbelradius) muß gleich dem halben Wege des Kolbens im Dampfzylinder (der halben Hubhöhe) sein. Dieses ist eine durchgreifende Regel für alle Maschinen, welches auch die wirkende Kraft ist, wenn eine gradlinig schwingende Bewegung in eine drehende oder umgekehrt eine drehende Bewegung in eine gradlinig schwingende verwandelt werden soll.

Abplattung durch die Schwungkraft.

Wichtig und von hohem Interesse ist es zu untersuchen, was geschieht, wenn sich ein Körper, dessen Theile durch die Schwungkraft aus ihrer Lage gebracht werden können, ohne daß dabei ihr Zusammenhang mit dem Ganzen aufhört, um eine bestimmte Axe dreht. Es kann hierbei die Kohäsion und die Gravitation wirksam sein.

Befindet sich in einer hohlen Kugel von weißem Glase etwas gefärbtes Wasser, so bedeckt dieses, wenn die Kugel ruht, den untersten Theil des inneren Raumes. Dreht man nun die Kugel um eine lothrecht durch ihren Mittelpunkt gehende Axe, so erhebt sich das Wasser an der inneren Wand mit wachsender Drehungsgeschwindigkeit mehr und mehr und bildet endlich um den Aequator einen Streifen oder eine Zone. Unterbricht man die Drehung plötzlich, so dreht sich das Wasser wegen des Beharrungsvermögens zwar noch eine kurze Zeit, geht aber wegen der Reibung bald langsamer und sinkt wegen seines Gewichtes herab.

Man könnte wohl auf den Gedanken kommen, daß die bei der Axendrehung der Erde vorhandene Schwungkraft bei der Erscheinung der artesischen Brunnen eine wesentliche Rolle spielt, weil das Wasser in den oberen Theilen des nach dem Erdmittelpunkte gerichteten Rohres eine schnellere Drehungsgeschwindigkeit besitzt, als das in den unteren, und daß somit, wie bei der schon erwähnten Zentrifugalwassermaschine, das Wasser auch nach aufwärts steigen müsse. Hierbei ist aber zu bemerken, daß die Schwere dem Wasser wegen seines Gewichtes für die Herstellung des Gleichgewichtes selbst während der Bewegung der Erde stets eine tiefere Stelle anweist, als daß die Schwungkraft das Gewicht übertreffen könnte.



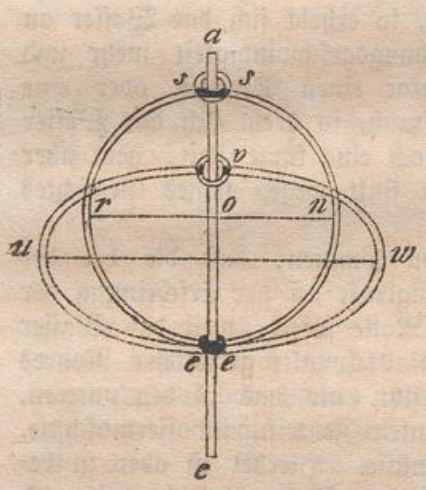
(Fig. 170.)

Hängt (Fig. 170) ein gleichmäßig gearbeiteter Metall- oder Porzellanring crn ruhig an einem Faden ac (1), so geht dessen Verlängerung cx durch den Mittelpunkt o des Ringes. Zieht man durch o den horizontalen Durchmesser rn, so sind seine Endpunkte r und n weiter von cx entfernt, als irgend ein anderer Punkt des Ringes. Wird nun der Faden ac um seine Axe gedreht, so dreht sich auch der Ring um cx als Axe und wenn cx eine feststehende, nicht schwankende Axe wäre, so würde der Ring sich fortwährend in seiner ursprünglichen Lage um sie drehen; da aber der Faden nachgibig ist, so werden die Punkte r und n, welche die größte Fliehkraft besitzen, die anderen, mit ihnen zusammenhängenden und der Axe cx näher liegenden in den größeren Be-

wegungskreis mit sich ziehen und der ganze Ring wird sich, wie es die zweite Zeichnung andeutet, horizontal stellen, wobei die Verlängerung des graden Fadentheiles durch seinen Mittelpunkt geht.

Wenn man nicht Gelegenheit hat, den Faden an die Drehungsaxe eines Rades oder einer Scheibe bei einer Maschine zu hängen, so reicht es hin, den Faden noch mehr zusammenzudrehen und ihn dann sich selbst zu überlassen, damit er sich frei schwebend zurückdrehe. Je schwerer der Ring, desto schneller muß er gedreht werden, damit er sich horizontal stelle.

Eine der wichtigsten Erscheinungen ist aber die Abplattung.



(Fig. 171.)

Ein um seine Axe drehbarer Stab ac (Fig. 171) geht lose durch eine kleine Scheibe ss und trägt noch eine an ihn befestigte ee; an den beiden Scheiben ist bei ss und ee ein dünner und leicht nachgibiger Metallstreifen srens, welcher eine Kreisgestalt hat, befestigt. Ist ron sein Durchmesser, so sind die Punkte r und n des Streifens weiter von der Drehungsaxe entfernt, als alle übrigen und ihre Fliehkraft ist am größten, da sie mit den anderen gleichzeitig die größten Kreise beschreiben. Die natürliche Folge ist, daß der Streifen durch die Drehung seine Kreisform verliert und die Gestalt der punktirten Linie vuew annimmt. Der auf der Drehungsaxe lothrechte Durchmesser rn hat sich verlängert zu uw und die ursprüngliche Axe se hat sich verkürzt zu ve. Mit zunehmender Drehungsgeschwindigkeit findet auch eine Zunahme dieser Verlängerung und Verkürzung statt.

Statt an die beiden Scheibchen nur einen kreisförmigen Ring anzubringen, können mehre vorhanden sein, welche dem Ganzen bei der Drehung schon mehr das Aussehen einer Kugel geben. Man kann aber auch endlich wirklich eine volle Kugel eines weichen oder flüssigen Körpers nehmen, um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe drehen und findet, daß aus der Kugel (Sphäre) ein Sphäroid oder eine abgeplattete Kugel wird, wie es die Erde ist, welche in ihrem früheren feuerflüssigen Urzustande diese Gestalt annehmen konnte, wobei die Schnelligkeit der Axendrehung den Grad der Abplattung der bestimmten Masse mit ihrer bestimmten Schwere bedingte.

Diese Erscheinung würde sich schon bei einer weichen Thonkugel, welche auf einer Töpferscheibe um ihre Axe gedreht wird, zeigen, aber noch besser, wenn man etwas feines Knochen- oder auch anderes

Oel in eine solche Mischung aus Wasser und Alkohol thut, daß das Oel in Kugelgestalt unter das Niveau der Mischung sinkt und dann darin schweben bleibt. Bei der Axendrehung des Gefäßes plattet sich die Oelkugel ab; ist die Geschwindigkeit hinreichend, so wird sie nicht nur sehr flach, sondern es schleudern sich auch Theilchen in Kugelform ab, welche für sich auch die Drehung in derselben Richtung zeigen. Es ist dies eine förmliche Nachahmung der Bewegungserscheinungen in unserem Sonnensysteme.

Die Weltensysteme mit freier Zentralbewegung.

Wir pflegen in der Beschränkung unseres Gesichtskreises die Erde wohl schon die Welt zu nennen, welche ungeachtet der jetzt so schnell fördernden Verbindungsmittel durch ihre Größe auf uns einen überwältigenden Eindruck macht und dennoch ist sie ein verschwindend kleiner Theil des Weltalls, dieses unendlichen Raumes mit den zahllosen Körpern der verschiedensten Art.

Diese Weltkörper sind nicht regellos in den Weltenraum hingestreut, wie es beim oberflächlichen Anblicke des gestirnten Himmels erscheinen möchte, sondern sie bilden Systeme verschiedener Art, d. h. Vereinigungen zu Gruppen mit einer gewissen Zusammengehörigkeit, die es nicht zuläßt, daß sich ein Glied vom Ganzen willkührlich absondert.

Vor allen zeichnen sich die Sonnen aus, welche, wie unsere Sonne, ein selbstständiges Licht haben und ihre Stellungen gegen einander an der scheinbaren Himmelskugel nicht zu ändern, also wie daran befestigt zu sein scheinen und deshalb Fixsterne heißen.

Zu unserer Sonne gehören dunkle Körper, welche sich von Westen nach Osten um sie und gleichzeitig auch von Westen nach Osten um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe bewegen. Diese heißen Planeten oder wandelnde Sterne, weil sie zu verschiedenen Zeiten verschiedene Stellungen unter den Fixsternen einnehmen, wie wir es z. B. an der Venus recht deutlich erkennen, indem sie bisweilen nach Sonnenuntergang als Abendstern am westlichen Himmel, zu anderen Zeiten vor Sonnenaufgang als Morgenstern am östlichen Himmel erscheint.

Solcher zu unserer Sonne gehörigen Planeten sind bis jetzt 90 aufgefunden worden. Sie heißen, wenn wir mit den der Sonne am nächsten stehenden beginnen: Merkur, Venus, Erde, Mars; dann kommen die ganz kleinen Planeten oder Planetoiden, deren bis jetzt 82 aufgefunden worden sind (4 zu Anfange dieses Jahrhunderts, die übrigen erst in den letzten drei Jahrzehnten); auf sie folgen Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

Das Licht, welches uns die Planeten zeigen, ist das von ihnen zurückgeworfene Sonnenlicht und ist sanfter und ruhiger, als das der Fixsterne, welches fortwährend flackert.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei vieren von den Planeten, nämlich der Erde, dem Jupiter, Saturn und Uranus finden sich treue Begleiter auf deren Bahnen um die Sonne, welche man Nebenplaneten oder Monde nennt. Die Erde hat nur einen Mond, Jupiter aber vier, Saturn sogar sieben nebst Ringen, welche ihm zunächst sind und frei um seinen Aequator schweben, und Uranus hat sechs Monde.

Auch die Monde und Saturnringe sind dunkle Körper und empfangen ihr uns zugesendetes Licht von der Sonne, bewegen sich um die Planeten, zu welchen sie gehören und wenden ihnen dabei stets dieselbe Seite zu, wenn man von dem zur Erde gehörigen Monde auf die übrigen einen Schluß machen darf. Wenn auch bei ihnen von einer Axendrehung um eine durch sie selbst gehende grade Linie nicht die Rede ist, wie bei den Planeten; so drehen sie sich doch, indem sie den Weg um ihren Planeten zurücklegen, um eine Axe, die aber außer ihnen liegt und durch den Planeten geht. Die einmalige Drehung um ihn ist eine einmalige Axendrehung.

Zu diesen regelmäßigen Begleitern der Sonne gehören auch noch einige sehr zarte Himmelskörper, welche auf ihrer ebenfalls von Westen nach Osten gerichteten Bahn eine aus leuchtenden Theilchen bestehende Spur zurücklassen, welche von dem Hauptkörper, dem stärker leuchtenden Kopfe, wie loses Haar in einem Schweife wegfliegen, weshalb sie auch Schweifsterne, Haarsterne oder Kometen genannt werden. Solcher Kometen kommen aber noch sehr viele andere in unseren Gesichtskreis, wobei zu merken ist, daß manche sich nicht rechtläufig, d. h. von Westen nach Osten, sondern rückläufig, d. i. von Osten nach Westen um die Sonne in Bahnen bewegen, welche nur in der Nähe der Sonne stark gekrümmt sind, in größerer Entfernung aber sich der graden Richtung mehr und mehr nähern.

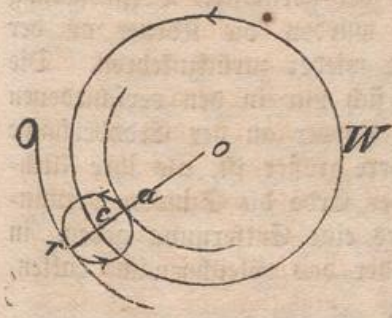
Diese Kometen, und sicher die rückläufigen, sind so recht die Boten aus den fernsten Räumen des Weltalls und zeigen uns, daß in ihm Stoffe vorhanden sind, wie in unserem Systeme, denn es ist in ihrem Aussehn keine Verschiedenheit wahrzunehmen und ihre nicht selbst leuchtenden, sondern von der Sonne beleuchteten Bestandtheile sind bei allen so lose nebeneinander, daß man Fixsterne durch sie wahrnehmen kann. Auf die Uebereinstimmung in dem Wesen des Stoffes verschiedener Weltkörper haben wir gelegentlich bei Erwähnung der Meteore bereits hingewiesen. Sehr wichtig aber ist es, daß durch die Kometen, wie wir in einem späteren Abschnitte ausführen werden, eine Bestätigung für das Vorhandensein eines den ganzen Weltraum einnehmenden Stoffes, des Weltäthers, gewonnen wird, wofür die Physik bereits unmittelbare Beweisgründe hat, welche in die Lehre vom Lichte gehören.

Nicht nur die Uebereinstimmung in dem Wesen des Stoffes verschiedener Himmelskörper, sondern auch und vorzüglich die Art ihrer Bewegung ist ein deutlicher Fingerzeig davon, daß die zu unserer

Sonne sich haltenden früher mit ihr ein Ganzes gebildet haben; denn es ist kein Zufall, daß alle sich in derselben Richtung, nämlich von Westen nach Osten, wie die Sonne selbst, um sie und jeder noch um eine Axe ebenfalls in dieser Richtung sich bewegen. Alle Planeten, Monde und wenigstens diejenigen Kometen, welche jetzt noch um die Sonne sich bewegen, haben ursprünglich mit der Sonne eine einzige lockere, im Weltraume weit verbreitete chaotische Masse gebildet, welche eine Drehung von Westen nach Osten besaß, was wir zur Orientirung nach den jetzigen Begriffen wohl sagen können, obwohl es damals noch kein Osten und Westen gab, weil weder die Sonne noch die Erde als ein selbstständiger Körper bestand, ein Sonnenauf- und Untergang also nicht stattfinden konnte. Durch welche Kraft diese Urmasse unseres Systems von Planeten eine solche Axendrehung erhalten hat, kann allerdings nicht ermittelt werden; sie dürfte wohl aber nicht blos in dieser Urmasse allein, sondern auch und vielleicht vorzüglich in dem Einflusse anderer Himmelskörper zu suchen sein.

Das allgemeine Massenanziehungsgesetz gestaltete diese lockere Urmasse nicht nur selbst als Ganzes kugelförmig mit wachsender Drehungsgeschwindigkeit, sondern es bildete sich im Mittelpunkte ein festerer Kern, welcher die Erzeugung der Sonne zur Folge hatte. Wie hierbei mit der Verdichtung des Stoffes eine Zunahme der Temperatur verbunden ist, wird in der Lehre von der Wärme noch näher auseinandergesetzt werden.

Es ist bei der ungeheuren Massenhaftigkeit der Sonne natürlich, daß sich der Urstoff zu ihrer Bildung aus einer sehr weiten Entfernung von dem Mittelpunkte um ihn gesammelt haben mußte und daß sich somit in anderen noch entfernteren Stellen leicht andere Sammelpunkte für die Stofftheilchen bilden konnten, zumal in der Gegend des Aequators der sich drehenden Masse, weil dort die Fliehkraft am größten und die Anziehung nach dem Mittelpunkte am kleinsten war, und dieses waren die Anfänge zu den Planeten, welche ihre Bewegung um den ersten Kernpunkt, um die Sonne, beibehalten mußten. Daß aber die Planeten mit ihrer Bildung als selbstständige Körper sofort noch eine Axendrehung erhielten, läßt sich auf folgende Weise erkennen.



(Fig. 172.)

Hat in der um den Sonnenmittelpunkt o (Fig. 172) von W nach O in der Richtung der Pfeile sich drehenden Urmasse durch Verdichtung um c ein selbstständiger Körper sich gebildet, so kann er derselben Drehung nicht entgehen. Da aber bei dieser Drehung alle seine Punkte in gleichen Zeiten ungleiche Bahnen beschreiben mußten: die dem Punkte o näher liegenden, wie a, kleinere, die entfernteren, wie r, größere, als der Mittelpunkt c;

so lag in den beiden Hälften, der diesseits und der jenseits des Mittelpunktes befindlichen, eine ungleiche Bewegungsgröße und zwar in der jenseitigen, worin r sich befindet, eine größere, als in der diesseitigen, worin a liegt. Dieses konnte sich mit dem Zustande des Gleichgewichtes nicht vertragen und es mußte daher die jenseitige Hälfte des Körpers mit der größeren Bewegungskraft die diesseitige überwinden, jene hatte ein größeres Bestreben von Westen nach Osten vorzudringen, als diese, so daß jene, wie es die Pfeile zeigen, vorwärts, diese rückwärts ging, und somit eine Drehung der Kugel um eine Axe erfolgte.

Da die Erde, wie es die Untersuchungen ihrer Rinde und die ziemlich große Anzahl der heute noch thätigen Vulkane unwiderleglich beweisen, in einem feurig-flüssigen Zustande war, so konnte sie bei der Drehung um eine bestimmte Axe keine Kugel bleiben, sondern mußte sich nach den bereits bekannten Gesetzen abplatten: sie wurde an den Polen flacher, um den Aequator runder, die Axe wurde kürzer, der Durchmesser des Aequators größer, als der Durchmesser der eigentlichen Kugel ist, so daß der Unterschied jener beiden gegen $5\frac{1}{10}$ Meilen beträgt.

Da die Drehungsgeschwindigkeit einzelner Punkte der Erdoberfläche von den Polen nach dem Aequator hin zunimmt, so ist dies auch mit ihrer Fliehkraft der Fall. Nun wirkt aber die Schwere der Fliehkraft entgegen, folglich wird sie durch dieselbe von den Polen nach dem Aequator hin schon bei einer genauen Kugelform vermindert, noch mehr aber durch die Abplattung der Erde, wodurch die Punkte um den Aequator von dem Erdmittelpunkte entfernt worden sind. Wenn die Erde als Kugel gedacht wird, so würde die Schwere am Aequator um den 289sten Theil vermindert oder die Fliehkraft beträgt den 289sten Theil der Schwerkraft; wegen der Abplattung in Wirklichkeit den 300sten Theil; sie ist auf dem Gipfel eines Berges geringer, als an dessen Fuße.

Wäre der Erdhalbmesser 289 oder 17 . 17mal größer, als er ist oder drehte die Erde sich etwa 17mal schneller (nämlich in 1 Stunde $24\frac{1}{2}$ Minuten, was dann die Länge eines Tages sein würde,) um ihre Axe, so würde die Fliehkraft am Aequator auch 289mal größer sein; die Schwere am Aequator wäre Null und bei der geringsten Vergrößerung des Halbmessers oder der Geschwindigkeit würden die Körper an der Oberfläche fortgeschleudert werden, um nie wieder zurückzukehren. Die Stärke und Richtung der Erdschwere kann sich nur in den verschiedenen Punkten der Erdaxe ungestört zeigen. Die Körper an der Erdoberfläche bleiben nur deshalb bei ihr, weil die Schwere größer ist, als ihre Fliehkraft. Da sich mit der Entfernung von der Erde die Schwere vermindert, die Fliehkraft vergrößert, so muß es eine Entfernung geben, in welcher die Fliehkraft und Schwere einander das Gleichgewicht halten, und diese beträgt 5860 deutsche Meilen.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob die Erde hohl oder voll sei.

Ersteres scheint wahrscheinlicher zu sein, als letzteres. Es fehlt dazu nicht an Grund. Wird ein Eisendraht, durch welchen die Elektrizität diskontinuirlich geht, zu Kügelchen geschmolzen, so zeigen sich dieselben durchgängig hohl. Die Erde war auch in einem feurig-flüssigen Zustande und konnte ebenso gut hohl werden, wobei auch die Schwungkraft die Massentheilchen von der Axe entfernte. Dazu kommt noch, daß die Körper der festen Erdrinde meistens ein großes spezifisches Gewicht besitzen, während das spezifische Gewicht des ganzen Erdkörpers doch nur 5,6747 beträgt. Es lagern sich zwar an der Erdoberfläche die verschiedenen Körper, wenn sie sich selbst überlassen bleiben, nach dem spezifischen Gewichte so ab, daß die schwersten unten sich befinden; aber eine weitere Zunahme des Gewichtes der Körper bis zum Erdmittelpunkte läßt sich mit dem spezifischen Gewichte der Erde in Uebereinstimmung nicht bringen.

Man hat in tiefe Schachte der Erde sehr sorgfältig abgedrehte Metallkugeln, deren Schwerpunkt ihr Mittelpunkt war, fallen lassen und hat gefunden, daß sie nicht in dem Punkte unten ankommen, welcher vorher durch ein ruhig herabhängendes kegelförmiges Loth bezeichnet worden ist; sondern in einem etwas mehr nach Osten davon gelegenen Punkte. Um den Versuch recht genau zu machen, nimmt man eine Metallkugel, welche grade durch einen Ring schlüpft, wenn beide einerlei Temperatur haben. Wird aber die Kugel erwärmt, so dehnt sie sich aus und der Ring, auf welchen sie gelegt wird, läßt sie nicht durch; aber bei der allmähligen Abkühlung der Kugel und Erwärmung des Ringes kommt ein Augenblick, in welchem sie ohne allen Seitenstoß durchfällt. Es ist natürlich, daß man das Kegelloth von dem Mittelpunkte desselben feststehenden Ringes herabgelassen hat.

Die Erklärung der Erscheinung ist leicht. Fällt die Kugel von a bis b, so hat a, weil es weiter von der Erdaxe und dem Erdmittelpunkte entfernt ist, als b, eine größere von Westen nach Osten gerichtete Geschwindigkeit. Nach dem Beharrungsvermögen behält die von a herabfallende Kugel in allen Punkten ihrer Bahn diese größere Geschwindigkeit und eilt somit allen tiefer liegenden Punkten mehr und mehr nach Osten voran, kommt also östlich von dem Punkte an, den das Loth trifft.

Wenn in der nördlichen Halbkugel der Erde der Wind durch eine Kraft grade von Norden nach Süden getrieben würde, so käme er für einen südlicher gelegenen Bewohner doch nicht grade von Norden, sondern von Nordosten; denn er kommt aus Gegenden von einer größeren geographischen Breite, in denen die Geschwindigkeit bei der Drehung der Erde von Westen nach Osten eine kleinere ist, als in geringeren Breiten, er wird also, seine langsamere Geschwindigkeit beibehaltend, nicht so schnell nach Osten eilen, als die Punkte des Festlandes, über welche er kommt und muß, weil er mehr und mehr nach Westen zurückbleibt, östlicher zu

kommen scheinen. Es wird demnach aus einem Nordwinde in der nördlichen Halbkugel um so mehr ein östlicher (nordnordöstlicher, nordöstlicher, ostnordöstlicher), je rascher er geht. Dies gibt den Nordöstlichen Passat.

Triebe in der südlichen Halbkugel den Wind eine Kraft von Süden nach Norden dem Aequator zu, so müßte wegen der Axendrehung der Erde daraus ein Südostwind werden: der Südostpassat.

Gehen Winde vom Aequator nach den Polen, so wird aus dem Südwinde der nördlichen Halbkugel ein Südwest, aus dem Nordwinde der südlichen Halbkugel ein Nordost; denn in beiden Fällen bringt der vom Aequator kommende Wind eine größere, nach Osten gerichtete Geschwindigkeit, als die Orte, über welche er wegweht; er eilt also diesen Orten nach Osten voraus und erscheint als ein westlicher Wind. Aus dem Süd und West, wird ein Südwest, aus dem Nord und dem West wird ein Nordwest.

Beim sorgfältigen Scheibenschießen kann man wahrnehmen, daß, wenn in unserer nördlichen Halbkugel nicht in ostwestlicher oder westöstlicher Richtung, sondern in einer anderen recht genau nach einer Scheibe geschossen wird, die Mehrzahl der Kugeln rechts vom Ziele einschlägt. Schießt man nämlich von Süden nach Norden, also das Gesicht nach Norden wendend, so bringt die fliegende Kugel eine größere Geschwindigkeit nach Osten, also nach rechts mit, als sie die Scheibe hat oder die Scheibe bleibt gegen die Kugel nach Westen oder nach links zurück; schießt man von Norden nach Süden, also das Gesicht nach Süden wendend, so bringt die Kugel eine kleinere Geschwindigkeit nach Osten, also nach links mit, als sie die Scheibe besitzt oder die Scheibe eilt der Kugel nach Osten voraus, so daß die Kugel auch zu weit rechts einschlägt. — In der südlichen Halbkugel treffen die Kugeln zu weit links vom Ziele. Je entfernter das Ziel bei gleichbleibender Geschwindigkeit der Kugel ist, desto größer die Abweichung vom Ziele.

Diese Betrachtungen gelten nur von Kugeln, deren Schwerpunkte im Mittelpunkte liegen. Ist dieses aber nicht der Fall, so drehen sich die Kugeln, selbst wenn sie aus glatten Läufen geschossen werden und weichen von der vorigen Linie nach der Drehungsrichtung ab.

Bei schnellen Fahrten auf Eisenbahnen, welche in der Richtung eines Meridians angelegt sind, wenn auch nur annähernd, muß in unserer nördlichen Halbkugel bei der Bewegung von Norden nach Süden die westliche Schiene einer größeren Reibung ausgesetzt sein, weil die Schienen, und bei der Bewegung von Süden nach Norden die östliche Schiene, weil die Wagenräder das stärkere Bestreben haben, nach Osten sich zu bewegen. — Ob bei einem Flusse das östliche oder das westliche Ufer mehr abgespült und dadurch steiler wird, hängt wohl von den verschiedenen Krümmungen desselben und von den herrschenden Windrichtungen mehr ab, als von der Axendrehung der Erde; ob aber die größere

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fruchtbarkeit am westlichen Ufer, die Manche als eine durchgreifende ansehen wollen, mit der Axendrehung zusammenhängt und dann als eine Folge der größeren, nach Westen zurückbleibenden Feuchtigkeit aus den Flüssen anzusehen wäre, wollen wir dahingestellt sein lassen. — Auffallend ist der Unterschied der Küstenbildung bei dem wesentlich von Norden nach Süden ausgestreckten Amerika, dessen Westküste oder das östliche Ufer des stillen Ozeans steil, dessen Ostküste aber, als das westliche Ufer des Atlantischen Ozeans, flach gebildet ist: dort staut sich die Fluthwelle, hier aber kann sie frei abfließen und der Bewegung nach Osten ungehindert folgen.

Wie die Schwungkraft eines Punktes der Erdoberfläche mit Zunahme seiner geographischen Breite abnehmen muß, ergibt sich aus der Länge der Kreisbahn, welche derselbe täglich bei der Axendrehung gleichzeitig mit einem Punkte des Aequators vollendet. Zur Beurtheilung der Größe dieser Bahn wollen wir die Länge eines Bogengrades von Parallelkreisen verschiedener Breiten in geographischen Meilen übersichtlich anführen.

Geogr. Br.	Geogr. Meilen eines Grades	Geogr. Br.	Geogr. Meilen eines Grades
0	15,000	45	10,625
5	14,943	50	9,661
10	14,773	55	8,623
15	14,492	60	7,519
20	14,101	65	6,357
25	13,603	70	5,146
30	13,002	75	3,895
35	12,301	80	2,613
40	11,507	85	1,302
		90	0,000

Die Schwungkraft nimmt also mit Zunahme der geographischen Breite rasch ab, so daß sie der Schwere immer weniger entgegentritt.

Die Ungleichheit der Längengrade in verschiedenen geographischen Breiten ist beim Zeichnen von Landkarten um so mehr zu berücksichtigen, als sie mit zunehmender geographischer Breite mehr und mehr hervortritt.

Die Abnahme der Schwungkraft der Erde mit Zunahme der geographischen Breite muß sich auch durch einen Versuch bestätigen lassen, der zugleich ein neuer Beweis für die Axendrehung der Erde sein würde, welchen anzustellen mir aber bisher die Gelegenheit gefehlt hat.

Wenn man nämlich an die beiden Enden einer recht langen Metallschiene, die man zur Vermehrung ihrer Tragfähigkeit auf die hohe Kante stellt, zwei recht schwere Metallkugeln anbringt und nun diese Vorrichtung in ihrem Schwerpunkte im geographischen Meridiane des Beobachtungsortes aufhängt; so besitzt die südliche Kugel eine größere Schwung-

kraft, als die nördliche, sie wird also ein größeres Bestreben haben, nach Osten sich zu bewegen, als die nördliche und wird dieses Bestreben in der That auch dadurch äußern, daß sie mehr nach Osten vorgeht, als die andere, wodurch die Metallschiene endlich die Lage von Osten nach Westen annimmt. Daß hierbei alle sonstigen und störenden Einflüsse, wie Reibung, Luftzug, Drehung der zum Aufhängen verwendeten Leinen oder Drähte möglichst vermieden werden müssen, versteht sich von selbst. Stellte man die ganze Vorrichtung genau von Osten nach Westen, so würde sie in dieser Lage stehen bleiben.

Noch ist bemerkenswerth, daß das in der Natur durchgreifende Bestreben nach Einheit sich sogar in den Bewegungen äußert. Wir werden u. a. in der Elektrizitätslehre erkennen, daß Körper, in denen die Elektrizität dieselbe Richtung verfolgt, einander anziehen. Hier müssen wir erwähnen, daß ein mit der Erde in Verbindung stehender rotirender Körper seine Axe mit der Erdaxe parallel zu stellen und in gleichem Sinne sich zu drehen sucht.

Feste und freie Axe der Erde.

Bei der Axendrehung der Erde bietet sich noch eine höchst einfache Thatsache dar, welche aber für das ganze organische Leben der irdischen Körper von der höchsten Bedeutung ist.

Wir begrüßen die lebenerweckende Frühlingssonne mit Entzücken, wir freuen uns der wiederewachenden Natur, wir genießen mit Lust die Früchte ihrer Lebensthätigkeit und gönnen ihr dann wohl, in der Zuversicht, daß der Kreislauf aufsneue beginnen werde, gern die Zeit des Winterschlafes, ohne daran zu denken, daß der Grund für alle die verwickelten Erscheinungen in der Abwechselung der Tageslängen und der Jahreszeiten mit dem ungeheuren Gefolge der davon abhängigen Wirkungen einzig in der einfachen Thatsache besteht, daß die Drehungsaxe der Erde nicht lothrecht auf der Bahn derselben um die Sonne steht, sondern mit ihr einen Winkel von 66½ Graden bildet, daß diese ihre Axe eine **freie** und in dieser Lage eine **feste** ist.

Daß die Lage der Erdaxe sich nicht ändert, können wir leicht beobachten Der Durchmesser der Erdbahn kann im Verhältnisse der Entfernung der Erde von den Fixsternen als verschwindend klein angesehen werden, weshalb sich auch ungeachtet dieser Bewegung eine Veränderung ihrer Lage gegen einander nicht zeigt und wobei alle uns in gleicher Entfernung wie an der Fläche einer Hohlkugel angeheftet zu sein scheinen. Nun zeigt es sich aber bei der durch die Axendrehung hervorgebrachten scheinbaren Drehung der Himmelskugel in entgegengesetzter Richtung, daß einer von den Fixsternen, der Polarstern, zu allen Jahreszeiten in derselben Höhe über dem Horizonte eines bestimm-

ten Ortes sich zeigt. Dieser Stern ist leicht aufgefunden, wenn man von den zwei großen Sternen, welche die Hinterräder im Sternbilde des Wagens bilden oder in den Vorderfüßen des großen Bären liegen, eine grade Linie zieht und diese nach oben so weit verlängert, bis sie ganz in die Nähe eines durch seine Größe von den anderen sich auszeichnenden Sternes kommt und dieser Stern ist der scheinbar feste Angelpunkt, um welchen alle Fixsterne in kreisförmigen Bahnen sich bewegen. Dieser Stern in dem Ende des Schwanzes vom kleinen Bären behält also nur deshalb seine ganz bestimmte Lage, weil die Verlängerung der Erdaxe in allen Punkten ihrer Bahn unverrückt auf diesen Stern zeigt. Aenderte sich die Lage der Erdaxe, so würde ihre Verlängerung bei jeder Aenderung auf eine andere Stelle der Himmelskugel hinweisen, als auf den Punkt, um welchen die anderen Fixsterne sich drehen würden.

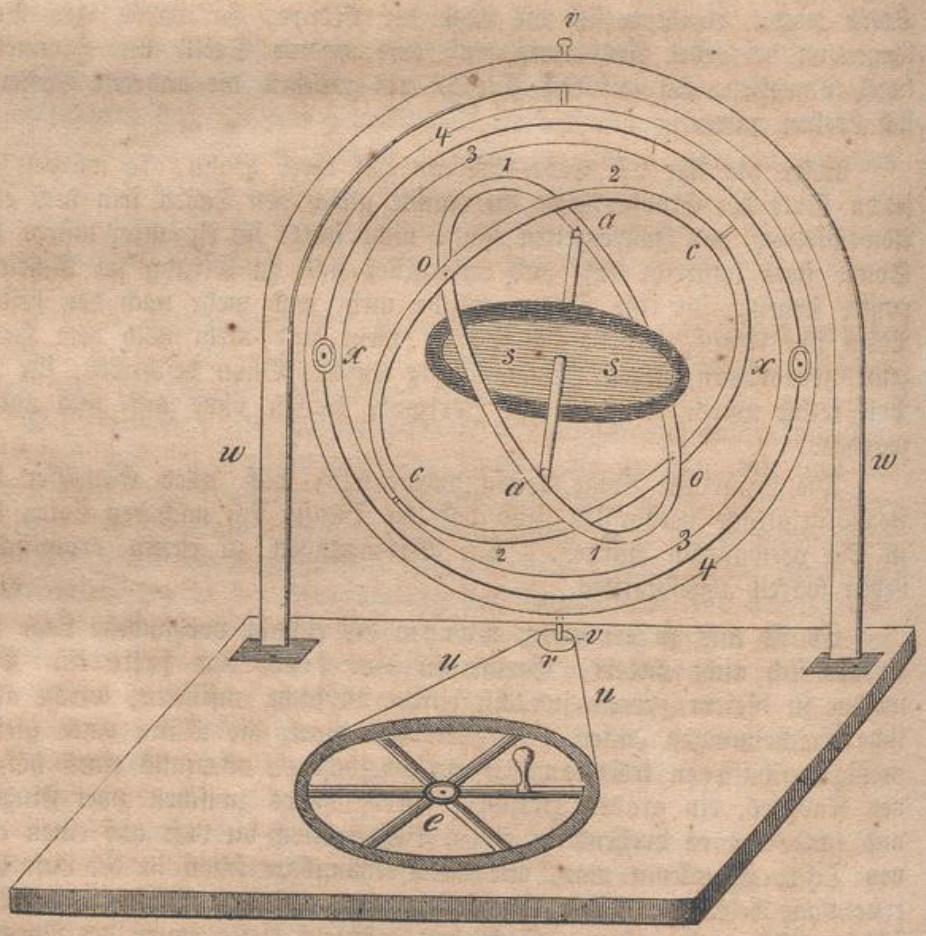
Wäre die Axe der Erde lothrecht auf ihrer Bahn, so würden an jedem Orte der Erdoberfläche die Nächte gleich den Tagen sein und eine Abwechselung von Jahreszeiten fände nicht statt: im Aequator würde die Sonne stets lothrecht auf- und untergehen und zu Mittag im Scheitelpunkte stehen; für die Orte, welche mehr und mehr nach den beiden Polen hin liegen, würde die Sonne mehr und mehr nach dem Horizonte herabrücken, indem sie unablässig dieselbe Bahn beschriebe; für die Pole selbst würde sie stets am Horizonte kreisen ohne auf- und unterzugehen.

Die natürliche Folge davon würde sein, daß alles Gewässer der Aequatorialzone verdunsten, und daß die Dünste sich nach den Polen hin zu Eis verwandeln würden. Die Bedingungen zu einem organischen Leben wären abgeschnitten.

Es ist nun zu ermitteln, warum die einmal vorhandene Lage der Erdaxe sich nicht ändert, warum sie eine freie und feste ist. Wir wollen zu diesem Zwecke zunächst einige Versuche anführen, welche ähnliche Erscheinungen zeigen. Steckt man durch die Mitte eines gleichmäßig beschaffenen kreisförmigen Holzscheibchens, allenfalls eines hölzernen Knopfes, ein grades Hölzchen, dreht dieses zwischen zwei Fingern und schleudert es drehend in einem Bogen durch die Luft auf einen ebenen Tisch, so erkennt man, wie die Drehungsaxe schon in der Luft ihre erste Lage behält und wie sie dieselbe auch auf dem Tische festzuhalten sucht. Mit noch größerer Sicherheit geschieht dieses unter der Voraussetzung gleicher Drehungsgeschwindigkeit und gleicher Durchmesser, wenn man ein Metallscheibchen nimmt und ganz besonders dann, wenn es an seinem Rande recht viele Masse enthält, der innere Theil der Scheibe aber dünn ist. Hat man einen mehre Pfunde schweren Metallkreisel, welcher sich um eine flache Stahlspitze auf dem Boden eines Glases oder Porzellantellers recht schnell dreht, so ist eine Veränderung der

Lage des Tellers nicht im Stande, die Lage der Axe des Kreisels zu ändern und er erhält sich sehr lange in Bewegung.

Wenn auch die Erscheinung beim tanzenden Kreisel uns schon seine Axe als eine feste kennen lehrt, so ist doch die Lage derselben noch zu sehr abhängig von der sie stützenden Unterlage. Wenn man aber der Axe einer dünnen Metallscheibe mit dickem Rande bei der Drehung jede beliebige Lage geben könnte, so würde die Erscheinung erst den Charakter vollkommener Allgemeinheit haben. Dieser Zweck wird durch die in Fig. 173 angedeutete Einrichtung erreicht.



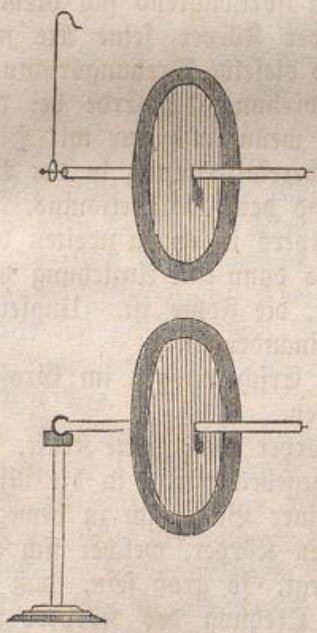
(Fig. 173.)

Die Metallscheibe ss ruht mit ihrer Axe aa drehbar in dem innersten kreisförmigen Metallringe; dieser erste Metallring ist drehbar um eine zweite Axe oo in einem zweiten Ringe, der zweite Ring drehbar um eine dritte Axe cc im dritten Ringe und der dritte Ring befindet sich in einem vierten in derselben Ebene liegenden und kann an diesen

mittelst zweier Schrauben xx so befestigt werden, daß dadurch seine Axe jede beliebige Lage gegen das horizontal gestellte Brett des Gestelles ww bekommen kann. Von den drei Axen ist jede auf jeder der beiden anderen lothrecht. Die mittelste Scheibe wird durch das Abziehen einer um ihre Axe aufgewickelten dünnen Schnur gedreht und das ganze Ringsystem durch die Drehung der kleinen Scheibe r an der Axe vv des letzten Ringes mittelst einer größeren e und einer um beide gelegten Schnur uu. Statt der mittelsten Scheibe kann man auch eine Kugel nehmen. Das Ganze wird durch ein Gestell ww auf einem Brette, welches auch die beiden Scheiben r und e trägt, gehalten.

Mit dieser Vorrichtung im Ganzen, sowie mit einzelnen Theilen, lassen sich höchst überraschende Versuche anstellen.

1) Nimmt man die Scheibe mit ihrer Axe aus den Ringen und setzt sie mittelst einer Schnur in rasche Drehung, so wird sie durch diese Drehung ihre Axe frei in horizontaler Richtung schwebend erhalten, wenn nur das eine Ende derselben, wie Fig. 174 zeigt, in einer Schleife hängt oder einen kugelförmigen Knopf trägt, der in eine drehbare Vertiefung auf einem Ständer lose paßt oder durch ein Scharnier mit einem, in einer lothrechten Hülse drehbaren Stabe verbunden ist. Es ist, als wenn die Scheibe sammt ihrer Axe während der Drehung das ganze Gewicht verloren hätte. Zu bemerken aber ist noch, daß die Axe sich horizontal um den Aufhängepunkt in der Richtung, welche der Drehung der Scheibe entgegengesetzt ist, dreht, was durch den Reibungswiderstand am Anhängepunkte bewirkt wird.



(Fig. 174.)

2) Bringt man die Scheibe wieder in das Ringsystem, stellt man den dritten Ring lothrecht fest und dreht man dann die Scheibe bei irgend einer Lage ihrer Axe, so verändert die Axe ihre Lage nicht, wenn man auch die ganze Vorrichtung im Kreise oder irgendwie horizontal bewegt. Greift man aber den ersten Ring an, in welchem die Axe der Scheibe ruht und will man dadurch die Lage der Axe verändern, so empfindet man einen um so größeren Widerstand, je schneller die Drehung geschieht und je massenhafter vorzüglich der Rand des Ringes ist.

Diese Erscheinung läßt sich, wie es bei der letzten Londoner Weltausstellung geschehen ist, zu einem Versuche benutzen, welcher den Unkundigen mit Recht in das größte Erstaunen setzen muß. Schließt man nämlich diese Ringe in eine kugelrunde Kapsel oder auch in ein anderes

Kästchen ein, bringt man die Scheibe in recht rasche Drehung, verschließt dann das Kästchen, so daß man nicht sieht, was darin ist; so wird ein Anderer, welchem man dasselbe überreicht hat, nicht wissen, was für eine zauberhafte lebendige Kraft es verhindert, dem Kästchen mit gleicher Leichtigkeit jede beliebige Lage zu geben. Bei den Bewegungen, welche die Lage der Axe nicht zu ändern streben, hat man es blos mit dem Gewichte des Kästchens zu thun, aber bei anderen ist noch eine andere widerstrebende geheimnißvolle Kraft zu überwinden.

3) Wenn der ganze Apparat so zusammengesetzt ist, wie es Fig. 173 angibt, wenn dabei der dritte Ring an den vierten bei beliebiger Lage seiner Axe festgeschraubt ist, wenn man zuerst die Scheibe auch bei beliebiger Lage ihrer Axe und dann das ganze Ringsystem mittelst des am vierten Ringe befestigten Scheibchens in Drehung versetzt; so ändert sich die Lage der Axe der inneren Scheibe und dann auch ihre Drehungsrichtung, bis endlich ihre Axe mit der des dritten Ringes parallel ist und ihre Drehung in derselben Richtung erfolgt, wie die des dritten Ringes. In gleicher Weise würde ein fortwährend sich drehender und mit der Erde in Verbindung stehender Körper seine Axe mit der Erdaxe nach und nach parallel stellen und dieselbe Drehungsrichtung annehmen, und es ist der Einfluß der Axendrehung der Erde bei der Drehung des Apparates sogar wahrnehmbar, wenn auch nur mit Hilfe eines Mikroskopes. Dieses Streben nach Uebereinstimmung in der Bewegung zeigt sich auch bei der Elektrizität und dem Magnetismus, da eine gewisse Molekularbewegung des einen Körpers in einem zweiten dieselbe Bewegung hervorzubringen sucht, woraus dann eine Anziehung beider oder das Bestreben, ein Ganzes zu bilden, die Folge ist. (Ungleichnamige Pole, gleichgerichtete Ströme ziehen einander an).

Wir wollen nun zeigen, wie alle diese Erscheinungen im Großen und Kleinen auf Naturnothwendigkeiten beruhen.

Wir wissen bereits, daß ein bewegter Körper seine ganze Kraft, die ihm durch seine Masse und Geschwindigkeit gegeben wird, in die Richtung legt, in welcher er auf jedem Punkte seiner Bahn sich zu bewegen strebt. Diese Kraft kann für einen bestimmten Körper, welcher sich als Ganzes fortschreitend, z. B. horizontal, bewegt, so groß sein, daß sie sein Gewicht aufhebt. Aber auch bei der Drehung des Körpers um eine durch ihn gehende Axe kann dieses stattfinden. Wenn wir uns die Lage der Axe so denken, daß in den durch jeden ihrer Punkte lothrecht auf ihr gezogenen graden Linien zu beiden Seiten des betreffenden Punktes gleich viele, gleich schwere und gleichmäßig vertheilte Stofftheilchen vorhanden sind; so wird ein solcher Punkt o (Fig. 175) durch je zwei dieser Theile, wie r und n, welche von ihm in gleicher Entfernung liegen, im Gleichgewichte gehalten oder von den beiden gleichen Kräften, welche auf die starre Linie rn bei der Drehung lothrecht und entgegengesetzt wirken, getragen.



(Fig. 175.)

Was von dem Punkte o der Axe und den auf ihn wirkenden Kräftepaaren gilt, ist von jedem Punkte der Axe ae, also von der ganzen Axe zu sagen. Da die Punkte der Axe die Schwerpunkte aller solcher Paare von schwer gedachten Punkten sind, in welche wir den ganzen Körper, z. B. einer Kugel, aufgelöst denken können; so wird die ganze Axe frei, ohne irgend eine Stütze, getragen und wird, natürlich nur wenn die Axendrehung für einen bestimmten Körper schnell genug ist, der Einwirkung einer jeden anderen Kraft, auf unserer Erde also ihrer Anziehungskraft, entzogen werden.

Die Erdaxe ist aber nicht blos eine freie, sondern auch eine feste, d. h. eine solche, welche durch eine gewaltige Kraft in ihrer bestimmten Lage erhalten wird und der Veränderung dieser Lage mit derselben Kraft widerstrebt. Jedes Massentheilchen der Erde hat bei der Axendrehung je nach seiner Geschwindigkeit eine gewisse Kraft, mit welcher es, indem es die Bewegung in der einmal angenommenen Kreisbahn beharrlich fortsetzt, vom Mittelpunkte der Drehung aus fortfliehen will, diesen Punkt also, welcher in der Axe liegt, in der Richtung des Strahles weg nach der Peripherie zieht. An diesem Punkte ziehen die Kräfte aller materiell gedachten Punkte derselben Kreisfläche gleichzeitig nach allen denkbaren Richtungen, wobei aber die in den beiden Strahlen desselben Durchmessers und die in den beiden Halbkreisen wirkenden einander gleich sind. Durch alle diese Kräfte aber wird der betreffende Punkt fest gehalten und kann einer einzelnen dieser Kräfte nicht folgen. Diese Betrachtung gilt von allen Punkten der Axe, also von der ganzen Axe.

Für die Rotationskraft eines Körpers, also für die Kraft eines Körpers, mit welcher er rotirend seine Axe festhält, ist es durchaus nicht gleichgiltig, ob er bei einem bestimmten Gewichte eine massive oder eine hohle Kugel bildet; denn je mehr Masse bei einer bestimmten Drehungszeit in größerer Entfernung von der Drehungsaxe sich befindet, desto größer ist die Kraft, mit welcher die Axe in einer festen Lage erhalten wird.

Die Dichtigkeit der Erde als eines massiven Körpers würde das 5,67fache von dem des Wassers sein; da der feuerflüssig gewesene Erdkörper aber, wie wir bereits angegeben, wahrscheinlich hohl geworden ist, wie die durch Elektrizität aus Eisendraht geschmolzenen Kügelchen es thatsächlich sind; so ist die Dichtigkeit der Erdkruste, wie es auch mit der Erfahrung übereinstimmt, größer, also ist auch die Rotationskraft der hohlgedachten Erde größer, als die einer massiven Kugel von demselben Gewichte.

Wenn Archimedes nur einen Stützpunkt verlangte, um die 123191 Trillionen Zollzentner wiegende Erde aus den Angeln heben zu können; so müßte außerdem noch die durch die Rotation vermehrte Kraft der Erde berücksichtigt werden, wenn man dabei die Lage der Axe ändern, sie nicht etwa blos in ihrer eigenen Richtung bewegen sollte.

Bei der so bedeutenden Masse der Erde und der so großen Rotationsgeschwindigkeit derselben ist also die Kraft, mit welcher sie ihre Axe festhält, eine so ungeheure, daß die Lage derselben und die davon abhängigen Erscheinungen auf die Ewigkeit gesichert zu sein scheinen. Nicht nur die mächtigsten Gewitter, Erdbeben und vulkanischen Erscheinungen, sondern selbst die Annäherung anderer Planeten an die Erde haben darauf nicht den geringsten Einfluß, letztere wohl aber auf die Form ihrer Bahn um die Sonne.

Grund für die Neigung der Erdaxe.

Die in ihren Folgen so unendlich wichtige Thatsache, daß die Drehungsaxe der Erde auf der Bahn um die Sonne nicht senkrecht steht, sondern einen Winkel von 66½ Graden bildet, ist gewiß aus einer Naturnothwendigkeit entsprungen und es ist wohl gestattet, eine Ansicht aufzustellen, zumal man darüber bis jetzt wenig oder gar nichts gesagt findet.

Wenn die im Weltraume um eine Axe sich drehende Urmasse, von welcher die Planeten und Monde sich noch nicht abgelöst hatten und von welcher die jetzige Sonnenmasse den Hauptkern bildete, eine durchgängig gleiche Dichtigkeit besessen und behalten hätte; so würden die durch die Schwungkraft von den Stellen der größten Geschwindigkeit, also vom Aequator dieser Gesammtmasse, abgeschleuderten einzelnen Massen, nämlich die Urmassen zu den Planeten und deren Monden, eine eigene Drehungsaxe bekommen haben, welche auf dem Aequator der Gesammtmasse hätte *senkrecht* stehen müssen, weil in der abgelösten Masse jenseits und diesseits des Aequators gleiche Massen mit gleichen Geschwindigkeiten vorhanden waren, so daß also gleiche Bewegungsgrößen in den beiden Hälften zu den beiden Seiten des ursprünglichen Aequators lagen und auch nach der Ablösung liegen geblieben wären. Es würden also unter der obigen Bedingung die Aequatoren aller Planeten in der Ebene des Sonnenäquators liegen und aller Axen würden auf ihm lothrecht stehen.

Die Ablösung der Planeten konnte aber nicht schon entstehen, als die gesammte Urmasse noch nebelartig einen ungeheuren Raum einnahm und nur in träger Bewegung war, sondern erst, als zufolge der vom Mittelpunkte aus wirksamen Massenanziehung die Masse sich verdichtete und die Drehungsgeschwindigkeit eine größere wurde. Dann wurden durch die vermehrte Fliehkraft Massen abgeschleudert, welche selbst schon

eine größere, wenn auch nicht durchweg gleichmäßige Dichtigkeit besaßen.

Wenn nun auf der einen Seite des Aequators mehr Masse lag, als auf der anderen, so hatte die massigere Hälfte des abgeschleuderten Körpers das Bestreben weiter fortzufliegen, als die mehr lockere und jene zwang also die in ihr liegende Hälfte der Drehungsaxe sich ihr zuzuneigen, so daß die ganze Axe eine Neigung gegen den Sonnenäquator und die Bahn um die Sonne bekam.

Betrachten wir die Erde, so zeigt sich nicht nur die auffallende Thatsache, daß die nördliche Halbkugel bedeutend mehr Festland besitzt, als die südliche, sondern daß gewissermaßen der Schwerpunkt der ganzen Ländermasse der nördlichen Halbkugel, sowohl in der alten, als auch in der neuen Welt, um den 23sten Breitegrad liegt und daher der Neigungswinkel der Axe gegen die Bahn auch $23\frac{1}{2}^{\circ}$ geworden ist.

Wenn auch das über dem Meeresspiegel hervorragende Land diese Vertheilung nicht genau zeigt, selbst mit Berücksichtigung der bedeutender hervorragenden Gebirgsmassen, so kann doch die größere oder geringere Meerestiefe die Ausgleichung hervorbringen, indem zu der geringeren Masse des aus dem Meere hervorragenden Landes eine größere Masse des dem Meeresspiegel näher kommenden Meeresbodens gehört.

Wurden von der Hauptmasse einzelne Planetenmassen abgelöst, welche blos auf der einen Seite des Aequators in seiner Nähe lagen, so hatten die ihm näher liegenden Theile eine größere Drehungsgeschwindigkeit, als die entfernteren, und jene besaßen somit eine größere Fliehkraft, als diese, selbst bei durchgängig gleicher Massenbeschaffenheit. Also auch in einem solchen Falle mußte die Drehungsaxe des gebildeten Körpers eine schiefe Lage gegen seine Bahn bekommen.

Es liegen uns nach den bisher angeführten Betrachtungen in dem zu unserer Sonne gehörigen Planetensysteme zwei interessante Thatsachen vor, die uns eine ungleiche Massenvertheilung in dem durch die Fliehkraft abgeschleuderten selbstständigen Körper beweisen: bei der Erde und den anderen Planeten mit schiefer Axe war die ungleiche Vertheilung diesseits und jenseits des Aequators, bei dem Monde unserer Erde und wahrscheinlich auch bei den Monden der übrigen Planeten war die ungleiche Vertheilung diesseits und jenseits eines Meridianes des Mondes.

Wenn auch die Richtung der Erdaxe in Beziehung auf die Oberfläche der Erde eine Aenderung nicht erleidet und niemals erlitten hat, wie man früher wohl fabelte, als man im nordlichen Eismeere einen Elephanten eingefroren gefunden hatte, welcher so frisch erhalten war, daß die Hunde der Jakuten das Fleisch noch genießen konnten; so ist sie doch kleinen regelmäßigen Schwankungen ausgesetzt, welche eine Folge der Abplattung und schiefen Lage der Axe gegen die scheinbare Sonnen- und Mondbahn sind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Nur an den beiden Tag- und Nachtgleichen-Punkten der Ebene der Erdbahn um die Sonne liegt der Sonnenmittelpunkt im Erdäquator; die Verbindungslinie des Mittelpunktes der Sonne mit dem der Erde steht auf der Erdaxe lothrecht und die der Sonne zugewendete Hälfte der Erde hat ungeachtet der Abplattung eben so viele Masse, als die abgewendete.

Befindet sich die Erde auf ihrer Bahn für uns im Sommer-Sonnenstillstandspunkte (den 21. Juni) oder beschreibt die Sonne mit ihren lothrechten Strahlen den nördlichen Wendekreis bei der Drehung um ihre Axe; so liegt von der der Sonne zugekehrten Hälfte der Erde der größere Theil der Masse unterhalb der Erdbahn und der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Körper; befindet sich die Erde im Winterstillstandspunkte (am 21. Dzbr.) oder beschreibt die Sonne mit ihren lothrechten Strahlen den südlichen Wendekreis, so ist die der Sonne zugekehrte gewichtigere Hälfte der Erde über der Ebene der Erdbahn. Die Anziehung der Sonne strebt aber, die ihr zugewendete größere Masse am Aequator immerfort so zu stellen, wie sie in den Tag- und Nachtgleichen-Punkten steht, es wird also der massenhaftere Aequator durch die Sonne fortwährend zurück gegen die Richtung der Bewegung um die Sonne, also gegen Westen gezogen, so daß die beiden Durchschnittspunkte des Aequators mit der festen Ekliptik (oder scheinbaren Sonnenbahn) jährlich etwa um 50,2 Bogensekunden, in einem Jahrhunderte um 1,39 Grad, von Osten nach Westen wandern und in 25900 Jahren den ganzen Umlauf vollendet haben würden, ohne daß sich dabei die Neigung des Aequators gegen die Ekliptik ändert.

Daß diese Erscheinung, welche man das Vorrücken der Nachtgleichen oder die Präzession nennt, und welche bereits den Alten bekannt war (Timocharis 300, Aristarch 140 vor Chr. G.) mit einer entsprechenden kleinen Bewegung der Erdaxe verbunden ist, darf wohl kaum erst erwähnt werden. Es wird hierbei der Pol des Aequators um den festen Pol der Ekliptik von Ost nach West in einem Kreise in derselben Zeit gehen, in welcher die Aequinoktialpunkte ihre Bahn vollenden.

Man kann bei einem tanzenden Kreisel schon sehen, wie der Reibungswiderstand an dem einem Endpunkte der Axe geeignet ist, ihre beiden Theile zur Beschreibung von Kegelmanteln, ihre Endpunkte also zur Zurücklegung von Kreisbahnen zu veranlassen. Auch die in einer Schleife horizontal hängende Axe der gedrehten Metallscheibe (S. 369) beschrieb eine gegen ihre Drehung rückwärts gerichtete Kreisfläche.

Wenn man an den ersten Ring der in dem Ringsysteme sich frei drehenden Scheibe oder Kugel ein Gewichtchen hängt, welches fortwährend einseitig ziehend wirkt, wie die Anziehung der Sonne gegen die sphäroidische Erde, so beschreibt der Endpunkt der Axe auch eine rückläufige Kreisbahn.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

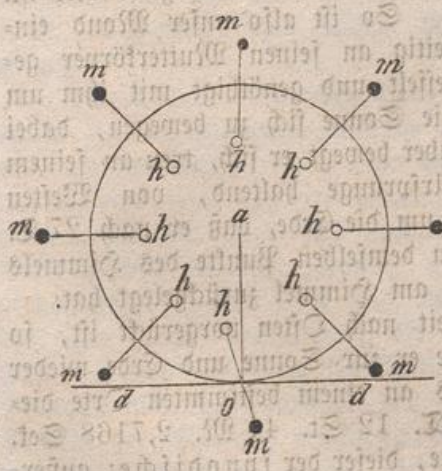
Daß auch der Mond wegen seiner Nähe und verschiedenen Stellungen gegen den Erdäquator eine periodische Schwankung, Nutation genannt, welche mit dem Vorrücken der Nachtgleichen in genauer Verbindung steht, hat, wollen wir eben nur erwähnen. Der Pol bleibt nämlich nicht genau auf jener Kreislinie, sondern wankt gesetzmäßig in einer Periode von 18½ Jahren von einer Seite derselben auf die andere.

Der Mond.

Wir gehen nun zu den Erscheinungen über, welche der zu unserer Erde gehörige Nebenplanet, der Mond, darbietet, insofern sie physikalischer Natur sind. Was von ihm gesagt wird, gilt aller Wahrscheinlichkeit nach auch von den Monden der übrigen Planeten.

Von welchem Punkte der Erde wir immer den Vollmond anblicken, überall zeigt er uns dasselbe starre, nie alternde Gesicht. Richten wir in den verschiedensten Zeiten und Orten auf ihn Fernröhre, so beweisen auch sie, daß er uns stets dieselbe Seite zuwendet mit denselben ausgebrannten ringförmigen Vulkanen, aus deren Mitte bisweilen noch ein steiler Kegel hervorragt, mit denselben Rillen, welche als Verbindungslinien der Vulkane erscheinen und mit denselben ebenen Gefilden, aber ohne jede Spur einer organischen Thätigkeit und einer tropfbaren oder luftigen Flüssigkeit. Daß die Mondphasen uns nur Theile von dieser bestimmten Fläche zeigen, darf wohl kaum erst erwähnt werden.

Da der Mond kugelförmig gestaltet ist, so kann er bei seiner Lostrennung von der Erde nicht ein fester Körper gewesen sein, sondern er muß auch Flüssiges in seiner Masse vertheilt enthalten haben und zwar in dem Maße, daß ihm jene Formbildung noch gestattet war. Wir wollen diesen scheinbaren Widerspruch zu lösen und zugleich die Thatsache, daß er unserer Erde stets dieselbe Seite zuwendet, zu erklären suchen.

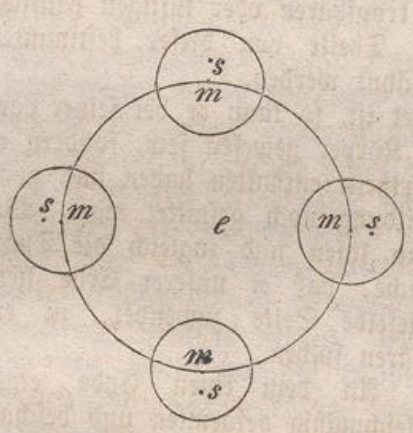


(Fig. 176.)

An dem einen Ende eines gleichmäßig geformten und beschaffenen Stabes hm (Fig. 176), welcher also seinen Schwerpunkt im Mittelpunkte hat, sei eine Holz-, an dem anderen eine gleich große Metallkugel, und in der Mitte o eine Schnur befestigt. Legt man den Stab mit diesen Kugeln, von welchen der gemeinschaftliche Schwerpunkt zwischen o und der Metallkugel m liegt, auf die horizontale Diele dd, zieht die Schnur ao

lothrecht zum Stabe an und schwenkt man endlich diese Vorrichtung im Kreise um a herum, so daß die Schnur in einer Ebene gespannt bleibt; so fliegt die Metallkugel m weiter vom Mittelpunkte der Drehung ab, als die Holzkugel und bleibt auch überall in dieser Lage, wie es die Figur zeigt, so daß der Mittelpunkt o der drei verbundenen Körper dem Drehungspunkte a stets näher liegt, als der Schwerpunkt.

Weil nun die Planeten bei ihrer allmähligen Abkühlung einen größeren Grad von Festigkeit an ihrer Oberfläche hatten, als nach dem Inneren hin, so mußte beim Abschleudern des Mondes von der Erde der in dem festeren Theile der Masse liegende Schwerpunkt am weitesten hin zu fliegen suchen, so daß bei der stattfindenden Abrundung des Körpers der Mittelpunkt der ganzen Masse dem Erdmittelpunkte näher liegt, als der Schwerpunkt derselben. Wie in dem obigen Versuche der Stab mit den beiden Kugeln durch das sichtbare Band an den Drehungsmittelpunkt gefesselt war, so fesselt die Erde durch das unsichtbare Band der Schwere den Mond an ihren Mittelpunkt; es ist der Mond wie im Mittelpunkte der Erde angehängt und befindet sich fortwährend im stabilen Gleichgewichte, weil sein Schwerpunkt stets die tiefste, d. h. die entfernteste Stelle einnimmt.



(Fig. 177.)

Die Zeichnung Fig. 177 gibt eine Darstellung des Thatbestandes. Es ist e der Mittelpunkt der Erde, m der des Mondes, s der Schwerpunkt desselben; letzterer bleibt in jeder Lage des Mondes der entferntere, so daß der Mond dem e stets dieselbe Seite zuwendet, welche erhabener, als die abgewendete ist.

So ist also unser Mond einseitig an seinen Mutterkörper gefesselt und genöthigt mit ihm um die Sonne sich zu bewegen, dabei aber bewegt er sich, treu an seinem Ursprunge haltend, von Westen nach Osten in einem Mondmonate so um die Erde, daß er nach 27 T. 7 St. 43 M. 11,5104 Sek. wieder zu demselben Punkte des Himmels zurückgekehrt ist und volle 360 Grade am Himmel zurückgelegt hat.

Weil aber die Erde in dieser Zeit nach Osten vorgerückt ist, so muß der Mond noch länger gehen, ehe er zur Sonne und Erde wieder dieselbe Stellung erlangt hat und uns an einem bestimmten Orte dieselbe Beleuchtung zeigt, nämlich 29 T. 12 St. 44 M. 2,7168 Sek. Jener Mondmonat heißt der siderische, dieser der synodische; außerdem aber spricht man noch von einem Sonnenmonate, welches der

zwölfte Theil des tropischen Jahres ist, d. i. die Zeit, in welcher die Sonne in einem der 12 Zeichen des Thierkreises verweilt. Andere kleinere den Mond betreffende Bewegungen müssen wir hier übergehen.

Wie nun aber, daß wir auf dem Monde nichts Flüssiges entdecken können, obwohl er, da er sich kugelförmig gestaltet hat, nicht so fest gewesen sein kann, als wir es jetzt an ihm wahrnehmen? Wie auf der Erde, so wollen auf jedem anderen Himmelskörper die Flüssigkeiten dem Schwerpunkte des Körpers möglichst nahe kommen oder sie gehen, wie wir zu sagen pflegen, nach unten. Da nun der uns zugekehrte Theil der Oberfläche des Mondes weiter von dem Schwerpunkte entfernt, also höher ist, als die Oberfläche des abgewendeten; so mußte alles Flüssige nach jenseits sich begeben und unseren Blicken für immer sich entziehen. Da der Mond von der Erde sich abgelöst hat, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß die Flüssigkeit auch Wasser sein wird, welches jenseits ein Zentralmeer mit Inseln und Buchten bilden mag.

Der Saturn.

Eine der interessantesten Erscheinungen am Himmel bietet uns der Saturn dar. Er führt uns so recht ein in die Entstehungsgeschichte unseres Planetensystems. Dieser Planet hat einen Aequatorialdurchmesser von 17166 geographischen Meilen, welches fast das Zehnfache von dem Durchmesser der Erde ist; dabei nimmt seine Axendrehung nur 16 Stunden 16 Minuten 44 Sekunden in Anspruch, so daß die Schwungkraft am Aequator, welcher eine Ausdehnung von 53929 Meilen hat, eine außerordentlich große, nämlich 11,5 Meilen für die Sekunde ist.

Die natürlichen Folgen davon erkennen wir an den sieben Monden des Saturn und an Ringen, welche frei um ihn lothrecht auf der Axe schweben und, wie die Monde, eine Bewegung um ihn besitzen; wenigstens hat Herschel mit seinem Riesenteleskope bei den äußeren dieses gefunden.

Die Monde entstanden schon, als die Masse des Planeten noch in einem ziemlich flüssigen Zustande war; die Ringe aber lösten sich erst ab, als die Masse schon eine ziemliche Zähigkeit angenommen hatte, welche eine Ablösung in einzelne selbstständige Körper nicht mehr gestattete. Indeß zeigt sich auch bei den Ringen noch die Neigung zur Bildung selbstständiger Monde, weil auf ihren Flächen Berge, welche verhältnißmäßig sehr hoch sind, sich vorfinden, wobei einem Berge auf der einen Fläche des Ringes oft ein zweiter auf der anderen gegenüber liegt. Durch das späte Abschleudern der Ringe hat die Oberfläche des Planeten nicht nur parallel mit den Ringen laufende Streifen als die Spuren der Ablösung erhalten; sondern er zeigt sich auch in der Nähe der Ringe oder an seinem Aequator weniger erhaben, als in einer Breite von 43 bis 46 Graden, wo er den größten Durchmesser hat,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

und dies gibt ihm bei seiner namhaften Abplattung eine einigermaßen viereckige Gestalt.

Der nächste Ring ist 5720 Meilen von der Oberfläche des Saturn entfernt und hat eine Breite von 3935 Meilen; nach einem Zwischenraume von 568 Meilen folgt der kleinere, welcher 1379 Meilen breit ist. Die Dicke beträgt nur 113¼ Meilen. Der innere Ring dreht sich in 4 bis 5, der äußere in 10½ Stunden um den Saturn. Der innere ist wahrscheinlich aus einzelnen zusammengesetzt.

Es würde zu weit führen, uns ein naturgetreues Bild von den prachtvollen Erscheinungen, welche die Monde und Ringe einem Beobachter auf diesem Planeten darbieten, zu entwerfen.

Die Asteroiden und Meteore.

Die 82 Asteroiden bieten uns eine Thatsache dar, welche auf ihren gemeinsamen Ursprung aus einem Körper hinweiset. Berechnet man nämlich ihre Bahnen um die Sonne, so findet sich, daß jeder von ihnen, wie mannigfaltig auch die Lage dieser Bahnen ist, einmal so ziemlich auf denselben Ort im Weltraume kommt; verschiedene natürlich zu verschiedenen Zeiten. Es ist nicht unmöglich, daß dieser Ort die Geburtsstätte ist nicht nur für den Schwarm dieser kleinen Planeten, sondern auch für diejenigen Meteore, welche die Erde als Steinregen heimsuchen. Diese im Ganzen sehr kleinen Massen mußten bei der Zersprengung des großen Planeten um so weiter in den Weltraum hinausfliegen, je kleiner sie waren. Wenn sie nun auf ihren wenig gekrümmten Bahnen in den Bereich der Anziehungskraft der Erde kommen, so werden sie gezwungen, sich um sie zu bewegen und immer mehr sich verengende Bahnen zu beschreiben. Wenn sie dann bei ihrer schlüßlich sehr schnellen Annäherung in die Atmosphäre der Erde kommen, so werden sie durch deren Reibung warm, glühend, mit den Zeichen der Schmelzung an ihrer blasigen Oberfläche, zerspringen meistens mit einem Knalle, welcher bei nicht allzugroßer Entfernung einem Kanonenschusse gleicht, und es fallen endlich auf die Erde kleinere und größere, vorzüglich Eisen (Magnesium, Nickel) enthaltende Massen in einer länglichen Bahn, bisweilen noch so heiß, daß sie Gebäude anzuzünden im Stande sind. Auffallend ist es, daß sie, obwohl sie von so bedeutenden Höhen kommen, doch selbst im weicheren Erdboden meist nur wenige Fuß, ja bisweilen nur einige Zolle, aber auch bis zu 3 Klaftern tief einschlagen. Es hat nämlich die nach der Erdoberfläche hin wachsende Dichtigkeit der atmosphärischen Luft die Kraft mit zunehmender Geschwindigkeit des Meteors auch zunehmend gebrochen.

Ein bei Aigle herabfallendes Meteor gab ein Getöse wie von 3 bis 4 Kanonenschüssen und darauf folgendem Kleingewehrfeuer gegen 5 Minuten lang und etwa 2000 Bruchstücke, deren größtes 175 Pfund,

kleinstes 2 Quentchen wog, bedeckten eine Fläche von 2,5 französischen Meilen Länge und 1 Meile Breite.

Die Meteorsteine sind nicht selten von bedeutendem Gewichte: etwa 50 portugisische Meilen von Bahia in Brasilien liegt einer, dessen Masse man auf 14000 Pfunde schätzt und nicht weit davon eine 2000 Pfund schwere ganz vereinzelte Kupfermasse; in Louisiana unter 32° 20′ N. Br. und 97° W. L. liegen zwei Stücke, die man auf 100000 Pfunde schätzt.

Da alle Meteorsteine aus denselben Stoffen bestehen, so ist es keinem Zweifel unterworfen, daß sie alle auf einen gemeinschaftlichen Ursprung zurückgeführt werden müssen. Weil schon so viele Meteorsteine auf die Erde gefallen sind und noch fallen, und zwar durchschnittlich täglich zwei; so ist es wahrscheinlich, daß deren eine sehr große Anzahl im Weltraume herumschwärmen.

Die Kometen.

Es gibt von den vielen Tausenden (5000) von Kometen nur wenige (35 bis 40), welche mit Sicherheit zu unserem Planetensysteme gehören, indem sie in bekannten und kurzen Zeitabschnitten (3½ bis 7½ Jahren) auch von Westen nach Osten sich um die Sonne bewegen. Bis jetzt sind sieben davon sichtbar wiedergekehrt. Diese rechtläufige Bewegung ist zwar auch den meisten übrigen, uns ganz unerwartet erscheinenden Kometen eigen, so daß ihre Zugehörigkeit dadurch wahrscheinlich wird; aber es besuchen unsere Sonne auch solche Kometen, welche von Osten nach Westen um sie sich bewegen, also rückläufig sind. Die Bahnen der unerwartet erscheinenden Kometen sind nur in der Sonnennähe stark gekrümmt und nehmen mit zunehmender Entfernung von der Sonne mehr und mehr eine grade Richtung an, so daß die Kometen außerordentlich weite Reisen in den Weltraum machen. Wenn sie auf diesen langgestreckten Bahnen einer Sonne sich nähern, so werden sie von ihr genöthigt, sich um sie zu bewegen. Wenn also ein Komet, welcher von einer anderen Sonne zu unserer Sonne auf die westliche Seite kommt, so geht er um sie nach Osten; wenn er aber zu ihr auf die östliche Seite tritt, so geht er um sie nach Westen oder wird rückläufig.

Die Kometen scheinen aus Resten der Urnebelmasse zu bestehen und die rückläufigen legen davon Zeugniß ab, daß die Masse, welche die zu anderen Sonnen gehörigen Systeme gebildet hat, keine andere ist, als die, welche unser System bildet. Hat ja doch die neueste Physik durch die Spektralanalyse den Beweis geführt, daß der Sonnenkörper nur Stoffe enthält, welche sich auch auf der Erde vorfinden, vorzüglich Eisen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ueber die Jupitersbahn hinaus ist bis jetzt noch nicht ein Komet gesehen worden. Was die Sonnennähe anlangt, so sind bis jetzt beobachtet worden:

zwischen Sonne und Merkur	19	recht-	und	28	rückläufige	Kometen,
" Merkur und Venus	46	"	"	43	"	"
" Venus und Erde	40	"	"	22	"	"
" Erde und Mars	28	"	"	18	"	"
" Mars und Jupiter	8	"	"	2	"	"

also 141 rechtläufige und 113 rückläufige.

In Betreff der Umlaufszeit hat die Rechnung u. a. ergeben für den Kometen vom Jahre

1857	IV.	235 Jahre,
1843	I.	376 "
1793	II.	422 "
1853	II.	785 "
1807		1725 "
1811	I.	3066 "
1825	IV.	4386 "
1857	VI.	6143 "
1680		8843 "
1847	I.	10818 "
1830	I.	58466 "
1844	II.	102047 "

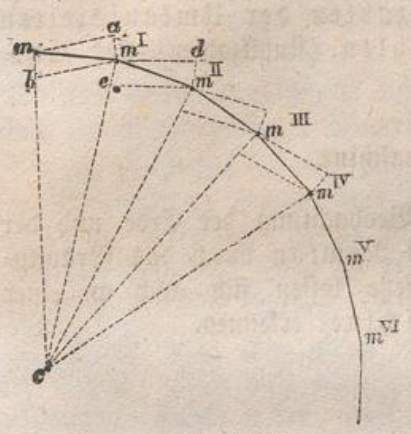
Die freie Zentralbewegung.

Wir haben nun noch die freie Zentralbewegung der Körper unseres Systems um die Sonne etwas näher zu betrachten.

Wenn bei der Axendrehung der ganzen Urmasse unseres Systems ein Planet sich bildete, so war er zweien Kräften unterworfen: der Fliehkraft, welche von dem Mittelpunkte der Sonne in der Richtung der Strahlen ihn zu entfernen strebte und der Anziehungskraft der Sonne, welche ihn nach dem Sonnenmittelpunkte hintrieb. Aus der Fliehkraft und der Zentripetalkraft entstand als Resultat die Tangentialkraft, als ersterer das Gleichgewicht gehalten wurde durch letztere und der Körper ganz wegzufliehen verhindert war. Diese nach der Bildung des selbstständigen Weltkörpers als Resultat erscheinende Tangentialkraft, welche nach dem Beharrungsvermögen in alle Ewigkeit fortwirkt und die in den Mittelpunkt oder das Zentrum zu verlegende Anziehungskraft des Zentralkörpers (Zentripetalkraft), welche auch fortwährend wirkt, erzeugen nun die freie Zentralbewegung.

Hielten bei zwei Körpern diese beiden Kräfte einander fortwährend das Gleichgewicht, indem sie selbst beständig sich gleich blieben; so würde der Nebenkörper um den Hauptkörper sich in einer Kreisbahn be-

wegen; wenn sie aber beide nach einem gewissen Gesetze wachsen oder abnehmen, so ist die Bahn eine andere.



(Fig. 178.)

Ist in Fig. 178 m ein frei beweglicher Körper, wirkt auf ihn eine nur einen Augenblick thätige Kraft so, daß sie ihn in einer Sekunde von m bis a treibt und eine zweite Kraft von c aus beständig und so, daß sie ihn in derselben Zeit von m bis b anzöge; so würde er nach der ersten Sekunde im Endpunkte m' der Diagonale des Parallelogramms aus den beiden Seitenkräften ma und mb und dem von ihnen eingeschlossenen Winkel angekommen sein. Wäre der Körper von nun an sich selbst überlassen, so würde er nach dem Beharrungsvermögen in der zweiten Sekunde in der Richtung der mm' weiter gehen und am Schlusse derselben in d sein, wenn m'd = mm' ist. Da aber die zweite Kraft von c aus ihn in der zweiten Sekunde auch wieder um m'e = mb zu sich zöge, so müßte er am Schlusse derselben im Endpunkte m'' der Diagonale des Parallelogramms em'dm'' sein.

Es ist natürlich, daß wenn dieselben Bedingungen für jede der folgenden Sekunden gelten, der Körper auf dem Umfange einer vielseitigen Figur sich bewegen würde. Je kleiner die Zeiteinheiten gedacht werden, in denen diese Vorgänge stattfinden, desto kleiner sind die Seiten der Figur und wenn man endlich die Kräfte nicht stoßweise, sondern gleichmäßig fortdauernd wirksam denkt; so wird aus der vielseitigen Figur eine krummlinige Bahn. Wenn der sich bewegende Körper einen Widerstand vorfindet, welcher die Tangentialkraft allmählich vermindert, so verengt sich die krumme Bahn immer mehr, bis endlich der Körper durch die Zentralkraft völlig und allein angezogen wird.

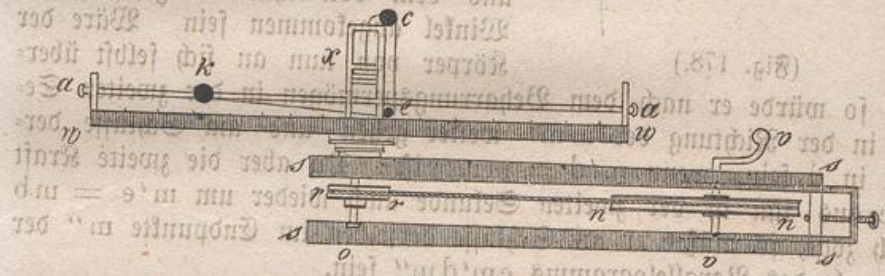
Die Frage, welche Bahn ein lothrecht von der Erde aufwärts geworfener Körper beschreiben würde, führte mittelst des Satzes, daß die auf einen Planeten anziehend wirkende Kraft im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der wachsenden Entfernung abnimmt, darauf, daß die Planetenbahnen nicht Kreise, sondern Ellipsen sind und daß die Sonne in einem ihrer Brennpunkte steht.

Wenn die halbe große Axe der Ellipse als Strahl für einen Kreis angenommen wird, so würde ein Planet diese Kreisbahn in derselben Zeit durchlaufen, wie die Ellipse. Die grade Linie, welche den Sonnenmittelpunkt mit dem Mittelpunkte eines Planeten verbindet und Leitlinie heißt, beschreibt bei der Bewegung des letzteren in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume.

Ferner verhalten sich die Entfernungen zweier Planeten von der Sonne wie umgekehrt die Quadratzahlen ihrer Geschwindigkeiten und die Quadratzahlen der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Würfelzahlen (Kubikzahlen) der Entfernungen.

Die Zentrifugalmaschine.

Diese drei von Kepler aus der Beobachtung der Erde und der anderen Planeten aufgefundenen und von Newton durch das Gravitationsgesetz wissenschaftlich bestätigten Gesetze lassen sich auch an einer kleinen Maschine, der Zentrifugalmaschine, erkennen.



(Fig. 179.)

Eine horizontal zu stellende kreisförmige Holzscheibe www (Fig. 179) von mindestens 3 Fuß Durchmesser trägt am Ende eines Durchmessers zwei Ständer, an welchen eine gut polirte dünne Stahlstange aa parallel mit der Scheibe befestigt ist. Die lothrechte Axe der Scheibe geht unterhalb durch einen Holzrahmen ssss und ruht mit ihrer flachabgestumpften Spitze in einer polirten Pfanne o.

Um die Axe in schnelle Drehung zu versetzen, befinden sich im Rahmen zwei Scheiben, von denen die kleinere rr an ihr befestigt ist und die größere nn durch eine Kurbel vv, deren Axe durch den Rahmen geht, mit der Hand gedreht werden kann. Beide Scheiben sind mit einer mäßig gespannten Schnur umgeben, so daß die Drehung der größeren auf die kleinere übergetragen und sovielmal vergrößert wird, wievielmal der Durchmesser der ersten den der zweiten Scheibe übertrifft. Damit der Schnur jederzeit die richtige Spannung gegeben werden kann, läßt die größere Scheibe vermittelst der Kurbelaxe in einem Rahmen durch eine Schraube u sich der kleineren näher bringen oder von ihr entfernen.

Auf den Metallstab aa lassen sich in ihrer Mitte durchbohrte Holzkugeln stecken; an den Kugeln befinden sich Häckchen, um daran einen dünnen Seidenfaden zu binden, welcher unter einer Rolle e und über

eine c, die sich an einem aus Metallstäbchen bestehenden und auf der Mitte der Scheibe ww aufgesetzten Rahmen befinden, geleitet wird. Das Ende des Fadens trägt einen Draht zur Aufnahme von kreisförmigen Metallgewichten x.

Mit dieser Vorrichtung lassen sich die Gesetze, welche die Bewegung der Himmelskörper beherrschen, ziemlich annähernd bestätigen.

Ist die Kugel in der Nähe des Ständers, so entfernt sie sich bei der Drehung der Scheibe von ihrer Mitte, spannt den Faden und hebt endlich die Gewichte, welche die Stelle der Anziehungs- oder Zentripetalkraft vertreten, wenn sie bei der Drehung in einer beliebigen Stelle schwebend erhalten werden. Wir wollen einige Versuche anführen.

Bringt man zwei gleich schwere Kugeln auf zwei vom Mittelpunkte der Scheibe gleich weit entfernte Punkte des Stabes, so bleiben sie bei gespanntem Faden stehen, weil ihre Schwungkräfte gleich sind.

Sind die gleichschweren Kugeln in ungleichen Entfernungen angebracht, so zieht die entferntere die nähere mit sich fort.

Sind ungleich schwere Kugeln in gleichen Entfernungen, so hat die schwerere eine größere Schwungkraft und zieht die leichtere mit sich fort.

Ungleich schwere Kugeln werden in ungleichen Entfernungen nur dann einander das Gleichgewicht halten, wenn die Gewichte sich umgekehrt wie die Entfernungen vom Mittelpunkte verhalten. Da es schwierig ist, genau gleiche Entfernungen zu erhalten, zumal die geringste Dehnung des Fadens die Gleichheit stört; so kann man den Versuch so anstellen, daß man zuerst die Entfernung der einen Kugel ein wenig größer nimmt, als sie für das Gleichgewicht sein sollte und es wird dann diese Kugel die andere mit sich fortziehen; dann nimmt man die Entfernung der anderen Kugel auch ein wenig zu groß an und auch sie wird die erste mit sich fortziehen, so daß daraus auf den Zustand des Gleichgewichtes mit Recht geschlossen werden kann, wenn die obige Regel mit Strenge befolgt würde.

Zur unmittelbaren Bestimmung der Fliehkraft wendet man nur eine Kugel und die Gewichte an. Wenn durch eine Kugel von $\frac{1}{2}$ Pfund in einer Entfernung von 1 Fuß vom Drehungsmittelpunkte ein Gewicht von 1 Pfunde, also ein doprelt so schweres Gewicht, sollte gehoben werden, so müßte die Geschwindigkeit der Kugel in einer Sekunde fast 8 Fuß sein, indem $\frac{8 \cdot 8}{31{,}1 \cdot 1}$ so ziemlich gleich 2 ist.

Hätte eine Kugel von 6 Loth eine Geschwindigkeit von 22 Fuß in einer Sekunde und eine Entfernung von 3 Fuß vom Drehungsmittelpunkte, so würde die Schwungkraft durch ein Gewicht von $\frac{22 \cdot 22}{31{,}1 \cdot 3} \cdot 6$, d. i. von etwa 31,1 Lothen dargestellt sein.

Beträgt das Gewicht x $^4/_9$ Pfund und nimmt man die Entfernung einer Kugel vom Mittelpunkte 15 Zolle, so mögen 40 Umdrehungen in 1 Minute genügen, um das Gewicht schwebend zu erhalten; beträgt aber das Gewicht x 1 Pfund oder $^9/_9$ Pfund und die Entfernung der Kugel nur 10 Zolle, so sind zur Hebung des Gewichtes 73 bis 74 Umdrehungen in der Minute erforderlich. Da sich hier die Radien wie 15 : 10 oder 3 : 2, ihre Quadratzahlen wie 9 : 4 verhalten, so ist dies dem umgekehrten Verhältnisse der Gewichte $^4/_9$: $^9/_9$ gleich und es müssen die Würfelzahlen der Radien sich verhalten wie die Quadratzahlen von 73 und 40, wenn der Versuch mit dem obigen Gesetze übereinstimmen soll und in der That ist dies mit hinreichender Annäherung der Fall, da der Einfluß der Reibung nicht ganz beseitigt werden kann. Unser kleiner Mechanismus ist also denselben Naturgesetzen unterworfen, wie die großartigen Bewegungen im Weltenraume.

Weltensysteme höherer Ordnungen.

Wenn wir bereits einen Einblick gewonnen haben in das Leben der zu unserer Sonne gehörigen Himmelskörper, welches unsere Bewunderung im höchsten Grade erregt, so ist der bisherige Gesichtskreis ungeachtet der für unsere irdischen Anschauungen enormen Ausdehnung desselben von mehr als 800 Millionen Meilen ein äußerst beschränkter.

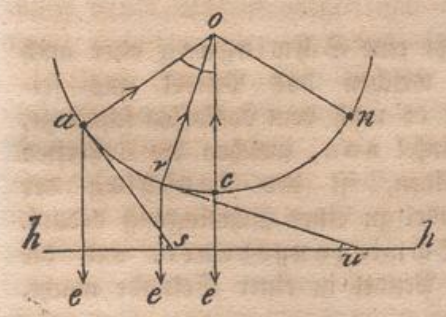
Unsere Sonne steht im Weltraume nicht still, sondern sie bewegt sich außer in 25½ Stunden um ihre Axe mit ihrem ganzen Schwarme von Planeten, Monden, Kometen und selbst Meteoren in 22 Millionen Jahren um die Plejaden als um eine Zentralgruppe, gehörig zu der ungeheuren Gruppe von Sonnen, welche wir als Fixsterne an unserem Himmel erblicken und von denen die meisten und entferntesten in der Milchstraße enthalten sind. Diese Sonnengruppe enthält gegen 18 Millionen Fixsterne und hat eine mehr schichten- als kugelförmig abgerundete Gestalt, gegen deren Mitte wir uns befinden, weil die Milchstraße die Erde gürtelförmig umgibt. Wären wir gegen die Gränze der Schicht, so würde uns der Sternenhaufen wie ein abbrechender Streifen erscheinen, und wäre der Haufen kugelförmig, so würden wir die gürtelförmige Milchstraße nicht haben, wir selbst möchten uns befinden, wo wir wollten. Es ist auf den ersten Blick sichtbar, daß in diesem Sternenhaufen bis jetzt eine gleichmäßige oder symmetrische Eintheilung noch nicht eingetreten ist.

Dieses ist aber nicht das einzige Sonnenweltensystem, sondern wir bemerken durch die Fernröhre sogenannte Nebelflecken, welche sich durch bessere Instrumente in lauter Fixsterne auflösen (der im Herkules z. B. in etwa 20000), welche durch die Gravitation nicht nur untereinander zu einem Ganzen mit seinen untergeordneten Gliedern verbunden sind, sondern welche auch auf einander ihren Einfluß äußern müssen.

Schon Herschel hat mit seinem Riesenteleskope gegen 3000 solcher Sternenhaufen erkannt, von denen aber viele, und selbst sehr große, sich nicht mehr in Sterne auflösen ließen, nicht etwa weil sie nicht aus einzelnen Sternen bestanden, sondern weil sie allzuentfernt und ihre einzelnen Sterne zu lichtschwach waren, um besonders hervorzutreten. Bei der Allgemeinheit der Naturgesetze werden wir uns denken müssen, daß eine gewisse Anzahl solcher eigentlicher Sonnensysteme ein zusammengehöriges Ganzes mit einer Zentralgruppe bilden, welches ein Nebelfleckensystem wäre. In der That besteht jede der beiden sog. magellanischen Wolken, welche in der südlichen Halbkugel sichtbar sind, aus mehren Hundert Nebelflecken von verschiedener Form und Größe und zwischen ihnen Sterne und Sternenhaufen in großer Fülle. Ebenso im nördlichen Theile der Jungfrau. Es ist ferner denkbar, daß solche Nebelfleckensysteme wieder neuen Systemen von noch höherer Ordnung angehören u. s. f. in dem unendlichen Raume des Weltalls, wohin zwar der irdische Blick des Forschers nicht mehr dringen kann, wohin aber seinem geistigen zu schweifen vergönnt ist durch die wunderbare Kraft seines Verstandes, der das starre, dumpfe und bewußtlose Hinbrüten im ungläubigen Glauben verschmäht.

Unser erstauntes Auge zeigt uns aber nicht, was jetzt vorgeht in jenen Räumen des Weltalls, sondern wie es vor Millionen von Jahren gewesen ist, denn diese Weltkörper sind so weit von uns entfernt, daß ihr Licht, wie schon der ältere Herschel berechnet hat, 2 Millionen Jahre auf seinem Wege zu uns gebraucht, obwohl es bei seiner Geschwindigkeit von 42000 Meilen in 1 Sekunde in einem Jahre einen Weg von etwa $1\frac{1}{3}$ Billionen Meilen zurücklegt.

Die Pendelbewegung.



(Fig. 180.)

Hängt man an einem Faden oc (Fig. 180) eine Metallkugel oder an einem Stabe eine Metallscheibe um einen Punkt o beweglich auf, so heißt diese Vorrichtung ein physisches Pendel. Die Kugel oder Scheibe wird dann in Ruhe sein, wenn ihr Schwerpunkt lothrecht unter dem Aufhängepunkte sich befindet. Hat man die Kugel von c nach a gebracht und läßt sie los, so bewegt sie sich mit ungleichmäßiger Beschleunigung bis c, denn die Anziehungskraft der Erde wirkt zwar fortwährend anziehend auf sie ein, aber von a an bis c immerfort abnehmend. Dieses läßt sich leicht erkennen. In jedem Punkte der Bahn wirken auf die Kugel zwei Kräfte: die Kohäsionskraft

des Fadens zieht sie stets nach dem festen Punkte o und die Anziehungskraft der Erde stets in einer zum Horizonte hh lothrechten Richtung. In dem höher gelegenen Punkte a bilden diese beiden Kräfte den Winkel oae, in dem tiefer liegenden Punkte r den größeren Winkel ore. Die aus den beiden Seitenkräften sich ergebende Mittelkraft ist also im ersten Falle größer, als im zweiten, also je näher die Kugel dem tiefsten Punkte c kommt, desto kleiner wird die sie bewegende Kraft und daher wird zwar eine Beschleunigung stattfinden, aber eine ungleichmäßige. Wenn wir uns durch die Punkte, in denen die Kugel sich grade befindet, z. B. durch a und r die Berührungslinien as und ru ziehen, so haben wir schiefe Ebenen, deren Neigung gegen den Horizont um so kleiner wird, je näher der betreffende Punkt dem tiefsten liegt. Da wir uns die bogenförmige Bahn in lauter außerordentlich kleine Theile zerlegt denken und diese, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, als die Anfänge dieser schiefen Ebenen ansehen können; so ist auch daraus ersichtlich, daß die Kraft, welche die Kugel auf dem Bogen herabtreibt, um so kleiner wird, je näher sie dem tiefsten Punkte ist; denn je mehr sich eine schiefe Ebene der horizontalen Lage nähert, desto langsamer bewegt sich ein Körper auf ihr.

Ist die Kugel bis zum tiefsten Punkte c gelangt, so hat sie eine gewisse Kraft, die Schwingungskraft, erlangt, mit welcher sie nach dem Beharrungsvermögen in gleichmäßiger Geschwindigkeit fortgehen will. Da aber die Erde in demselben Maße, mit welchem sie auf dem ersten Theile der Bahn die Kugel beschleunigte, jetzt verzögernd auf sie einwirkt; so kann sie jenseits des Punktes c als höchsten Punkt nur n erreichen, wenn cn gleich ca ist. In n ist nämlich die Schwingungskraft durch die Schwerkraft endlich aufgehoben worden.

Daß die Kugel von n an den Rückweg bis c mit ungleichmäßiger Beschleunigung, von c bis a mit ungleichmäßiger Verzögerung zurücklegt, ist aus dem Gesagten klar.

Der ganze Hin- und Rückweg heißt eine Schwingung oder auch ein Stoß. Der Winkel coa, um welchen das Pendel aus seiner Ruhelage bewegt worden ist, damit es nach dem Loslassen schwinge, heißt der Erhebungswinkel, der Winkel aon, welchen die äußersten Lagen des Pendels mit einander bilden, ist der Ausschlag der Schwingung; die Zeit, welcher das Pendel zu einer Schwingung bedarf, die Dauer einer Schwingung oder Schwingungsdauer, und die Anzahl der Schwingungen, welche das Pendel in einer Sekunde macht, die Schwingungszahl.

Es ist klar, daß die Schwingungsdauer im umgekehrten Verhältnisse von der Schwingungszahl abhängig ist: bei der doppelten Anzahl von Schwingungen in einer gewissen Zeit ist die Dauer jeder einzelnen nur die Hälfte, bei der dreifachen Schwingungszahl nur der dritte Theil u. s. w.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Da das Pendel nicht nur zur genauen Eintheilung der Zeit, sondern auch in anderen Beziehungen ein außerordentlich wichtiges Instrument ist, so wollen wir die von ihm geltenden Gesetze, wenn auch nur kurz, anführen und erläutern.

1) Ist der Erhebungswinkel nur klein, höchstens 5 Grade, so macht ein Pendel von bestimmter Länge in einer bestimmten Zeit stets gleichviele Schwingungen und die Dauer einer jeden ist dieselbe. Je kleiner der Winkel ist, mit desto größerer Schärfe gilt dieses Gesetz, ja es ändert sich kaum merklich bis zu einem Winkel von 20 Graden.

2) Die Schwingungsdauer eines Pendels von bestimmter Länge ist weder von dem Gewichte, noch von dem Stoffe desselben abhängig und es schwingen gleichlange Pendel aus verschiedenen Stoffen unter dem leeren Rezipienten der Luftpumpe gleich schnell, wie sie auch unter derselben Bedingung gleich schnell fallen.

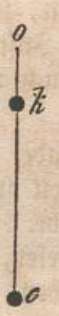
Da die Erdanziehung die bewegende Kraft ist, so ist dies eine Bestätigung der früher aufgestellten Behauptung, daß alle Körper gleich schwer sind (nicht gleichgewichtig) oder daß die Erde auf alle eine gleiche anziehende und beschleunigende Kraft ausübt.

3) Die Verschiedenheit der Pendellänge ist aber von wesentlichem Einflusse auf die Schwingungszahl, also auch auf die Schwingungsdauer: denn die Pendellängen verhalten sich wie umgekehrt die Quadrate der Schwingungszahlen oder grade wie die Quadrate der Schwingungsdauern (Statt dessen kann man sagen: die Quadratwurzeln aus den Pendellängen verhalten sich wie umgekehrt die Schwingungszahlen und grade wie die Schwingungsdauern.)

Ein Pendel von der vierfachen Länge wird nur halb soviele, eines von der neunfachen Länge nur ein Drittel soviele Schwingungen machen, als eines von der einfachen Länge und das Pendel von der vierfachen Länge macht Schwingungen von doppelter, das von neunfacher Länge macht Schwingungen von dreifacher Dauer u. s. f.

Diese Gesetze gelten in aller Strenge nur von einem Pendel, dessen Linie (Faden, Stab) schwerlos und dessen Körper (Kugel, Scheibe) als schwerer Punkt gedacht wird und welches sich im leeren Raume ohne jeden Widerstand bewegt. Man nennt es ein mathematisches Pendel zum Unterschiede von dem oben angeführten physischen. Um ein physisches Pendel zu erhalten, welches dem mathematischen außerordentlich nahe kommt, wählt man einen spezifisch recht schweren Körper an einem recht leichten und dünnen Faden, wie etwa ein Platinkügelchen an einem Kokonfaden. Um aber den Widerstand der Luft bei der Bewegung des Pendelkörpers möglichst zu vermindern, gibt man ihm die Form einer Kreisscheibe mit zugeschärftem Rande, Linse, und zur Verminderung der Reibung am Aufhängepunkte dienen noch verschiedene Vorrichtungen, wovon später die Rede ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



(Fig. 181.)

Wie aber auch das physische Pendel beschaffen sein mag, so wird doch die Anzahl der Schwingungen desselben in einer bestimmten Zeit kleiner sein, als die eines mathematischen von derselben Länge. Denken wir uns oc (Fig. 181) als eine unbiegsame Linie, welche um o schwingt und verschiedene Körper, wie k und c trägt, so wird das dem o nähere k schneller schwingen wollen, als das entferntere c; jenes wird auf dieses beschleunigend, dieses auf jenes verzögernd einwirken. Ein physisches Pendel kann man sich aber aus sehr vielen schweren Punkten zusammengesetzt denken, von welchen eine Anzahl schneller, die anderen langsamer schwingen wollen, als das Pendel wirklich schwingt. Unter diesen schweren Punkten muß es einen geben, welcher durch jene, dem Mittelpunkte der Schwingung näher gelegenen, weder beschleunigt, noch durch diese entfernter liegenden verzögert wird, und ihn nennt man den Schwingungspunkt; seine Entfernung vom Mittelpunkte ist die eigentliche Länge des Pendels als eines einfachen oder mathematischen. Das physische Pendel ist also stets länger, als das mathematische, welches mit ihm in einer bestimmten Zeit gleichviele Schwingungen machen soll.

Da die gleiche Dauer der Schwingungen eines Pendels von bestimmter Länge bei einem kleinen Ausschlagswinkel das vorzüglichste Mittel ist, die Zeit in beliebig kleine und gleiche Abschnitte zu zerlegen; so hat man sich die größte Mühe gegeben, die Einflüsse der Temperatur auf die Veränderung der Länge des Pendels zu beseitigen und auf diese Weise Uhren herzustellen, welche stets einen gleichmäßigen Gang haben, wie sich auch die Temperatur ändern mag.

Wollte man zur Pendelstange ein einzelnes Metall wählen, so würde dieselbe bei Zunahme der Wärme sich verlängern und langsamere Schwingungen geben, weil der Schwingungspunkt vom Aufhängepunkte sich entfernt hat; dagegen bei Abnahme der Wärme, welche eine Verkürzung der Pendelstange zur Folge hat, würden die Schwingungen von kürzerer Dauer sein. Man setzt also die Pendelstange aus zwei Metallen, welche bei derselben Wärmezunahme in verschiedenem Grade der Länge nach sich ausdehnen, so zusammen, daß die Ausdehnung des einen durch die Ausdehnung des andern nach entgegengesetzter Richtung aufgehoben oder kompensirt wird und daher heißt ein so angefertigtes Pendel ein Kompensationspendel. Man hat zwar verschiedene Kompensationsmittel erdacht, wir begnügen uns hier die durch Metallstäbe hervorgebrachte anzugeben und die so zusammengesetzten Pendel werden Rostpendel genannt.

Hat eine Eisenstange mit einer Zinkstange dieselbe Längenausdehnung, so verhalten sich ihre Verlängerungen bei derselben Temperaturzunahme wie 7 : 18. Ist die Länge der Eisenstange vom Aufhängepunkte bis zum Schwerpunkte der Linse eine gewisse, so muß die

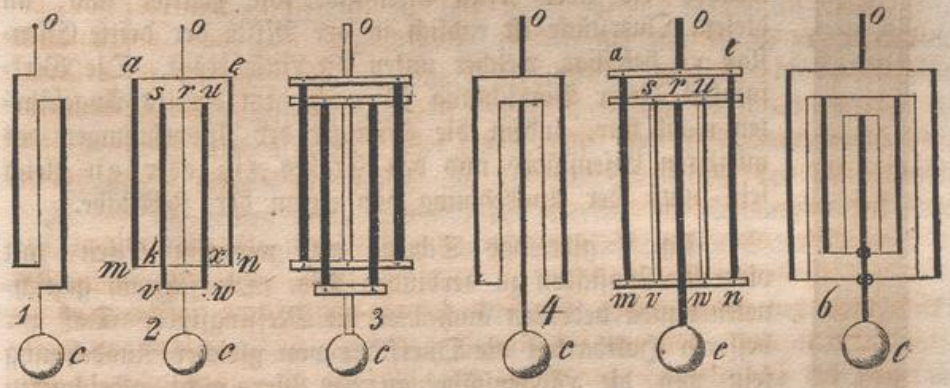
kompensirende Zinkstange offenbar so lang sein, daß ihre Verlängerung durch eine gewisse Zunahme der Verlängerung der Eisenstange gleich ist. Sie kann also in dem Maße kürzer sein, als ihre Ausdehnung stärker ist, als die des Eisens.

Der Festigkeit und Symmetrie wegen nimmt man die Metalle zu beiden Seiten der Pendelstange paarweise: also z. B. zwei Eisenstangen und eine Zinkstange oder vier Eisenstangen und eine Zinkstange oder drei Eisenstangen und zwei Zinkstangen.

Man kann auch Eisen- und Messingstäbe verbinden, wobei zu berücksichtigen ist, daß sich die Ausdehnungen dieser Metalle wie 5 zu 8 verhalten und kann fünf Eisen- mit vier Messingstäben durch Querstäbe auf eine gewisse Weise vereinigen.

In allen Fällen gilt für die Kompensation als Regel:

die Summe der Längen der lothrechten Stäbe eines gegebenen Metalles verhält sich zur Gesammtlänge der lothrechten Stäbe des kompensirenden Metalles wie umgekehrt ihre Ausdehnungen nach der Länge.



(Fig. 182.)

Wir wollen für die obigen Beispiele die Zusammensetzung der Rostpendel angeben. In den Fig. 182 bedeuten die stark gezeichneten Linien Eisen-, die schwach gehaltenen Zink- oder Messingstäbe. Ueberall liegt der Zweck vor, den Aufhängepunkt o in gleicher Entfernung von dem Mittelpunkte der Linse c zu erhalten.

In 1 ist der in der Mitte befindliche Zinkstab unten mit dem ersten und oben mit dem zweiten Eisenstabe durch ein Querstück verbunden. Wenn also durch die Ausdehnung des ersten Eisens das untere Querstück, durch die des zweiten die Linse herabbewegt wird, so hebt das Zink das obere Querstück und somit auch die Linse empor.

In 2 und 3 sind vier Eisenstäbe mit einem Zinkstabe verbunden. Von dem oberen Querstücke ae gehen die beiden äußeren Eisenstäbe am und en zu dem unteren Querstücke mn, und bilden so einen festen Rahmen; von der Mitte des unteren bis zur Mitte des oberen zweiten Querstückes su geht der Zinkstab, welcher su frei trägt, so daß also die beiden ersten Eisenstäbe lose durch dasselbe gehen (3). Zu beiden Seiten des Zinkstabes sind an su die beiden inneren Eisenstäbe befestigt, welche bei k und x lose durch den ersten unteren Querstab gehen und darunter den zweiten unteren Querstab vw tragen, woran sich die Linse c befindet. — Es ist leicht ersichtlich, daß bei der Zunahme der Wärme der an mn befestigte Zinkstab sowohl su als auch vw hebt, während die bei a, e, s und u befestigten Eisenstäbe diese beiden Querstücke herabbringen.

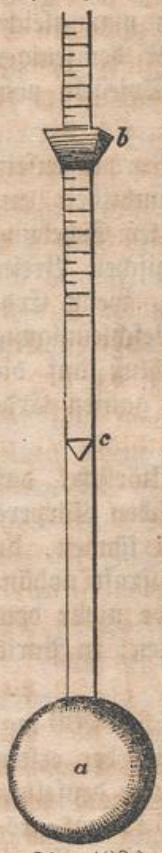


Fig. 4 und 5 zeigen, wie zwei Zinkstäbe mit drei Eisenstäben zu verbinden sind. Die beiden äußeren Eisenstäbe am und en bilden mit den Querstücken ae und mn einen festen Rahmen. Auf dem unteren Querstücke mn sind zu beiden Seiten innerhalb die zwei Zinkstäbe vs und wu befestigt und tragen das obere zweite Querstück, durch welches die zwei ersten Eisenstäbe lose geleitet sind; an diesem Querstücke ist endlich in der Mitte der dritte Eisenstab rr befestigt, welcher unten die Linse trägt. Die Wirksamkeit dieser Vorrichtung ist nach dem bereits Angeführten wohl klar, indem die Summe der Ausdehnungen des mittleren Eisenstabes und des Stabes am oder en gleich sein muß der Ausdehnung von einem der Zinkstäbe.

Fig. 6 gibt das Schema an, wie fünf Eisen- mit vier Messingstäben zu verbinden sind. Die schwach gezeichneten Linien bedeuten auch hier die Messingstäbe. Daß zur besseren Haltbarkeit die Querstäbe von gleicher Ausdehnung sein und die Längenstäbe an den hier nicht gezeichneten Stellen lose durch sie gehen müssen, ist wohl selbstverständlich, so wie, daß zur besseren Zusammenfassung längerer Stäbe in der Mitte noch Querstücke angebracht sein können, durch welche alle Stäbe bis auf zwei, aus demselben Metalle bestehenden, lose gehen müssen. Fig. 7 gibt das näher an. Je mehr Stäbe sind, desto sicherer ist die Kompensation.

Um nöthigen Falles auch durch die Linse die Länge des Pendels reguliren zu können, ist dieselbe durch eine Schraube mit niedrigen Gewinden dem Drehungsmittelpunkte näher zu bringen, wenn das Pendel zu langsam schwingt, (Fig. 182 [7].) und von ihm zu entfernen, wenn es zu schnell geht.

Man hat das Pendel auch in der Musik angewendet, um den Takt anzugeben. Da aber die verschiedenen Musikstücke eine sehr verschiedene Dauer eines jeden einzelnen Taktes verlangen, so müßte man eigentlich eine große Menge einzelner Pendel von verschiedener Länge haben. Um dieses zu vermeiden, läßt man das Pendel nicht um das obere Ende (Fig. 183), sondern um einen Punkt c schwingen, der zwischen ihm und dem Schwerpunkte des Pendels liegt. Dadurch werden nämlich die Schwingungen der Linse a verzögert, weil alle Punkte zwischen c und dem unteren Ende des Pendels bei ihrem Herabfallen in ihrem Kreisbogen die Punkte zwischen c und dem oberen Ende heben müssen. Schiebt man den Drehungspunkt c herab, so hat der untere Theil des Pendels noch mehr zu heben und die Schwingungsdauer ist noch länger. Statt den Drehungspunkt zu verschieben, kann man am oberen Theile ein verschiebbares Gewichtchen b anbringen. Je mehr dasselbe nach oben gerückt wird, in einem um so größeren Bogen muß es durch den unteren Theil des Pendels bewegt werden, desto größer ist also der Widerstand und desto langsamer geht das Pendel. Damit man die Schläge desselben höre, schlägt es mit dem oberen Theile an einen festen Körper. Die Stange ist nämlich mit einem zweischenkligen Anker, der Hemmung, verbunden, welcher in die Zähne eines Steigrades eingreift, das durch ein fallendes Gewicht getrieben wird. Bei jedem Hin- und Hergange des Pendels schleift ein Zahn an der schiefen Fläche des einen Ankerarmes fort, wodurch der Verlust an Reibungswiderständen ausgeglichen und die Gleichzeitigkeit der Schwingungen erhalten wird.



(Fig. 183.)

Dieses für die Musik eingerichtete Pendel wird Taktmesser oder Metronom genannt.

Das Pendel ist aber nicht blos für die Eintheilung der Zeit von der größten Wichtigkeit, sondern es dient auch dazu, um die Gestalt, Masse und Axendrehung der Erde zu erkennen. Als ursprünglich bewegende Kraft für das Pendel haben wir nämlich die Anziehung der Erde erkannt, welche von ihrem Mittelpunkte aus wirkt und für Körper an ihrer Oberfläche mit wachsender Entfernung abnimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung dieser Körper zunehmen. Wenn die auf das Pendel wirkende Bewegungskraft abnimmt, so werden die Schwingungen langsamer, jede einzelne hat eine größere Dauer und ihre Anzahl in einer bestimmten Zeit wird kleiner. Geht man mit einem Pendel von bestimmter Länge, z. B. dem Sekundenpendel zu Paris, welches 3,0596 pariser Fuß oder 38 rheinl. Zolle lang ist, nach dem Aequator hin, so werden seine Schwingungen langsamer und man ist genöthigt,

wie schon Condamine bei seiner Reise nach Cayenne erfuhr, das Pendel zu verkürzen, damit es noch ein Sekundenpendel sei. Je mehr die Anzahl der Schwingungen eines Pendels von bestimmter Länge abnimmt, desto mehr entfernt man sich vom Mittelpunkte der Erde und es läßt sich somit aus Pendelversuchen mit der größten Entschiedenheit auf die sphäroidische Gestalt der Erde ein Schluß ziehen, wenn man gleichzeitig weiß, wie hoch man sich mit seinem Pendel über demjenigen Meeresspiegel befindet, welcher sich als Erweiterung des Spiegels vom benachbarten Meere ergibt.

Das Pendel ist sogar so empfindlich, daß es das Vorhandensein oder den Mangel benachbarter größerer Massen mit Bestimmtheit anzeigt: es schwingt nämlich auf einer Fläche von bestimmter Erhebung über dem Meeresspiegel und in einer bestimmten geographischen Breite schneller, wenn große spezifisch schwere Massen, langsamer, wenn Erdhöhlungen vorhanden sind. Aus dem Verhältnisse der Beschleunigung durch bestimmte bekannte Massen läßt sich sogar ein Schluß auf die Masse und daraus auf das spezifische Gewicht der ganzen Erde machen.

Es ist zwar nicht leicht, aber aus dem Gesagten erklärlich, daß man durch das Pendel die Geschwindigkeit eines frei fallenden Körpers oder die beschleunigende Kraft der Erde wird finden können, da die Schnelligkeit der Schwingungen von der Größe dieser Kraft abhängig ist. Demnach wird der Fallraum für die erste Sekunde unter dem Aequator am kleinsten sein und nach den Polen hin zunehmen; in Paris ist er 15,598 Fuß.

Da die Masse der Sonne die der Erde wenigstens 339000 mal übertrifft, so würde an ihrer Oberfläche der Fallraum in der ersten Sekunde das ebenso Vielfache von 15,6 sein, wenn die Sonne denselben Radius wie die Erde hätte; da aber der Sonnenradius 112 mal größer ist, so ist der Fallraum davon nur der 112 . 112te Theil, also ist er nur etwa 27 mal größer, als an der Erdoberfläche, d. i. 27 . 15,6 = 421 Fuß.

Dagegen ist die Kraft des Mondes ungeachtet seines kleineren Radius, welcher etwa nur $^3/_{11}$ von dem Erdradius ist, doch nur $^1/_6$ von der der Erde, also der Fallraum in der ersten Sekunde auf ihm $^1/_6$. 15,6 oder 2,6 Fuß. Die Masse des Mondes ist nämlich nur $^1/_{75}$ von der der Erde und er würde, wenn er einen gleichen Radius mit der Erde besäße, einen Körper an seiner Oberfläche 75 mal schwächer anziehen. Da aber sein Radius nur $^3/_{11}$ von dem Erdradius ist; so würde die Anziehung des Mondes gegen einen Körper an seiner Oberfläche $^{11}/_3$. $^{11}/_3 = \frac{121}{9}$ mal stärker sein, als an der Erdoberfläche, wenn beide Körper gleiche Massen hätten. Daraus folgt, daß die

wirkliche Anziehungskraft des Mondes $^1/_{75}$ von $\frac{121}{9}$, d. i. $\frac{121}{675}$ oder nahe $^1/_6$ ist. Wiegt ein Körper an der Erdoberfläche z. B. 100 Pfd., so wiegt er an der Mondoberfläche nur etwa 16 $^1/_2$ Pfund und die Länge des Sekundenpendels würde dort nur 6 Zoll betragen.

In neuerer Zeit hat man aus den Beobachtungen des Pendels sogar einen neuen interessanten Beweis für die Axendrehung der Erde gefunden, welcher einen neuen Riß in die leider immer noch sehr spukenden Verdummungsgelüste gewisser Volksbeglücker gemacht hat. Ist mir doch von einem solchen Augenverdreher vor nicht gar langer Zeit gesagt worden: es sei dem Volke vollkommen gleichgiltig und könne es auch dem Lehrer sein, ob die Erde still stehe und die Sonne um sie sich bewege, oder umgekehrt. — Doch das Rad der Zeit wird auch diese Sorte von Leuten endlich zermalmen und dem gesunden Menschenverstande seine Rechte sichern.

Denkt man sich über einem der Erdpole ein Pendel frei aufgehängt und läßt man es schwingen, so werden seine Schwingungen stets in derselben Ebene bleiben und diese Ebene wird stets auf dieselben Fixsterne hinweisen, aber während eines Tages wird diese Ebene über dem Horizonte einen vollen Kreislauf in der Richtung von Osten nach Westen wie der Fixsternenhimmel machen. Diese Drehung der Schwingungsebene ist aber nur scheinbar und rührt von der Axendrehung der Erde her, welche in Wirklichkeit von Westen nach Osten vor sich geht.

An den Polen liegt das ruhige Pendel in der Verlängerung der Erdaxe und es wirken auf dasselbe bei seiner Bewegung nur die Schwere und das Beharrungsvermögen. Geht man mit ihm aber nach dem Aequator hin, so wirkt auf dasselbe noch die durch die Axendrehung der Erde hervorgebrachte Schwungkraft, welcher der Aufhängepunkt mehr ausgesetzt ist, als der Pendelkörper. Um die daraus sich ergebende Erscheinung möglichst auffallend zu machen, wird das Pendel mindestens 50 Fuß lang angenommen und um es recht lange in Bewegung zu erhalten nimmt man als Pendelkörper eine Metallkugel von 30 bis 40 Pfunden. Hierbei zeigt sich nun, daß die Schwingungsrichtung, oder vielmehr die Horizontalprojektion der Schwingungsebene, eine Drehung in der scheinbaren Bewegung des Fixsternenhimmels macht oder von dem jedesmaligen Ausgangspunkte des Pendels nach links, und daß die Lothrechte des Pendels mit abnehmender geographischer Breite einen stets offneren Kegel beschreibt, wodurch sich die scheinbare Bewegung der Schwingungsrichtung verzögert, bis sie unter dem Aequator Null ist, um in der anderen Halbkugel eine entgegengesetzte Richtung anzunehmen.

Die nach demselben Punkte anfänglich, z. B. einem im Meridiane stehenden Fixsterne, gerichtete Schwingung beschreibt also in einer gewissen Zeit einen Winkel, für welchen der Bogen am Horizonte zwischen

dem Meridiane des Beobachtungsortes und dem Höhenkreise (welcher senkrecht auf dem Horizonte durch den Stern geht) desselben Gestirnes das Maß ist.

Es ist nicht gleichgiltig, ob das Pendel in der Richtung des Meridianes des Beobachtungsortes, darauf senkrecht oder in einer anderen Richtung schwingt. Im ersten Falle macht zu Paris das Pendel eine Drehung von 25 Graden in 2,376, im zweiten Falle aber schon in 2,101 Stunden.

Bei 51° Breite dreht sich die Schwingungsebene in einer Stunde etwa um 11,7 Grade, bei 48° um 11,25°, bei 30° nur um 7,5°. Für 51° Breite dreht sich die Schwingungsebene um 360° oder einmal vollständig in 30 Stunden 54 Minuten, für Berlin in einer Breite von 52° 30′ 16,7″ beträgt die Drehungszeit 30 Stunden 10 Minuten 0,73 Sekunden.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, daß man eine, freilich bis jetzt, so viel mir bekannt, noch nicht praktisch untersuchte Bestätigung der Axendrehung der Erde auch erhalten würde, wenn man an eine horizontale, um ihren Schwerpunkt leicht drehbare und recht lange Stange, an deren Enden zwei schwere Metallkugeln angebracht wären, beobachtete. Hinge sie in ostwestlicher Richtung, so hätten beide Kugeln, weil sie in demselben Parallelkreise liegen, dieselbe Geschwindigkeit, also auch dieselbe Bewegungsgröße; hinge aber die Stange in nordsüdlicher Richtung, so besäße die an dem nördlichen Ende befindliche Kugel eine geringere Bewegungskraft nach Osten, als die an dem Südende angebrachte, weil diese bei der Drehung der Erde einen größeren Kreis beschreibt, als jene. Die natürliche Folge davon würde sein, daß die südliche Kugel stärker und also mehr nach Osten eilte, als die nördliche, daß diese also nach Westen zurückbliebe, wodurch die Stange endlich eine ostwestliche Richtung erhalten würde. Wäre der Drehungspunkt der horizontal liegenden Stange grade über dem Aequator und wären die Massen zu beiden Seiten desselben in gleichen Entfernungen von ihm genau dieselben; so würde die Stange in jeder Lage im Gleichgewichte schweben.

Auch bei unserem Gehen spielen die Erscheinungen des Pendels eine nicht unwichtige Rolle. Wie es schon früher erwähnt worden ist, kommt uns der Druck der Atmosphäre beim Tragen der Beine außerordentlich zuhilfe, so daß wir ihr oft nicht unbedeutendes Gewicht nicht fühlen. Dessen ungeachtet aber ist es auffallend, daß uns das Gehen, wenn wir dabei eine angemessene Geschwindigkeit beachten, so wenig ermüdet und wir dabei einer so großen Ausdauer fähig sind, während andere Muskelbewegungen, welche eine geringere Leistung hervorbringen, als es die Fortbewegung unseres ganzen Körpers ist, eine gleiche Anstrengung nicht zulassen. Beim Gehen stützt man den ganzen Körper abwechselnd auf eines der beiden Beine, während das andere ohne ir-

gend eine Anwendung von Muskelkraft frei herabhängend wie ein Pendel blos nach den Gesetzen der Schwere ganz unwillkührlich vorwärts schwingt. Da nun jedes Pendel je nach seiner Länge eine bestimmte Schwingungsdaner hat, so wird das kurze Bein schneller schwingen, als das lange. Wenn man die Schnelligkeit des Gehens grade nach dieser Schwingungszeit einrichtet, so wird es am wenigsten ermüden und am längsten fortgesetzt werden, weil abwechselnd nur die Muskeln eines Beines in Anspruch genommen werden; wenn man aber entweder langsamer oder schneller geht, so werden gleichzeitig die Muskeln beider Beine angestrengt und es muß eher eine Ermüdung erfolgen. Ebenso ermüdet das Stehen, bei welchem beide Beine gleichzeitig in Anspruch genommen werden, mehr als das Gehen mit angemessener Geschwindigkeit. Daher kommt es auch, daß Vögel und andere Thiere beim Stehen mit den Beinen abwechseln. Was Menschen mit kurzen Beinen durch die Kürze der Schritte verlieren, holen sie durch die Schnelligkeit ein und kommen sogar meist rascher vorwärts, als langbeinige und schwerfällige Menschen, weil die Beine bei diesen mehr zu tragen haben und somit eher ermüden. Kleine Soldaten haben immer eine größere Ausdauer gezeigt, als große.

Die Bewegung des Pendels ist nur eine von den vielen Arten der Schwingungen, welche in der Physik eine so ungemein große Rolle spielen, daß wir wohl sagen können:

> die meisten Erscheinungen, namentlich die des Schalles, des Lichtes, der Wärme, der Elektrizität und des Magnetismus sind Schwingungserscheinungen,

wenn nicht eines Körpers als eines Ganzen, so doch seiner Atomgruppen oder Molekel. Wir haben aber diese Art von Schwingung hier schon angeführt, weil sie ein Körperganzes betrifft, ohne in seinen Molekeln eine Veränderung der Lage durch Schwingen der Molekel hervorzubringen und weil sie auf unsere Sinne nicht eben anders wirkt, als wie die anderen Arten von Bewegungen, als einer bloßen Ortsveränderung.

Ehe wir zu den Molekularschwingungen kommen, müssen wir noch zunächst von den Hindernissen der Bewegung und von den Maschinen sprechen, durch welche Bewegungen verschiedener Art erzeugt und die Wirksamkeit der Kräfte umgeändert wird.

Fünfte Abtheilung.

Von den Widerständen der Bewegung.

Wenn wir nicht besondere Mittel anwenden, so kommt es bei irdischen Erscheinungen niemals vor, daß ein Körper bei seiner Bewegung nicht auf einen zweiten Körper träfe. Es ist nach dem Gesetze der Undurchdringlichkeit des Stoffes also nothwendig, daß die Kraft eines bewegten Körpers durch einen anderen Körper, auf welchen er trifft, vermindert werde. Das plötzliche Zusammentreffen zweier Körper, von welchen wenigstens der eine sich bewegt, nennt man Stoß; wenn sich aber ein Körper an einem andern, z. B. Wasser an Metall, oder in einem andern, z. B. eine abgeschossene Kugel in der Luft, bewegt, so daß also ein steter Wechsel der einander berührenden Theile stattfindet; so heißt die Kraftverminderung oder der dadurch erzeugte dauernde Widerstand, welchen die bewegende Kraft erleidet, die Reibung.

Zeigt ein Körper ein dauerndes Bestreben, einen anderen von ihm stets in denselben Punkten getroffenen zu bewegen, gleichgiltig, ob derselbe bewegt wird oder nicht; so ist diese Kraftäußerung ein Druck. Der Stoß ist ein augenblicklicher Druck, bei welchem der drückende Körper in Bewegung war.

Der Unterschied zwischen Druck und Stoß, so wie die Wirksamkeit der Kräfte in beiden Fällen läßt sich leicht erkennen, wenn man bei einer Gleichwage auf die eine Schale einen Körper legt, welcher zufolge der Erdanziehung einen Druck auf sie ausübt und auf die andere Schale von einer gewissen Höhe einen Körper fallen läßt, welcher durch seinen Stoß im Augenblicke des Auffschlagens entweder das Gleichgewicht herstellt oder jenes Gewicht in einer gewissen Zeit zu einer gewissen Höhe erhebt. Sollten z. B. 1000 Pfund auf der einen Wagschale eine Geschwindigkeit von 1 Fuß erhalten, so wäre es nur nothwendig, 8,3 Pfde. auf die andere mit einer Geschwindigkeit von einwenig mehr als 120 Fuß ($8{,}3 \cdot 120 = 996$) oder aus einer Höhe von 240 Fuß fallen zu lassen. Man kann demnach wirklich sagen, daß der Stoß durch die kleinste

Masse in Betreff des Erfolges dem Drucke durch die größte Masse gleich gesetzt werden kann. Wenn der drückende Körper am gedrückten Bewegung nicht hervorzubringen vermag, so ist der Widerstand des letzteren der Kraft des drückenden Körpers entweder gleich oder größer als sie; die etwa entstehende Bewegung ist der Unterschied des Druckes und des Widerstandes, welcher als Gegendruck angesehen werden kann. Belastet man eine elastische Spiralfeder, bis Ruhe eingetreten ist, so heben zwei entgegengesetzte Drucke einander auf. Ein Druck mit Bewegung ist u. a. vorhanden, wenn ein Gewicht auf einer Wageschale liegend mit ihr sinkt oder steigt oder wenn bei einer oberschlächtigen Mühle das Wasserrad sich dreht, während in dem Kasten drückendes Wasser vorhanden ist.

Wenn ein Körper an einem anderen sich reibt, so kommt es nicht darauf an, ob als bewegende Kraft der Stoß oder der Druck thätig war und deshalb ist es nicht nothwendig von dem Drucke noch besonders zu sprechen, sondern hinreichend, in den geeigneten Fällen das Nöthige darüber ergänzend anzuführen.

Erster Abschnitt.

Vom Stoße.

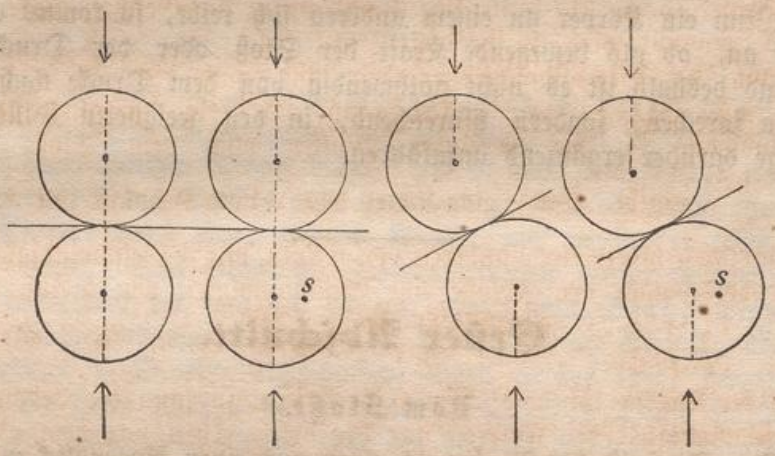
Der Stoß ist die Aeußerung einer nur einen Augenblick wirkenden Kraft eines bewegten Körpers auf einen zweiten ruhenden oder zweier bewegten Körper aufeinander. Die Körper aller drei Aggregatzustände, die festen, die tropfbaren und die luftigen, können den Bedingungen des Stoßes ausgesetzt sein und deshalb sind eigentlich sechs Fälle denkbar. Wesentlich aber ist in allen Fällen noch, ob die Körper einen sehr geringen Grad von Elastizität besitzen, wie z. B. zwei Kugeln aus hartem Thone, oder einen sehr hohen, wie etwa zwei Elfenbeinkugeln. Diese zwei Beispiele kommen den wissenschaftlich gedachten Extremen freilich nur nahe, ohne sie zu erreichen. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich auf diese Extreme.

I. Wir betrachten zunächst den Stoß fester Körper. Jeder feste Körper hat einen seiner Lage nach bestimmten Schwerpunkt. Wenn nun die Richtung der Bewegung der einander stoßenden Körper durch ihre Schwerpunkte geht, so heißt der Stoß ein zentraler, wenn aber diese Bedingung nicht erfüllt ist, ein exzentrischer. Beim zentralen Stoße liegen die Schwerpunkte der zusammentreffenden Körper in der durchlaufenen Bahn und alle bewegten Theile von ihnen bleiben in parallelen Linien mit ihr.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Nun kommt es ferner noch darauf an, welchen Winkel die Richtung des Stoßes mit der getroffenen Stelle oder eigentlich mit der, wenn auch außerordentlich kleinen Ebene, worin das Zusammentreffen der Körper stattfindet, bildet: ist derselbe ein rechter, so heißt der Stoß grade; ist er ein schiefer, so heißt auch der Stoß schief. Bei Kugeln und anderen krummflächigen Körpern muß man sich durch die getroffene Stelle die Berührungsebene gelegt denken.

Es ist klar, daß sowohl der zentrale, als auch der exzentrische Stoß sowohl grade als auch schief sein kann, daß es also vier einzelne Fälle gibt, welche Fig. 184 andeutet.



(Fig. 184.)

Der in den als Kugeln gedachten Körpern bezeichnete Punkt s soll den Schwerpunkt bedeuten, die mit den Pfeilen bezeichneten Linien die Richtungen des Stoßes und die Linie zwischen den beiden Kugeln die Berührungsebene der getroffenen Stelle oder auch überhaupt eine getroffene Ebene angeben. Es ist also 1, ein grader zentraler, 2, ein grader exzentrischer, 3, ein schiefer zentraler und 4, ein schiefer exzentrischer Stoß.

Soll von der einen Stoß bewirkenden Kraft alles nur zu einer fortschreitenden Bewegung verwendet werden, so muß sie grade durch den Schwerpunkt des Körpers wirken. Der stoßende Körper wirkt in gradem Verhältnisse zu seiner Masse und Geschwindigkeit. Wenn M die Masse eines Körpers, G seine Geschwindigkeit ist, so ist die Kraft K des stoßenden Körpers das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit, oder $K = MG$ (2 Zentner mit 3 Fuß Geschwindigkeit werden eine 6mal größere Wirkung ausüben, als 1 Zentner mit 1 Fuß Geschwin-

digkeit); folglich wird die Geschwindigkeit gefunden, wenn man K durch M dividirt, d. i. $G = \frac{K}{M}$.

1) Wir betrachten zunächst den graden zentralen Stoß vollkommen unelastisch gedachter Körper.

Wenn die Masse des einen Körpers M, die des anderen m, die Geschwindigkeit des ersten G, die des zweiten g heißt und dieselben auf einer gradlinigen Bahn nach demselben Ziele hingehen; so ist die Kraft des ersten Körpers MG, die des zweiten mg und nach dem Zusammentreffen beider die Summe daraus oder MG + mg. Dieselbe Kraft muß auch unmittelbar nach dem Stoße in der Gesammtmasse beider Körper, d. i. M + m liegen und wenn die Geschwindigkeit derselben X genannt wird, so ist diese Kraft (M + m) × X. Da also die Summe der Bewegungsgrößen vor und nach dem Stoße dieselbe ist, so muß MG + mg = (M + m) . X sein, woraus sich die Geschwindigkeit X der vereinten Massen nach dem Stoße gleich $\frac{MG + mg}{M + m}$ ergibt. Ginge eine Kugel von 2 Loth Gewicht mit 11 Fuß Geschwindigkeit hinter einer anderen von 6 Loth mit 3 Geschwindigkeit; so würden beide nach dem Stoße eine Geschwindigkeit von 5 Fuß haben, weil $\frac{2 . 11 + 6 . 3}{2 + 6} = \frac{22 + 18}{8} = \frac{40}{8} = 5$ ist. Weil die Massen der Kugeln sich wie 2 zu 6 verhalten, so kann die Vermehrung der Geschwindigkeit der letzteren nur der dritte Theil von dem Verluste der ersteren sein: die stoßende Kugel verliert, da sie von 11 auf 5 Fuß herabgeht, 6 Fuß, die gestoßene bekommt zu ihren 3 Fuß nur 2 Fuß.

Ginge eine Kugel nicht hinter der anderen, sondern käme sie ihr entgegen, so würde die Bewegungsgröße der einen durch die der anderen nicht vermehrt, und es dürfte keine Addition, sondern es müßte eine Subtraktion derselben vorgenommen werden, so daß der Ausdruck für die Geschwindigkeit beider Massen nach dem Stoße $\frac{MG - mg}{M+m}$ ist.

In den beiden Ausdrücken $\frac{MG \pm mg}{M + m}$ liegen alle besonderen Fälle, welche man sich in Beziehung auf die Massen und Geschwindigkeiten der Körper denken kann, also natürlich auch der Fall, daß der eine von den Körpern, z. B. der mit der Masse m, ruht, wobei seine Geschwindigkeit Null ist, also auch mg Null wird und der einfache Ausdruck blos $\frac{MG}{M + m}$ heißt. Ist hierbei der ruhende wegen seiner großen Masse m als ein unbeweglicher anzusehen, wie z. B. eine mit der Erde fest verbundene Wand oder selbst die ganze Erde, so wird der Ausdruck

$\frac{MG}{M+m}$, welcher die Geschwindigkeit beider nach dem Stoße angibt, Null oder der stoßende Körper bleibt nach dem Stoße an der Wand stehen. Bei dem Bruche ist nämlich der Nenner oder Divisor wegen des m unendlich groß, und daher der Bruch Null. (Je größer der Divisor für einen bestimmten Dividendus, desto kleiner ist der Quotient.)

Es kann allerdings wohl nicht in Abrede gestellt werden, daß der gestoßene Körper und selbst wenn es die ganze Erde ist, auf die man mit dem Fuße stampft, auch in Bewegung gerathen muß, aber sie ist so unendlich unbedeutend, daß sie als verschwindend klein anzusehen ist.

Ein anderer Fall ist es, wenn die Massen M und m einander gleich sind, wodurch der Ausdruck $\frac{MG \pm mg}{M+m}$ in $\frac{G \pm g}{2}$ übergeht; ruht der eine, z. B. der mit der Masse m, oder ist seine Geschwindigkeit Null, so ist der ganze Erfolg $\frac{G}{2}$, d. h. beide Körper gehen nach dem Stoße mit der halben Geschwindigkeit des stoßenden weiter fort.

Sind aber hierbei die Geschwindigkeiten zwar einander auch gleich kommen aber die Körper einander entgegen, so wird $\frac{G-g}{M+m}$ gleich Null oder die Körper bleiben an einander stehen.

Der Fall, daß die Geschwindigkeiten einander gleich sind und der eine Körper hinter dem anderen geht, mögen ihre Massen gleich oder ungleich sein, ist ausgeschlossen, weil ein Stoß nicht stattfinden kann, indem sie stets in derselben Entfernung von einander bleiben.

Die obigen Betrachtungen zeigen, wie man, wenn man statt besonderer bestimmter Zahlen und der in der Schriftsprache für sie eingeführten Ziffern allgemeiner Zeichen, wie der Buchstaben sich bedient, wobei jeder Buchstabe jede beliebige Zahl vertreten kann, nicht nur ungemeine Kürze in der Darstellung, sondern auch eine Allgemeinheit erreicht, welcher alle besonderen Fälle untergeordnet sind. Es bedurfte zur richtigen Auffassung nur der Kenntniß der vier ersten Rechnungsarten oder Spezies. Wenn wir auch von unseren Lesern nicht voraussetzen wollen, daß ihnen an mathematischen Entwickelungen der Gesetze gelegen sei, so kann es doch immerhin für sie von Interesse sein, an so höchst einfachen Beispielen zu erkennen, welche Gewalt die Mathematik auch in den Naturwissenschaften ausübt und wahrzunehmen, daß die Natur ebenso unfehlbar ist, wie die Mathematik: die Wahrheiten beider sind ewige Wahrheiten, welche keinem Wechsel der Zeiten und Verhältnisse unterworfen sind.

Die Kraft des Stoßes, welche man auch Perkussionskraft nennt, wird in vielen Fällen angewendet, wie bei allen Pochwerken (zum Zermalmen der Knochen für die Gewinnung des Knochenmehles,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zum Zerkleinern der Erze, um sie zu schlemmen oder zu schmelzen, zum Zerstampfen der Oelfrüchte, zum Schmieden bei Frischfeuern), ferner bei den Rammen, bei den Geschossen u. s. w. Diese Kraft ist im graden Verhältnisse von der Masse und der Quadratzahl der Geschwindigkeit, welche der Körper im Augenblicke des Stoßes besitzt, abhängig. Ist M die Masse, G die Geschwindigkeit, so heißt der Ausdruck für die Kraft $K = MG^2$. Es ist also klar, daß selbst eine kleine Masse bei einer großen Geschwindigkeit eine bedeutende Kraft haben muß, um wievielmehr erst große Massen bei großen Geschwindigkeiten: wie eine Schneelavine, ein großer und schnellfahrender Eisenbahnzug.

Nach Versuchen übt ein Körper von 1 Pfund Gewicht bei einer Geschwindigkeit von 5,33 pariser Fuß in 1 Sekunde eine Kraft von 15,145 Pfunden aus; also werden M Pfunde bei 1 Fuß Geschwindigkeit in 1 Sekunde eine Kraft $M \cdot 15{,}145 \cdot \left(\frac{1}{5{,}33}\right)^2 = 0{,}53293 \cdot M$ besitzen und allgemein für G pariser Fuß Geschwindigkeit ist $K = 0{,}53293\ M \cdot G^2$ und für die Fallhöhe H in pariser Fußen wird sie annähernd $30 \cdot MH$. Da bei wichtigen Bauten das Gewicht des Pfahles nur selten unter der Hälfte des Gewichtes des Rammklotzes betragen wird, so kann man sich der letzten so bequemen Formel mit hinreichender Sicherheit bedienen.

Dieser Werth für die Perkussionskraft läßt sich nun für verschiedene Fälle in Anwendung bringen. Ihm ist u. a. ein großer Theil des bedeutenden Erfolges zuzuschreiben, welchen ein Hammer auf einen Keil, wozu auch die Nägel gehören, ausübt.

Wenn man einem Hammer von nur ½ Pfund Gewicht eine Geschwindigkeit gibt, die er durch das freie Fallen in 1 Sekunde erhalten würde, so beträgt seine Kraft nach dem vorletzten Ausdrucke 239,8 Pfunde und nach dem letzten 225 Pfunde. Gibt man aber dem Hammer eine Geschwindigkeit von 50 Fuß, was man leicht im Stande ist, weil man einem mit der Hand geworfenen Steine erfahrungsmäßig diese Geschwindigkeit ertheilen kann; so ist die von ihm ausgeübte Kraft 666 Pfunde. Es wird also durch eine kleine Masse, welche mit einer großen Geschwindigkeit auffschlägt, ein verhältnißmäßig sehr großer Erfolg erzielt: ½ Pfund übt hier im bewegten Zustande einen Druck aus wie 666 Pfunde im ruhenden. Wenn mit dem Hammer ein Nagel eingetrieben werden soll, so geschieht dies leichter, wenn er mit seinem Kopfe an den Hammer irgendwie geklebt und mitbewegt wird, als wenn der Hammer auf den ruhenden Nagel schlägt, was leicht erklärlich ist.

Wenn eine 18pfündige Kanonenkugel mit einer Geschwindigkeit von 1000 Fuß das Ziel trifft, so ist ihre Perkussionskraft 9592700 Pfde., eine 24pfündige hat bei derselben Geschwindigkeit eine Kraft von

12790320 Pfunden. Fällt eine 100 Pfund schwere Bombe aus einer Höhe von 3600 Fuß, so ist ihre Kraft 10800000 Pfunde und eine selbst nur 1 löthige Flintenkugel, welche das Ziel mit 750 Fuß Geschwindigkeit erreicht, hat doch eine Kraft von 9992 Pfunden $\left(0{,}53293 \cdot \frac{1}{30} \cdot 750^2\right.$, wenn das Pfund zu 30 Lothen gerechnet wird$\left.\right)$.

Wenn eindringende Geschützkugeln gleichzeitig sich um eine Axe drehen, so kann dies nicht nur während des Eindringens geschehen, sondern noch fortdauern, nachdem das Eindringen aufgehört hat. Daß dadurch auch noch bedeutend zerstörend wirkende Erfolge erreicht werden können, hat die neuere Kriegskunst gelehrt. Wie solche Drehungen erzeugt werden, wird später angeführt werden.

In praktischer Beziehung sind noch die Rammen wichtig, bei welchen ein Rammklotz oder Rammbär von einer gewissen Höhe auf einen lothrecht aufgestellten Pfahl fällt, um diesen dadurch in das Erdreich eindringen zu machen, damit er in Gemeinschaft mit anderen ebenso eingerammten die Last irgend eines Bauwerkes, namentlich von Brücken, trage. Je leichter ein Pfahl beim Rammen noch in den Erdboden eindringt, desto weniger wird er zu tragen im Stande sein. Man wird also, unter der Voraussetzung eines so großen Widerstandes, daß nach dem Stoße die gemeinschaftliche Bewegung verschwindet, aus der Tiefe, in welche der Pfahl durch einen Rammklotz von gewissem Gewichte bei gewisser Fallhöhe eindringt, die Tragfähigkeit theoretisch zu beurtheilen im Stande sein, nimmt aber der nöthigen Sicherheit wegen bei der praktischen Anwendung davon nur ein Drittel, höchstens die Hälfte. Wenn ein Pfahl durch das Fallen eines Rammbären von 1000 Pfunden bei einer Fallhöhe von 4 pariser Fuß gar nicht mehr eindränge, so hätte er nach der obigen Formel eine Widerstandskraft von 120000 Pfunden und würde auch eine ebenso große Belastung, namentlich im ruhenden Zustande, vertragen.

Wollte man beim Herabspringen von großen Höhen auf harte Gegenstände den Körper steif halten und auf die platten Sohlen springen, so daß nach dem Stoße die Bewegung verschwände, so wäre der an sich gefährliche Sprung am gefährlichsten. Ist der Gegenstand hart, so muß man auf die Zehen springen und mit den Füßen sowie dem ganzen Körper allmählich nachgeben; ist der Gegenstand nachgibig, so ist dies zwar weniger nothwendig, aber immerhin sehr zweckmäßig, so daß man, wenn beiden Bedingungen genügt wird, von sehr bedeutenden Höhen ohne Gefahr springen kann. Ich habe z. B. gesehen, wie in New-York ein Mann bei einer Schauübung der deutschen Feuerwehr-Kompagnie ohne alle Gefahr aus dem fünften Stockwerke auf eine von kräftigen Männern gehaltene Matte sprang.

Wirft man einen Körper lothrecht aufwärts, so wird seine Ge-

schwindigkeit durch die fortwährend in gleicher Stärke (ohne einen merklichen Fehler zu begehen) auf ihn rückwärts einwirkende Schwere verzögert, so daß sich die Höhen, bis zu welchen er steigt, wie die Quadratzahlen der Zeiten oder Geschwindigkeiten verhalten. Wenn man nun annimmt, daß der Pfahl, welcher eingerammt werden soll, an dem Erdboden einen sich gleichbleibenden Widerstand vorfindet; so wird seine Bewegung auch im quadratischen Verhältnisse der Geschwindigkeiten und der Masse verzögert, oder die Tiefen des Eindringens, d. i. die Wirkungen verhalten sich wie die Produkte aus den eindringenden Massen und den Quadraten der Geschwindigkeiten. Bei verschiedenen Widerständen stehen die Tiefen des Eindringens im umgekehrten Verhältnisse zu den Widerständen.

Bei einer gewissen Geschwindigkeit sind die Tiefen des Eindringens der Masse des stoßenden Körpers und der Weichheit des gestoßenen proportional. Hierbei kommt natürlich noch die Gestalt des eindringenden Körpers in Betrachtung.

Wenn also beim Rammen ein Pfahl noch nachgibt, so wird seine Tragfähigkeit geringer sein, als es der Fall wäre, wenn er beim Rammen gar nicht mehr eindränge, und zwar um so geringer, je mehr er einem Rammklotze von bestimmtem Gewichte bei bestimmter Fallhöhe oder Geschwindigkeit nachgibt.

Da man selten das Eintreiben so weit fortsetzt, bis der Pfahl durch eine gewisse Ramme nicht mehr weiter getrieben werden kann, gleichwohl aber die Tragfähigkeit wissen will; so ist eine besondere Rechnung für den Widerstand, welchen der Pfahl der auf ihm ruhenden Last entgegensetzt, nothwendig, welche durch den Ausdruck $\frac{m^2 . a}{(m + n) c}$ angegeben wird, worin m das Gewicht des Rammklotzes in Pfunden oder Zentnern, n das des Pfahles, a die Fallhöhe des Rammklotzes, c das Einsinken des Pfahles bei jedem Schlage, beide ausgedrückt in Fußen, bedeuten.

Wiegt z. B. das Rammklotz 1200 Pfund, der Pfahl 1040 Pfd., beträgt die Fallhöhe von jenem 4 Fuß und dringt der Pfahl bei den letzten 25 Schlägen nur noch ¼ Zoll, also bei jedem Schlage 0,000833 Fuß tief ein; so ist der Widerstand des Pfahles $\frac{1200^2 . 4}{2240 . 0{,}000833}$ d. i. 3085700 Pfunde.

2) Etwas schwieriger ist die Betrachtung des graden zentralen Stoßes elastischer Körper.

Absolut elastische Körper gibt es nicht. Wäre ein massiver oder auch mit Luft gefüllter Gummiball, eine Kugel von Stahl u. dergl. vollkommen elastisch, so müßte ein solcher Körper, wenn man ihn auf eine ganz glatte und horizontal liegende Marmorebene fallen läßt, bis

zum Ausgangspunkte wieder aufspringen, was aber bekanntlich, auch abgesehen von dem Widerstande der Luft, nicht geschieht, indem die Höhen, zu denen er aufspringt, immer kleiner sind, als die, von denen er herabkommt, bis er durch allmählige Verminderung der Sprunghöhen endlich zur Ruhe kommt. Gäbe es einen vollkommen elastischen Körper, so würde er, nachdem man ihn einmal hat fallen lassen, immerfort auf- und abwärts gehen in einer sich gleichbleibenden Bahn. Die Kraft, welche der Körper durch das Fallen erlangt hat, findet an dem festen unnachgibigen Körper, welcher getroffen wird, einen Widerstand; mit dieser Kraft werden seine Theilchen aus ihrer ursprünglichen Lage gebracht, wobei er sich abplattet; ist die Wirkung des Stoßes vorüber, so tritt nun die Rückwirkung der Elastizität ein, nach welcher jedes Theilchen auf demselben Wege und mit derselben Kraft, der es gewichen ist, seine ursprüngliche Lage wieder einnehmen will. Aber auf diesen zwei Wegen, dem Hinwege sowohl, wie dem Rückwege, findet es einen Widerstand an jedem seiner Nachbarn, welche mit ihm die ursprüngliche Lage behalten wollen und daher wird schon auf dem Hinwege von dem Augenblicke der Berührung beider Körper bis zu dem Augenblicke, in welchem der ankommende nicht mehr abwärts geht, die Kraft des Stoßes vermindert und ebenso tritt der Einfluß der gegenseitigen Abschwächung bei der rückwirkenden Bewegungskraft hervor, wodurch die ganze Rückwirkung geringer erscheint, als die Wirkung auf dem Hinwege. In den folgenden Betrachtungen nehmen wir die Körper zunächst als vollkommen elastisch an.

Wenn eine elastische Kugel von der harten horizontalen Ebene bis zu ihrem Ausgangspunkte zurückspringt, so hat sich bei dem Stoße ihre Geschwindigkeit nach einer bestimmten Richtung nicht nur ganz verloren, was nur dann der Fall sein würde, wenn sie liegen bliebe, sondern sie erleidet diesen Verlust noch einmal, indem sie einen entgegengesetzten Weg mit gleicher Kraft einschlägt; also ist ihr Verlust an Geschwindigkeit durch die Rückwirkung der Elastizität ein doppelter geworden.

Wir haben früher gesehen, daß ein beweglicher oder auch bereits bewegter Körper durch den Stoß von einem anderen an seiner Geschwindigkeit gewinnt. Auch dieser Gewinn ist für elastische Körper ein doppelter; denn durch den Stoß erhält auch der gestoßene Körper einen Eindruck, welcher diesem Gewinne entspricht, und dieser Eindruck setzt durch die ebensogroße Rückwirkung der Elastizität denselben Gewinn noch zu jenem.

Durch diese Ueberlegung lassen sich die Erscheinungen, welche zwei frei hängende Elfenbeinkugeln darbieten müssen, invoraus bestimmen, mögen die Kugeln beide in Bewegung gesetzt werden, oder nur eine, mögen ihre Massen und Geschwindigkeiten theils gleich, theils ungleich sein, mögen sie nach derselben Richtung oder gegeneinander gehen, wenn man nur zunächst die Resultate aufsucht, welche sich ergeben würden,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wenn die Kugeln unelastisch wären und dann die beziehungsweise sich ergebenden Gewinne oder Verluste für die betreffende Kugel verdoppelt. Aber auch hier ist es interessant, einen allgemeinen Ausdruck kennen zu lernen, welchem jeder einzelne Fall untergeordnet ist, also auch der, daß ein elastischer Körper auf eine feste unnachgibige Wand trifft.

Zur Erleichterung für die Auffindung dieses allgemeinen Ausdruckes, wollen wir uns eines besonderen Falles bedienen: es gehe eine Kugel von 4 Loth mit einer Geschwindigkeit von 8 Fuß hinter einer anderen von 2 Loth, welche nur 2 Fuß Geschwindigkeit hat; was wird der Erfolg des graden zentralen Stoßes sein?

Wären die Kugeln unelastisch, so würden sie zufolge der obigen Betrachtungen nach dem Stoße mit einer Geschwindigkeit von 6 Fuß gemeinschaftlich nach derselben Richtung weiter fortgehen; denn M ist gleich 4, $G = 8$, $m = 2$, $g = 2$, also:

$$\frac{MG + mg}{M + m} = \frac{4 . 8 + 2 . 2}{4 + 2} = 6 = x.$$

Es hat demnach die erste Kugel von ihrer Geschwindigkeit $G = 8$ verloren 2 oder $8 - 6 = G - x$, die zweite hat zu ihrer Geschwindigkeit $g = 2$ gewonnen 4 oder $6 - 2 = x - g$.

Sind aber die Kugeln elastisch, so verliert die erste, welche nach dem Stoße nur noch $x = 6$ Fuß Geschwindigkeit hatte, noch einmal 2 Fuß $(G - x)$, hat also noch 4 Fuß; und die zweite, welche nach dem Stoße auch $x = 6$ Fuß Geschwindigkeit besaß, gewinnt noch einmal 4 Fuß $(x - g)$, hat also jetzt 10 Fuß. Nach dem Stoße wird also die gestoßene Kugel mit 10 Fuß Geschwindigkeit vorwärts eilen, die stoßende nur mit 4 Fuß ihr nachkommen.

Es ist nun nicht mehr schwer, diesen Betrachtungen einen allgemeinen Ausdruck zu geben. X oder $\frac{MG + mg}{M + m}$ war die gemeinschaftliche Geschwindigkeit beider Körper nach dem Stoße, wenn wir sie unelastisch annehmen. Sind sie elastisch, so

verliert die Masse M von ihrer Geschwindigkeit x noch $(G - x)$
und hat daher $2x - G$, und es
gewinnt die Masse m zu ihrer Geschwindigkeit x noch $x - g$
und hat daher $2x - g$.

Wenn man für X seinen obigen Werth setzt, so erhält man für die Geschwindigkei der Masse M

$$\text{I.} \quad 2 . \frac{MG + mg}{M + m} - G \text{ oder } \frac{2mg + (M - m) G}{M + m}$$

und als Geschwindigkeit der Masse m:

$$\text{II.} \quad 2 . \frac{MG + mg}{M + m} - g \text{ oder } \frac{2MG + (m - M) g}{M + m}$$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Es ist klar, daß diese beiden Ausdrücke auch das obige Beispiel in sich enthalten, was daran bestätigt werden kann, wenn man die besonderen Zahlenwerthe für die Buchstaben setzt. Man erhält nämlich als Geschwindigkeit

für die stoßende Masse:

$$\frac{2 \cdot 2 \cdot 2 + (4-2)\,8}{4+2} = \frac{8+16}{6} = \frac{24}{6} = 4 \text{ und}$$

für die gestoßene:

$$\frac{2 \cdot 4 \cdot 8 + (2-4)\,2}{4+2} = \frac{64-4}{6} = \frac{60}{6} = 10, \text{ wie oben.}$$

Holt eine Kugel von 2 Loth mit 8 Fuß Geschwindigkeit eine andere von 4 Loth mit 2 Fuß Geschwindigkeit ein, so kommt die stoßende zur Ruhe und die gestoßene geht mit 6 Fuß Geschwindigkeit fort; denn die erste verliert 2×4 und die zweite gewinnt 2×2 Fuß.

Verfolgen beide Kugeln nicht dasselbe Ziel, sondern sind ihre Bewegungsrichtungen einander entgegengesetzt, oder kommen sie einander entgegen, so darf man in den obigen beiden Ausdrücken überall, wo die Geschwindigkeit g der entgegenkommenden Masse m vorkommt, nur die Rechnung in die entgegengesetzte verwandeln, d. h. die Addition in die Subtraktion und umgekehrt.

Es wird demnach aus I. für die Masse M die Geschwindigkeit

$$\text{III.} \quad \frac{(M-m)\,G-2mg}{M+m}$$

und aus II. für die Masse m die Geschwindigkeit

$$\text{IV.} \quad \frac{2MG-(m-M)g}{M+m} \text{ oder } \frac{(M-m)g+2MG}{M+m}.$$

Alle diese vier Ausdrücke enthalten noch andere Fälle in sich, welche auch als allgemeine anzusehen sind.

In den beiden ersten Fällen können wir nur die Massen M und m gleich groß annehmen, nicht aber die Geschwindigkeiten, weil sonst ein Einholen nicht stattfände; in den anderen Fällen können die Massen ungleich oder gleich und die Geschwindigkeit der einen auch Null sein. Ist letzteres der Fall, so kann die Masse des ruhenden Körpers als unbeweglich (unendlich groß) angesehen werden.

a) Sind nur die Massen gleich, so gehen die obigen vier Ausdrücke über in

$$1)\ g, \quad 2)\ G, \quad 3)\ -g, \quad 4)\ G.$$

Holt z. B. eine Kugel von 11′ Geschwindigkeit eine andere gleich große von 5′ Geschwindigkeit ein, so hat jene nach dem Stoße 5′, diese 11′ Geschwindigkeit, oder sie gehen mit vertauschter Geschwindigkeit in

der ursprünglichen Richtung fort. — Kommt aber einer Kugel von 11′ Geschwindigkeit eine andere gleich schwere mit 5′ Geschwindigkeit entgegen, so geht die erste mit 5′ zurück und die zweite mit 11′ auch zurück, also sie springen mit vertauschter Geschwindigkeit jede rückwärts.

b) Sind die Massen ungleich und ruht die eine, z. B. die mit der Masse m, so daß g gleich Null ist; so gehen die beiden ersten, sowie die beiden letzten Ausdrücke über in

$$1)\ \frac{(M-m)\,G}{M+m} \quad \text{und} \quad 2)\ \frac{2\,MG}{M+m}.$$

Trifft eine 8 Loth schwere Kugel mit 5′ Geschwindigkeit auf eine ruhende von 2 Loth, so geht nach dem Stoße die erste mit 3′, die gestoßene mit 8′ Geschwindigkeit in der Richtung der stoßenden vorwärts. Wenn aber eine Kugel von 2 Loth mit 5′ Geschwindigkeit auf eine ruhende von 8 Loth trifft, so geht die erste mit 3′ rückwärts und die letzte mit 2′ vorwärts.

c) Sind die Massen gleich und ruht die eine Kugel, so entstehen die Ausdrücke:

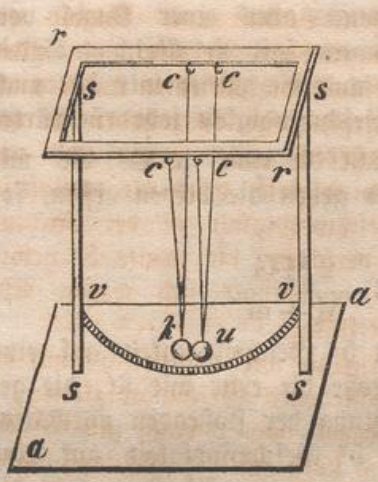
$$1)\ 0 \quad \text{und} \quad 2)\ G,$$

d. h. die stoßende Kugel bleibt stehen und die gestoßene geht mit der Geschwindigkeit der stoßenden vorwärts.

d) Trifft eine Kugel eine unnachgibige Wand, so müssen wir die Geschwindigkeit g derselben Null und ihre Masse unendlich groß annehmen und den ersten oder dritten der obigen Ausdrücke verwenden. Ist $g = 0$, so ist auch $2mg$ gleich Null und in dem, was übrig bleibt, nämlich in $\frac{(M-m)\,G}{M+m}$, ist M gegen m so ungemein klein, daß es ohne merklichen Fehler ausgelassen werden kann und nur noch $\frac{-mG}{m}$ stehen bleibt, was $-G$ gibt, weil gleiche Faktoren im Zähler und Nenner eines Bruches ausgelassen werden können. Da nun M mit der Geschwindigkeit $+G$ an die Wand kam und nach dem Stoße die Geschwindigkeit $-G$ hat, so geht es also mit derselben Geschwindigkeit zurück, mit der es ankam; dieser Sinn liegt nämlich in dem Zeichen vor G. Es ergibt sich also auch aus diesen Betrachtungen die Erscheinung ebenso, wie wir sie schon vorher kennen gelernt haben.

Wir sehen auch an diesen Betrachtungen wieder, welche durchgreifende Gewalt die mathematischen Betrachtungen ausüben. Es hat aber auch nicht minderes Interesse, es zu beobachten, wie keiner dieser Fälle sich dem Gesetze entzieht. Zu diesem Zwecke hat man die sogenannte Perkussionsmaschine von verschiedener Einrichtung konstruirt.

Auf einem Brette aa (Fig. 185) befinden sich zwei Ständer ss, welche einen Rahmen rr in der Form eines Oblongums tragen. An



(Fig. 185.)

den langen Seiten desselben sind in gleichen Entfernungen von einander und paarweise einander rechtwinklig gegenüber Haken oder Oesen, um durch sie dünne Seidenfäden, die zur Bequemlichkeit auch wohl durch kleine Schrauben verlängert oder verkürzt werden können, zu ziehen und an jedes Paar eine Elfenbeinkugel, wie k und u, zu binden. Außerdem ist unterhalb der Kugeln zwischen den Ständern ein eingetheilter Kreisbogen v v. Statt blos zwei gleich große oder ungleiche Kugeln können eine beliebige Menge so aufgehängt werden, daß alle ihre Mittelpunkte in einer graden Linie liegen.

Die Versuche bestätigen in überraschender Weise die oben angeführten Gesetze, natürlich stets mit Berücksichtigung des Umstandes, daß auch Elfenbeinkugeln nicht absolut elastisch sind. Sind die Kugeln gleich schwer, hebt man die eine k um einen gewissen Bogen und läßt sie dann los; so springt nach dem Stoße die andere u um einen ebenso großen Bogen aufwärts, während k stehen bleibt; nach dem Zurückkommen der Kugel u bleibt sie stehen und k springt aufwärts u. s. w.

Sind die Kugeln von ungleichem Gewichte, so geht die getroffene um so schneller vorwärts, je gewichtiger die stoßende bei bestimmter Geschwindigkeit ist; die stoßende selbst kann entweder nach vorwärts gehen oder auch zurückspringen.

Hält man die eine, wenn sie ungleich sind, am best n die größere, mit der Hand fest, so vertritt sie eine unnachgibige Wand und die andere springt mit derselben Geschwindigkeit zurück, mit welcher sie ankam.

Hebt man jede von zwei gleichen Kugeln um denselben Bogen in die Höhe und läßt sie dann gleichzeitig los, so springt jede auf ihrem Wege mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher sie einander trafen, zurück; hebt man sie zu ungleichen Höhen, so springen sie mit vertauschter Geschwindigkeit rückwärts; hebt man ungleiche Kugeln zu gleichen Höhen, so kommt es auf das Verhältniß ihrer Massen an, ob sie nach dem Stoße von einander abspringen oder in gemeinschaftlicher Richtung fortgehen.

Geht eine Kugel von 4 Loth mit 3′ Geschwindigkeit einer anderen von 2 Loth und auch 3′ Geschwindigkeit entgegen, so geht jede nach dem Stoße zurück, die erste mit 1′, die zweite mit 4′ Geschwindigkeit. Wären nämlich die Kugeln unelastisch, so würden sie beide mit 1 Fuß Geschwindigkeit in der Richtung der ersten fortgehen, so daß die erste von ihrer Geschwindigkeit 2′ verloren, die zweite zu ihrer Geschwindig-

keit 3′ gewonnen hat. Setzt man diesen Verlust und Gewinn noch einmal hinzu, so bekommt man das angegebene Resultat. — Wenn aber eine Kugel von 10 Loth mit 3′ Geschwindigkeit einer anderen von 2 Loth und derselben Geschwindigkeit entgegenginge, so würden sie nach dem Stoße beide in der Richtung der ersteren weiter gehen und zwar die erste mit 1′, die zweite mit 7′ Geschwindigkeit; denn als unelastische würden sie nach dem Stoße beide 2′ Geschwindigkeit in der Richtung der größeren haben, so daß die erste 1′ verloren, die zweite 5′ gewonnen hätte. Dieser Verlust und Gewinn wiederholt sich wegen Rückwirkung der Elastizität und daher das Resultat.

Das Abspringen oder Hintereinandergehen wird natürlich auch eintreten bei verschiedenen Massen und verschiedenen Geschwindigkeiten, je nach ihrem Verhältnisse. Stößt eine Kugel von 9 Loth mit 5′ Geschwindigkeit eine entgegenkommende von 3 Loth mit 7′ Geschwindigkeit, so geht jede zurück, jene mit 1′, diese mit 11′ Geschwindigkeit. — Wenn aber eine 15löthige mit 5′ Geschwindigkeit einer 3löthigen mit 7′ Geschwindigkeit begegnet, so gehen beide nach dem Stoße in der Richtung der ersteren, jene mit 1′, diese mit 13′ Geschwindigkeit.

Alle diese Beispiele sind den allgemeinen Ausdrücken unterworfen. Das meiste praktische Interesse aber hat der Fall, daß eine ganze Reihe von gleich großen oder ungleichen Kugeln so aufgehängt sind, daß alle ihre Mittelpunkte in derselben graden Linie liegen.

Sind sie alle gleich schwer, hebt man die erste auf und läßt sie einen graden zentralen Stoß ausüben, so springt nur die letzte mit derselben Geschwindigkeit ab, mit welcher jene aufgefallen war; läßt man die beiden ersten aufspringen, so springen die beiden letzten ab u. s. w. Es bleibt also die Bewegungsgröße stets dieselbe, die mittelsten Kugeln dienen nur dazu, den Stoß von einer auf die andere fortzupflanzen, stets beginnend von der vorausgehenden Kugel. Wenn von 10 Kugeln 6 stoßen, also 4 gestoßen werden, so fliegen doch auch 6 ab und es sind von den 6 stoßenden die beiden vorderen zugleich gestoßene, aber sie müssen zuerst selbst den Stoß vollbracht haben.

Wenn man 100 Kugeln, von denen jede folgende nur die Hälfte der Masse von der unmittelbar vorhergehenden hätte, in der oben angegebenen Weise anbrächte, und man ließe die größte nur mit 1 pariser Fuß Geschwindigkeit auf die zweite fallen; so würde die kleinste mehr als 97 Millionen Meilen in 1 Sekunde zurücklegen.

Wenn man bei einem Gypspfeifenrohre gegen das obere Ende einen kreisförmigen Einschnitt gemacht hat und es dann lothrecht auf die Diele fallen läßt, so springt das obere Stück beim Aufschlagen ab und in die Höhe. — Aehnlich ist das Aufspringen einzelner Spielkarten aus einem ganzen Spiele.

Es ist sehr natürlich, daß die Stöße, welche beim Fahren auf einem Steinpflaster durch die Wagenräder ausgeübt werden, indem

diese theils von Stein auf Stein springen, theils von Steinen abgleiten, von Stein zu Stein bis an die Häuser fortgepflanzt werden. Wollte man also die Häuser nicht so bedeutenden und bei großen Höhen derselben nicht ungefährlichen, wenigstens ihre Dauer verkürzenden Erschütterungen aussetzen, so müßte man das Pflaster nicht gewaltsam an die Mauer einlegen, sondern einen Zwischenraum lassen, welcher mit lockerem Erdboden auszufüllen wäre; denn daß festes Erdreich die Stöße besser fortpflanzt, als loses, kann man recht deutlich bei hartem Winterfroste wahrnehmen.

Hierher gehört noch eine Erscheinung, welche allerdings etwas sehr Auffallendes darbietet, nämlich die Methode des Sprengens von Steinen mittelst Pulver. Man macht zu diesem Zwecke in den zu sprengenden Felsen mit Stahlmeißeln runde Löcher, welche nach der Größe des einzelnen Steines oder der Beschaffenheit des Felsens eine verschiedene Tiefe haben. Um den Tunnel durch den Mont-Cenis zu brechen, macht man Bohrlöcher von 0,6 bis 0,8 Meter Tiefe und thut in jedes ungefähr 2,5 Kilogramme Pulver. Gewöhnliche Arbeiter setzen auf das Pulver einen Strohhalm von etwas größerer Länge, als das Bohrloch tief ist, in welchem sie einen hervorragenden Eisendraht (besser wegen geringerer Gefährlichkeit beim Herausziehen einen Kupferdraht) stecken; dann stampfen sie in das Bohrloch Brocken von gebrannten oder anderen Steinen, ja wohl auch Kleie, Sägespäne, Asche oder gießen sogar Wasser hinein, wenn statt des Strohhalms ein anderes Röhrchen, z B. von einem markigen Holzgewächse verwendet worden ist; nun ziehen sie den Strohhalm heraus, schütten in das Röhrchen Pulver oder Pulverstaub und zünden es durch einen Schwamm an, was aber gefährlicher ist, als wenn man einen langsam brennenden Zündfaden anwendet.

Auf diese Weise werden allerdings bedeutende Felsen gesprengt, besonders wenn man die Bohrlöcher in der Richtung der natürlichen Schichten des Gesteins machen kann; aber man erreicht mit viel weniger Pulver dasselbe Resultat, wenn man unter und über dem Pulver etwas Luft läßt und obenauf feinen Flußsand lose schüttet. Es lassen sich so nicht blos einzelne Blöcke, sondern die größten anstehenden Felsen sprengen. Von dem Einflusse der Luft kann man sich leicht überzeugen, wenn man in die Mitte eines Flintenlaufes Pulver bringt, zu beiden Seiten desselben etwas Luft läßt und die übrigen beiden Theile lose mit Sand anfüllt. Beim Anzünden des Pulvers wird nur der mittlere Theil des Laufes gesprengt, während die beiden Enden mit dem darin meist liegenbleibenden Sande ganz bleiben.

Es ist also die Frage zu beantworten: warum schleudert die Kraft des explodirenden Pulvers, welche eine Anfangsgeschwindigkeit von mindestens 2000 Fuß zu erzeugen im Stande ist, nicht die losen Sandkörner heraus, sondern warum sprengt sie den festen Felsen? Wären

die Sandkörner absolut elastisch und fände eine genaue Berührung derselben unter einander statt, so würde allerdings die oberste Schicht mit der genannten Geschwindigkeit fortgeschleudert, wie es bei den Elfenbeinkugeln der Fall war; wären aber die Körner ganz unelastisch und denken wir sie uns vom Pulver an nach der Oeffnung in Schichten zerlegt, so würde die Mittheilung der Geschwindigkeit von Schicht zu Schicht mit einer stetig wachsenden Verminderung verbunden sein, die bei nur 60 Schichten und der obigen Anfangsgeschwindigkeit von 2000 Fuß für die letzte blos noch $\frac{1}{10000}$ Fuß betragen würde; je mehr die Körperchen sich dem einen oder dem anderen Extreme nähern, desto mehr wird auch der Erfolg der einen oder der anderen Erscheinung nahe kommen. Wegen der unvollständigen Berührung der einzelnen Schichten ist es der dem Pulver zunächst befindlichen während der freilich kurzen Zeit der Umwandlung des Pulvers in Gas gestattet, sich den anderen zu nähern, was umsoweniger geschieht, je näher sie an der Mündung liegen. Der Erfolg davon ist, daß die tiefsten Sandkörner am meisten pulverisirt sind, die obersten gar nicht. Weil Flüssigkeiten den empfangenen Stoß sofort durch ihre ganze Masse verbreiten, sind sie zur Sperrung des Schießpulvers ungeeignet. In der ein Ganzes bildenden Felsenmasse ist die Fortpflanzung der Bewegung viel schneller und es bedarf auch nur einer Bewegung durch einen geringen Raum, um die innig zusammenhängende Masse zu trennen. Ebenso wird ja eine einzelne Flintenkugel, welche auf dem das Pulver fest abschließenden Pfropfen sitzt, herausgeschleudert; ist aber eine Reihe von Kugeln in den Lauf geladen, so wird derselbe zersprengt.

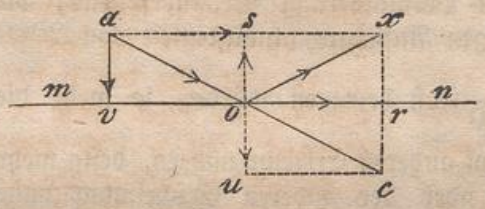
Was nun noch den beim Sprengen günstigen Einfluß der Luft betrifft, so ist ihre Nachgibigkeit die Veranlassung, daß sich die ganze Kraft der Gase während ihrer Bildung aus dem Pulver entwickeln kann, um dann in einem einzigen Stoße um so gewaltiger zu wirken, zumal die dadurch zusammengepreßte Luft ebenfalls einen hohen Wärmegrad entwickelt und treibend wirkt. Erwärmte Geschütze schießen ja auch schärfer, als ganz kalte. Uebrigens erlangt eine fest auf dem Pulver sitzende Kugel ihre Geschwindigkeit erst allmählig bei der fortschreitenden Entwickelung der Gase. Nun erklärt sich auch, warum Gewehre, deren Mündung mit losem Erdboden oder selbst mit Schnee verstopft ist, so leicht zerspringen.

3) Bei dem schiefen zentralen Stoße ist, um den Erfolg richtig beurtheilen zu können, stets eine Zerlegung der im Stoße liegenden Kraft in ihre zwei Seitenkräfte nothwendig, von denen die eine lothrecht auf der Stelle, in denen die Körper zusammentreffen, steht, die andere aber mit dieser als Ebene zu betrachtenden Stelle vollkommen parallel geht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wenn ein harter unelastischer Körper in lothrechter Richtung gegen einen anderen ebensolchen und unbeweglichen stößt, so wird seine Bewegung durch den Widerstand desselben vollständig aufgehoben; wenn aber ein elastischer auf einen ebensolchen, aber unnachgibigen, lothrecht stößt, so wird jener mit der Kraft des Stoßes wieder lothrecht zurückgeworfen.

Wenn aber ein harter unelastischer Körper schief in der Richtung ao (Fig. 186) gegen die harte unelastische Ebene mn stößt und ao oder oc zugleich das Maß der stoßenden Kraft ist, so muß sie in die zwei Seitenkräfte as oder or, parallel mit der Ebene, und av oder ou lothrecht auf der Ebene aufgelöst werden. Die letztere verschwindet durch den Widerstand der Ebene und nur die erste bleibt, so daß der Körper längs der Ebene mit der Kraft or, welche kleiner, als ao ist, hingeht.



(Fig. 186)

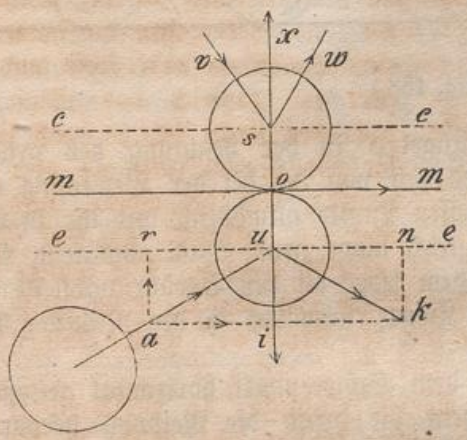
Sind in diesem Falle die Körper elastische, so verschwindet im Punkte o die lothrechte Kraft av nicht, sondern sie wird in die ihr gleiche os verwandelt, so daß der Körper im Augenblicke des Stoßes in o durch die beiden Kräfte or und os angeregt wird und daher den aus ihnen resultirenden Zwischenweg ox einschlagen muß, welcher zugleich das Maß der Kraft nach dem Stoße angibt, welche gleich ao ist.

Den Winkel, welchen die Richtung ao des Stoßes mit der durch den Treffungspunkt auf der getroffenen Stelle lothrecht stehenden Linie, dem Einfallslothe, bildet, nennt man den Einfallswinkel; den Winkel aber, welchen die Richtung ox, in welcher nach dem Stoße die Bewegung fortgesetzt wird, mit dem Einfallslothe bildet, nennt man den Ausfallswinkel. Diese Winkel sind einander stets gleich, welcher Natur auch die elastischen einander treffenden oder stoßenden Körper sein mögen, so daß das durch alle physikalischen Erscheinungen (auch Schall, Wärme, Luft u. s. w.) geltende höchst wichtige Gesetz aufzustellen ist:

Beim Zusammentreffen elastischer Körper sind Einfalls- und Ausfallswinkel stets gleich.

Schießt man auf einen Wasserspiegel oder auf den Erdboden unter einem kleinen Winkel gegen den Horizont, so springen die Kugeln wiederholt ab und auf, wobei aber wegen des Gewichtes der Kugeln der Ausfallswinkel stets etwas größer wird, als der zu ihm gehörige Einfallswinkel, so daß die Sprünge immer kürzer werden, bis auf ebenem Erdboden die Kugeln nur noch rollen. Dies sind die Rikochett- oder auch Rollschüsse, welche rechtzeitig angewendet ungeheuer verheerend wirken. Wem ist nicht auch das Spielwerk bekannt, einen flachen Stein durch einen recht schrägen Wurf von einem ruhenden Wasserspiegel wiederholt aufspringen zu machen? Ist am jenseitigen Ufer eines stehenden

Gewässers eine Scheibe aufgestellt, so wird man wenig vom Ziele fehlen, wenn man statt nach der Scheibe, nach ihrem Bilde im Wasser schießt, wenn nur das Rikochettiren recht vollkommen ist. Unter Umständen könnte dieses wohl auch im Kriege angewendet werden.



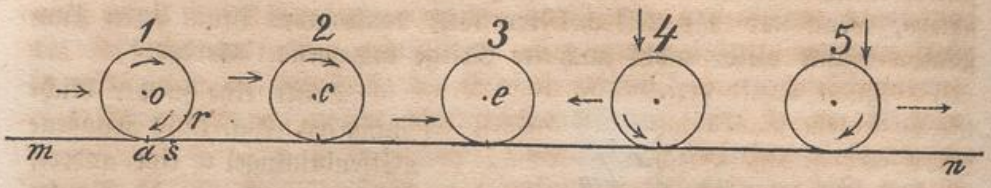
(Fig. 187.)

Trifft eine in der Richtung au (Fig. 187) gestoßene Elfenbeinkugel u eine andere, aber ruhende s im Punkte o, so läßt sich der Erfolg auf folgende Weise leicht bestimmen. Ist su die Verbindungslinie beider Kugelmittelpunkte, legt man durch den Treffungspunkt o die Berührungsebene mm, welche auf su lothrecht ist, und noch die beiden mit ihr parallelen cc und ee, welche durch die Mittelpunkte der Kugeln gehen; so müssen wir die Kraft des schiefen Stoßes, für welchen au das Maß sein mag, von dem Treffungspunkte o oder von u aus zerlegen in zwei Seitenkräfte, welche in den Richtungen ux und ue wirken und durch die Linien ar = ui und ai = un gemessen werden. Wäre die Kugel s befestigt, so würde sich aus diesen beiden Kräften uk allein als Rückweg für u ergeben; da aber s beweglich und auch elastisch angenommen worden ist, so erhält sie wegen der Rückwirkung der Elastizität der u einen graden zentralen Stoß durch die erste Seitenkraft und geht in der Richtung sx fort.

Stände aber die Kugel s beim Stoße nicht still, sondern würde sie in der Richtung vs gestoßen; so würden die durch die Mittelpunkte der Kugeln gehenden, auf der Berührungsebene in o lothrecht stehenden und rückwirkenden Seitenkräfte mit den beiden anderen zusammengesetzt werden müssen und u würde nach dem Stoße, wie vorhin, in der Richtung uk, s in der Richtung sw abspringen.

4) Der exzentrische Stoß, er mag nun ein grader oder schiefer sein, bietet außer den angeführten Bewegungen noch eine neue, nämlich eine drehende, dar. Eine auf einer rauhen Tuchfläche liegende Elfenbeinkugel wird freilich auch durch einen ihr ertheilten graden zentralen Stoß außer der fortschreitenden noch eine drehende Bewegung erlangen, aber nur durch die Reibung oder den Widerstand der Unterlage, welche jeden mit ihr zur Berührung kommenden Punkt der Kugel zurückzuhalten sucht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



(Fig. 188.)

Wird also (Fig. 188) der Kugel o in der Richtung des graden Pfeiles der Stoß ertheilt, so wird sich von ihr bei der Bewegung auf der Ebene mn der Bogen ar, dessen Punkte allmählich mit ihr in Berührung kommen, nicht auf eine gleich lange grade Linie abwickeln, sondern auf eine kürzere as, und indem jeder an der Berührungsstelle zurückgehalten wird, dreht sich die Kugel rückwärts in der Richtung des auf ihr gezeichneten Pfeiles.

Wird die Kugel c (2) über dem Schwerpunkt horizontal gestoßen, so geht sie rascher vorwärts, indem die durch die Reibung hervorgebrachte Drehung unterstützt wird; stößt man die Kugel e (3) unterhalb des Schwerpunktes horizontal, so wird eine Drehung erzeugt, die der bei der fortschreitenden Bewegung hervorgebrachten entgegengesetzt ist und es kann der Fall eintreten, daß die Kugel, nachdem sie eine Strecke vorwärts gegangen ist, wieder zurückkommt, wenn nämlich die Kraft des Stoßes so groß war, daß die rückwärtsdrehende Bewegung noch fortdauert, während die vorwärtsgehende durch die Reibung bereits aufgehoben ist.

Wird die Kugel hinter dem Schwerpunkte lothrecht von oben nach unten gestoßen (4), so geht sie mit geschwächter Vorwärtsdrehung um eine horizontale Axe dann rückwärts; wird sie (5) vor dem Schwerpunkte lothrecht von oben nach unten gestoßen, so geht sie mit geschwächter Rückwärtsdrehung dann vorwärts; wird sie seitwärts vom Mittelpunkte rechts oder links gestoßen, so bekommt sie dadurch eine Drehung um eine lothrechte Axe, welche mit der wälzenden Drehung sich zu einer um eine schräge Axe zusammensetzt.

Man kann eine Kugel auf dem Billarde auch zwingen, sich in einem Bogen zu bewegen. Steht sie nämlich an einer Seitenwand und ertheilt man ihr, etwa mit dem Ballen der Hand, einen schiefen und exzentrischen Stoß über dem Schwerpunkte, so wird sie unter einem spitzen Winkel zurückgeworfen und bekommt zugleich eine nach der Wand gerichtete Drehung um eine Axe, welche schief gegen die Wand geneigt ist, so daß die Kugel dadurch von jedem Punkte ihrer sonst gradlinigen Bahn abgeführt wird.

In den Kreis dieser Betrachtungen gehört auch die Anwendbarkeit des ballistischen Pendels zur Bestimmung der Geschwindigkeit von

Geschossen, worauf wir früher schon bei Besprechung des Gesetzes von der Erhaltung der lebendigen Kraft hingewiesen haben. Wenn die Masse m geeignet ist, einen gewissen Widerstand durch den Raum r in einer gewissen Zeiteinheit zu überwinden, so ist bekanntlich das Produkt mr die lebendige Kraft der Masse m. Wenn nun diese Kraft im Stande ist, bei einem Stoße auf die äußerst leicht bewegliche Masse M derselben eine gewisse Geschwindigkeit G zu geben und dabei ihre eigene Geschwindigkeit zu verlieren; so ist die lebendige Kraft auf M übergetragen und gleich MG, also $mg = M.G$ und daraus ist $g = \frac{M.G}{m}$. Bedeutet also M das Gewicht eines etwa mit Steinen gefüllten gewichtigen Kastens, welcher mittelst einer schneidenformig gestalteten stählernen Axe auf einer harten und polirten Unterlage sich sehr leicht bewegen kann; m das Gewicht einer auf diese Masse abgeschossenen Büchsenkugel und G die dem Kasten dadurch ertheilte Geschwindigkeit, zu deren Beobachtung unten am Kasten eine Metallspitze angebracht ist, welche in weiches Wachs bei ihrer Bewegung eine Spur macht: so ist die Geschwindigkeit der Kugel nach dem obigen Ausdrucke leicht zu berechnen.

Wir werden später in der Elektrizitätslehre noch andere und sehr sinnreiche Methoden kennen lernen, die Geschwindigkeit der Geschosse zu bestimmen.

II. Fürs Praktische vorzüglich wichtig ist der Stoß fester Körper gegen tropfbare und umgekehrt. Es handelt sich bei diesen Betrachtungen u. a. nämlich um die angemessenste Form für die Schiffe, damit ihre Kraft beim Fahren durch den Stoß gegen das Wasser möglichst wenig geschwächt und ferner um die Konstruktion der Wasserräder, damit die stoßende Kraft des Wassers soviel als möglich benutzt werde. Man pflegt die hierher gehörigen Betrachtungen wohl auch unter dem Ausdrucke: Widerstand des flüssigen Mittels zusammenzufassen.

Der Widerstand eines flüssigen Mittels gegen einen festen Körper bleibt unter übrigens gleichen Umständen derselbe, mag sich nun der eine von den beiden Körpern bewegen, gleichgiltig welcher, oder mögen sich beide bewegen.

Stößt eine Flüssigkeit auf einen festen Körper, so wird sie nur dann die ganze ihr eigenthümliche Kraft ausgeübt haben, wenn sie bei dem Stoße ihre ganze Geschwindigkeit verliert, also nach dem Stoße vollkommen zur Ruhe gelangt ist. Bewegt sich ein fester Körper in einem flüssigen, welcher in einer bestimmten Richtung fließt, in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit; so ist von einem Stoße nicht die Rede; er kann nur stattfinden bei verschiedenen Geschwindigkeit beider.

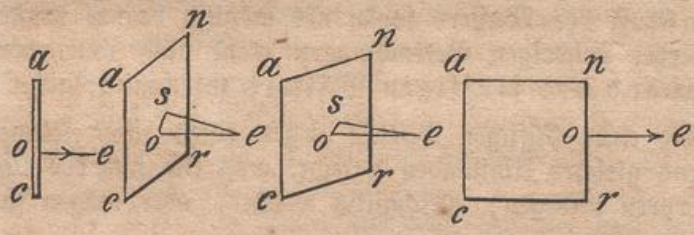
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei der Bewegung sowohl des Festen gegen das Flüssige, als auch umgekehrt, wird der Zusammenhang der Theilchen der Flüssigkeit an den Stellen der Bewegung nicht nur, sondern auch seitwärts des festen Körpers verändert. Die Flüssigkeit muß wegen der Undurchdringlichkeit des festen Körpers seitwärts von ihm entweichen, ihren Zusammenhang verändern und findet an der schon vorhandenen einen Widerstand. Dieser Widerstand wird beim Wasser größer, als bei der Luft, beim Meereswasser größer, als beim Flußwasser, beim Quecksilber größer, als beim Wasser sein und sich überhaupt nach der Dichtigkeit, dem spezifischen Gewichte der Flüssigkeit richten, wenn sich ein fester Körper in einem flüssigen bewegt.

Ein fester Körper wird den Widerstand des flüssigen, in welchem er sich bewegt, leichter bezwingen, je massiger er unter übrigens gleichen Umständen ist; es wird also ein schweres Schiff bei gleichem Tiefgange und gleicher Gestalt das Wasser leichter durchschneiden, als ein leichtes, weil die Bewegungskraft des letzteren geringer ist. Eine Feder fällt daher auch langsamer, als ein Stückchen Holz, dieses langsamer, als ein Stückchen Blei von derselben Gestalt.

Je größer die Fläche des festen Körpers ist, welche die Flüssigkeit stößt oder welche von der Flüssigkeit gestoßen wird, desto größer muß unter übrigens gleichen Umständen der Widerstand sein, weil in demselben Verhältnisse mehr Flüssigkeit verdrängt wird oder zum Stoße gelangt.

Wir wissen bereits aus früheren Betrachtungen, daß ein bewegter Körper mit seiner Kraft nur dann vollständig zur Wirkung gelangt, wenn die Bewegungsrichtung lothrecht steht auf der Stelle eines anderen Körpers, welchen er bei seiner Bewegung trifft, oder von welchem er getroffen wird, wenn er selbst ruht.



(Fig. 189.)

In Fig. 189 ist eine quadratische Fläche ac rn in vier Lagen gegen die durch den Pfeil oe angedeutete Bewegungsrichtung dargestellt. In (1) sieht man nur die Vorderkante ac und alle Stellen des Quadrats werden lothrecht getroffen; in (2) ist das Quadrat um die Kante ac etwas gedreht worden und die Bewegungsrichtung oe bildet mit ihm den spitzen Winkel soe; in (3) ist die Bewegung noch weiter geführt und der Neigungswinkel soe ist noch spitzer geworden; in (4) endlich bietet das Quadrat der Flüssigkeit nur noch die Kante nr dar. Es wird also die Menge der bei einer bestimmten Geschwindigkeit aus

dem Wege gedrängten Flüssigkeit mit abnehmendem Winkel geringer. Nehmen wir als Maß der auf dem Punkte o stoßenden Kraft die Linie eo an, so wird mit abnehmendem Winkel o auch das von e auf das Quadrat gezogene Loth abnehmen und darnach sich die Wirkung des Stoßes auf das ganze Quadrat richten.

Endlich ist es noch wichtig, den Einfluß der Geschwindigkeit der einander stoßenden Körper zu betrachten. Die durch den Stoß erzeugte Geschwindigkeit, vertheilt auf beide nach dem Stoße bewegte Massen, ist dem Produkte aus der Geschwindigkeit und der Masse der bewegten Flüssigkeit proportional, aber die durch den Stoß erzeugte Kraft ist dem Quadrate der Geschwindigkeit verhältnißmäßig, denn der feste Körper muß bei seiner Bewegung einer doppelten Anzahl von Flüssigkeitstheilchen, eine doppelte Geschwindigkeit, einer dreifachen Anzahl von Theilchen eine dreifache Geschwindigkeit u.s.w ertheilen. Bei diesen Gesetzen wird aber vorausgesetzt, daß die aus dem Wege gestoßenen Flüssigkeitstheilchen bei ihrem Entweichen nach dem Stoße den festen Körper nicht umkreisen, was freilich in der Wirklichkeit nicht stattfindet, so daß die Gesetze in der Anwendung nur annähernd erreicht werden.

Ist G die Geschwindigkeit des ankommenden Körpers, M seine Masse, m die Masse der Flüssigkeit, welche er stößt; so ist die Geschwindigkeit nach dem Stoße $\frac{MG}{M+m}$.

Wenn man ferner annimmt, daß eine bestimmte Fläche, z. B. von 1 Quadratfuße, mit der Geschwindigkeit g bewegt werde und während dieser Zeit eine Flüssigkeit, deren Masse m ist, vor sich wegdrängt; so ertheilt sie dieser die Wirkungsfähigkeit mg^2 und erleidet somit selbst einen Widerstand, welcher im einfachen Verhältnisse mit der Dichtigkeit (Masse) der Flüssigkeit und im quadratischen der Geschwindigkeit wächst. Es wird also der Widerstand eines im Queckſilber bewegten Körpers unter übrigens gleichen Umständen 13,6 mal größer sein, als im Wasser und wenn man im Wasser einen Körper das eine Mal mit 1 Fuß, ein zweites Mal mit 2 Fuß Geschwindigkeit bewegt, so ist im zweiten Falle der Widerstand das Vierfache von dem im ersten Falle.

Fassen wir also alle oben erwähnten Umstände zusammen, so werden wir sagen müssen: der Widerstand, welchen ein bewegter Körper von einer Flüssigkeit erfährt, wächst in gradem Verhältnisse

1) mit der Dichtigkeit der Flüssigkeit,
2) mit der Verminderung seiner eigenen Masse,
3) mit der Vergrößerung seiner in gewisser Richtung getroffenen Oberfläche,
4) mit Vergrößerung des Lothes, welches von dem Endpunkte eines gewissen vom festen Körper beginnenden Stückes der graden Linie, in deren Richtung die Bewegung stattfindet, auf den

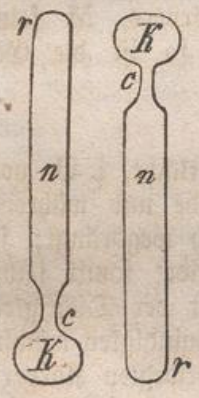
Körper gezogen wird (im Verhältnisse des Sinus des Neigungswinkels der Bewegungsrichtung gegen die Fläche),

5) mit den Quadratzahlen der Geschwindigkeit.

Erscheinungen, welche das Vorhandensein des Widerstandes und diese Gesetze bestätigen, sind in sehr großer Anzahl vorhanden.

Die Geschosse erreichen wegen des Widerstandes der Luft nicht die berechneten Höhen und Weiten. Das physische Pendel kommt, abgesehen von dem Reibungswiderstande am Aufhängepunkte, aus demselben Grunde nach und nach zur Ruhe.

Bewegt man die Hand oder ein Stäbchen in gewisser Richtung mit gewisser Geschwindigkeit nach einander durch Luft, Wasser und Quecksilber, so ist der Widerstand in der Luft am kleinsten, beim Quecksilber am größten. — Ein bestimmter Körper fällt im Wasser langsamer, als in der Luft, in dieser langsamer, als im leeren Raume, in welchem alle Körper gleich schnell fallen. — Im leeren Raume schlagen Wassertropfen so hart an, als wenn es Schrotkörner wären. Dieses kann man an dem sogenannten Wasserhammer leicht erkennen. Das Instrument läßt sich leicht anfertigen. Man nimmt (Fig. 190) eine bei r geschlossene Glasröhre n, bläst in etwa 9 Zoll Entfernung von dem einen Ende eine Kugel k an, zu welcher der Zugang aus der Röhre n verengt wird, wie es bei c ist, und bricht dann hinter der Kugel die verengte Fortsetzung der Röhre ab, so daß hier eine kleine Oeffnung bleibt. Man treibt nun durch Erwärmen einen Theil der Luft aus der Röhre und hält, bevor die Abkühlung beginnt, die Mündung unter Wasser. Dann wird bei der Abkühlung und Raumverminderung der Luft in der Röhre der Druck der Atmosphäre von der Oeffnung aus Wasser in die Röhre empordrücken.



(Fig. 190.)

Hat man auf diese Weise etwa ¼ der Röhre mit Wasser gefüllt, so treibt man die noch darin befindliche Luft durch das Kochen des Wassers bei der Stellung 2 vermittelst der Wasserdämpfe heraus und schmilzt sofort die kleine Oeffnung a zu. Ist das Instrument abgekühlt und bringt man es in die Stellung 1, so daß das Wasser nur tropfenweise nach der Kugel k gelangt, so schlagen die Tropfen so hart an, daß man sich hüten muß, das Glas nicht zu zerschlagen. — Ein solcher harter Schlag ist es auch, wenn Wasser auf Wasser im luftleeren Raume stürzt, wie es der Fall ist, wenn man Wasserdampfblasen in kaltes Wasser (in den Tender bei Lokomotiven, in den Vorwärmer bei Brennereien u. s. w.) leitet. — Ja sogar Luft gibt einen heftigen Knall, wie es z. B. beim Verbrennen einer Knallgasblase stattfindet, wobei der vom Knallgase erfüllt gewesene Raum fast leer wird, indem sich daraus nur sehr wenig Wasserdampf bildet.

Gleichgestaltete Körper aus demselben Stoffe oder aus verschiedenen Stoffen überwinden den Widerstand in bestimmter Flüssigkeit um so leichter oder mit einem um so geringeren Verluste ihres Bewegungsmomentes, je schwerer sie sind; daher sind gepreßte Flintenkugeln besser, als gegossene, wenn auch letztere nicht eine hohle Stelle haben, wie so häufig; geschmiedete Kanonenkugeln besser, als gegossene; ein schwerer Kreisel geht länger, als ein leichter; ein schweres Schwungrad ist wirksamer, als ein leichtes. — Von zwei gleich langen Pendeln schwingt das gewichtigere etwas schneller, als das leichtere, weil es den Widerstand besser überwindet und es kommt auch später zur Ruhe.

Das Schlämmen besteht darin, daß man zertheilte oder pulverisirte Körper, welche man im ruhenden oder bewegten Wasser fallen läßt, entweder nach ihrer Größe oder ihrem durch das Gewicht bestimmten Werthe von einander absondert. Wie in der Luft nicht alle Körper gleich schnell fallen, so ist es auch im Wasser: ihr spezifisches Gewicht (die Dichtigkeit), ihre Größe und die Gestalt ihrer Oberfläche bringen beim Fallen einen verschiedenen Widerstand hervor; je dichter und je größer sie sind und je kleiner dabei ihre Oberfläche ist, desto schneller fallen sie. Bei einem Gemenge aus Steinen und Gold gelangt das letztere zuerst an den Boden; bei Sandkörnern von verschiedener Größe fallen die größten am schnellsten; Kugeln fallen schneller, als Würfel, diese schneller, als dünne Blättchen.

Das Schlämmen mit ruhigem Wasser kommt vor bei den Goldarbeitern, bei der Anfertigung von feinen Thonwaaren, bei der Fabrikation der Stärke und der verschiedenen Färbemittel, z. B. der Schlämmkreide, der Ockerfarbe, des Ultramarins, der Smalte, bei der Bereitung der Arzneimittel. Der Goldarbeiter kehrt den Abgang edler Metalle bei seinen Arbeiten (Feilen, Schaben, Graviren, Poliren) zusammen, schüttet ihn in Wasser, rührt gut um und gießt nach einiger Zeit die obere verunreinigte Flüssigkeit vorsichtig ab oder läßt sie durch einen Heber ab. Zum Schlämmen des Thones u. dergl. hat man eine Reihe von hölzernen Gefäßen, von denen jedes in geringer Entfernung über dem Boden eine verschließbare Oeffnung hat, die zu einer Abzugsrinne oder Röhre führt und von denen jedes folgende tiefer, als das vorhergehende steht, um es durch das Ablaufen von diesem füllen zu können. In dem ersten Gefäße setzen sich die Steinchen und gröbsten Theile bald zu Boden, nach einiger Zeit läßt man die Flüssigkeit in das zweite Gefäß gehen u. s. f., bis endlich aus dem letzten, in welchem die feinsten Theilchen sich ablagern, klares Wasser entfließt. Will man ein im Wasser unlösliches Arzneimittel, wie Kalomel, Zinnober, recht fein zertheilt erhalten; so zerreibt man dasselbe in einer Porphyrschale mit einem ebensolchen Läufer und spült den sehr verdünnten Brei in einem sogen. Dekantirtopf, welcher eine Reihe lothrecht über einander befindlicher

Oeffnungen zum Ablassen der noch in verschiedenem Grade trüben Flüssigkeit in andere Gefäße besitzt.

In den Berg- und Hüttenwerken werden die nutzbaren Erze durch fließendes Wasser gewonnen. Nachdem man das taube Gestein möglichst ausgelesen, kommt das zerkleinerte Erz in Setzsiebe, d. i. in Kasten mit einem Drahtboden. Indem diese Kasten wiederholt heftig in Wasserbehälter herabgestoßen werden, wodurch der ganze Inhalt gehoben und umgerührt wird, setzt sich das schwere Erz unten. Nachdem dieses in Pochwerken unter Zuführung von Wasser sehr zerkleinert worden, wird es in Kanäle, die Mehlführung, geleitet, wo es sich nach der Größe und dem Gewichte seiner Theilchen ablagert. Die letzte Sonderung besorgen schiefe Ebenen, die Stoßheerde, an deren oberen Rande das Erz aufgelegt und durch darauf geleitetes Wasser unter regelmäßig wiederkehrenden Erschütterungen bespült wird, wobei sich die schwersten Theile zuerst ablagern.

Auch die Erdoberfläche zeigt uns in ihrer Schichtenbildung die großartigsten Schlämmungsprozesse aus den früheren Bildungsperioden und die fließenden Gewässer erzeugen fortwährend noch in kleinerem Maßstabe Ablagerungen, wobei der feinste Sand am weitesten und der Schlamm noch weiter fortgeführt wird, bis er sich gegen die Mündungen der Ströme, wo die Geschwindigkeit des Wassers am geringsten ist, endlich ablagert und dort oft bedeutende Länderstrecken (Deltas) bildet.

Die Wirkung der Klärmittel gehört zum Theil auch hierher. Setzt man nämlich zu einer trüben Flüssigkeit einen fein zertheilten Körper hinzu, welcher schwerer als sie ist; so nimmt er bei seinem langsamen Fallen die fremdartigen trübenden Theile mit an den Boden hinab oder, wenn er leichter ist, an die Oberfläche herauf. So klärt man Wein (Kaffe) mit Hausenblase, wobei die Gerbesäure des Weines mit dem Leime der Hausenblase eine geronnene unlösliche Verbindung bildet, welche die trübenden Theile mit zu Boden nimmt. Das zu Schaum geschlagene Eiweiß nimmt in einer mit ihm bis zum Sieden erhitzten Flüssigkeit beim Abkühlen die fremden Theile an die Oberfläche. Ebenso wirkt das eiweißreiche Blut, z. B. bei der Raffinerie des Zuckers. Schlammiges Wasser wird durch den Zusatz von etwas Alaun bald geklärt. Pflanzensäfte klären sich durch das Abkochen, da das in ihnen enthaltene Eiweiß beim Erkalten das Trübende nach oben mitnimmt.

Die Planeten haben es ihrer ungeheuren Masse zu verdanken, daß ihre Umlaufszeit und die Geschwindigkeit in den Punkten gleicher Lage gegen die Sonne bei verschiedenen Umlaufen sich nicht ändert. Aber bei den äußerst zarten Kometen nimmt die Geschwindigkeit zu, ihre Bahnen um die Sonne werden immer enger und ihre Umlaufszeit immer kürzer, weil sie einen Widerstand an dem, wenn auch selbst äußerst zarten Weltäther finden. Dieser Widerstand ist aber doch so bedeutend, daß er bei dem von Enke so sorgfältig berechneten Kometen von Pons,

welcher unserem Planetensysteme angehört, also sich nur um unsere Sonne bewegt, vom Jahre 1789 bis 1859 das Jahr desselben bereits um 2 Tage verkürzt hat. Es ist also keinem Zweifel unterworfen, daß er und andere Kometen endlich einmal in die Sonne fallen wird, was ihr freilich nicht eben zum Nachtheile gereichen kann, höchstens daß an der betreffenden Stelle der Verbrennungsprozeß einige Zeit etwas lebhafter von Statten gehen möchte (Sonnenfackeln). Derselbe Komet zeigte bei seinem glänzenden Auftreten im Jahre 1859 auch durch die Beschaffenheit seines Schweifes recht deutlich die Wirkung des Widerstandes, welchen der Weltäther ausübt. Schon daß sich überhaupt ein Schweif bildet und wie er mit Annäherung an die Sonne länger, mit dem Entfernen von ihr kürzer wird, ist ein Beweis von jenem Widerstande; denn nähert sich der Komet der Sonne, so nimmt seine Geschwindigkeit zu, also auch der Widerstand des Weltäthers und er reißt von dem äußeren Umfange immer mehr seiner zarten und losen Massentheilchen ab; entfernt sich aber der Komet, so geht er wieder langsamer und der Kopf desselben mit den meisten Massentheilchen zieht die anderen im Schweife mehr und mehr an sich, so daß der Schweif allmählig verschwindet. — Aber auch die Gestalt des Schweifes ist wichtig. Ginge der Komet in grader Richtung fort, so würden die Theilchen des Schweifes in einem hohlen Kegelmantel hinter dem Kopfe einherziehen. Dieser wie die Oberfläche eines Zuckerhutes gestaltete Schweif würde, wenn er an unseren Augen grade vorüberzöge, oben und unten am meisten leuchtend erscheinen, weil nach diesen Richtungen die meisten Theilchen des Mantels in der Gesichtslinie liegen, obwohl sie ringsum im Schweife gleichmäßig vertheilt sein müssen. Aber der Komet von 1859 verfolgte eine ziemlich stark gekrümmte Bahn, während der Zeit des Sichtbarseins und zeigte uns in auffallendster Weise in dem nach seiner Bahn gekrümmten Schweife die äußere, also von der Sonne abgewendete Seite, viel heller, als die innere, blos weil dort der Bewegungswiderstand des Weltäthers ein größerer sein muß, als hier.

Der große Komet vom Jahre 1811, dessen Umlaufszeit 3066 Jahre beträgt, wird bei seinem nächsten Erscheinen sogar 177 Jahre beschleunigt werden.

Der Einfluß der Masse des sich bewegenden Körpers zeigt sich auf der Erde noch in sehr vielen Fällen. Ein Federball fällt in der Luft langsamer, als eine Bleikugel; letztere im Wasser schneller, als eine Thonkugel, wenn sie dieselbe Größe haben. — Wenn man das ausgedroschene Getreide von seiner Spreu oder vom Kaff befreien will, so nimmt man kleine Mengen auf eine etwas ausgehöhlte Holzschaufel und wirft sie in einem kleinen Bogen vor sich hin, bei Luftzug natürlich gegen den Wind. Allen Körnern und dem Kaff wird hierbei so ziemlich dieselbe Anfangsgeschwindigkeit gegeben, aber die schwersten und besten Körner gehen am weitesten und je leichter sie sind, desto eher fallen sie

nieder, der ganz leichte Kaff natürlich zuerst. Dieses Verfahren heißt das Wurfen.

Man hat aber zum Reinigen des Getreides noch besondere, verschiedenartige Maschinen u. a. eine, bei welcher durch gedrehte Flügelräder ein so starker Wind erzeugt wird, daß durch ihn das in geringen Mengen aus einem Spalte eines Kastens fallende unreine Getreide ebenfalls gereinigt wird, indem der Wind die leichtesten Körper am weitesten forttreibt.

Die einfachste und schnell zum Ziele führende Methode besteht darin, daß man das unreine Getreide durch einen Spalt auf eine gegen den Horizont mehr oder weniger geneigte Rinne mit einem Drahtsiebboden fallen läßt. Die schwersten Körper haben das größte Bewegungsmoment und gehen am weitesten, je leichter und kleiner sie sind, desto leichter fallen sie durch die Maschen des Siebes, was auch mit dem kleinen Unkrautsaamen geschieht, so daß das Getreide nicht nur rein, sondern auch sortirt wird.

Einen wie großen Einfluß auf den Widerstand die Größe der Fläche, welche der feste Körper dem flüssigen bei der Bewegung darbietet, kann man wahrnehmen, wenn man mit einem Brettchen das eine Mal mit der Kante, das andere Mal mit der flachen Seite durchs Wasser oder durch die Luft fährt und dieselbe Geschwindigkeit in beiden Fällen festhält. Diese Verschiedenheit muß bei der Handhabung der Schiffsruder berücksichtigt werden, wenn man sich nicht das Rudern erschweren und die Geschwindigkeit des Schiffes vermindern will. Zum gleichmäßigen Gange des Schiffes ist nicht nur eine gleichmäßige Vertheilung der Ruderkräfte auf beide Seiten des Schiffes, sondern auch eine taktmäßige Bewegung der gleichmäßig gehaltenen Ruder erforderlich.

Will man beim Baden im Meere sich gegen die Wellen bewegen, so muß man ihnen nicht die breite Seite des Körpers darbieten; ebenso wenn man möglichst schnell gegen die Strömung in einem Flusse laufen will. — Selbst beim Fechten mit breiteren Säbelklingen ist es wichtig für schnelle Bewegungen, daß man der Luft nicht die breiten Seiten darbietet.

Vorzüglich wichtig ist die Gestalt der Vorderfläche eines festen Körpers, welcher sich in einem flüssigen bewegt; je flacher der Körper vorn ist, desto größer der Widerstand. Daher hat man beim Schiffsbaue vorzüglich darauf zu sehen, daß das Wasser, welches an das Vordertheil des Schiffes stößt, unter einem möglichst spitzen Winkel auftreffe und daß dasselbe recht leicht seitwärts entweichen könne, was geschieht, wenn es nach dem Stoße von dem Fahrzeuge so zurückgeworfen wird, daß es mit seiner Seitenwand parallel abfließt. Es wird also eine spitzzulaufende und ausgeschweifte Gestalt des Vordertheiles die angemessenste sein.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Flach und spitz zugehende Fische, wie die Forellen, Hechte und Delphine, können sehr rasch schwimmen; die mit einem breiten und dicken Kopfe, wie die Welse, sind schlechte Schwimmer. Wenn auch ein Dampfschiff seine ganze Kraft entwickelt und auch noch der Wind benutzt wird, so kommt ihm der an seiner Seite schwimmende Delphin doch gleich und wenn er etwas zurückzubleiben besorgt, so macht er weite Sprünge durch die Luft, die ihm einen geringeren Widerstand leistet. Die Forellen sind sogar im Stande, in einem über ein Mühlrad frei herabstürzenden Wasserstrahle aufwärts zu schwimmen, was mit zitternder Bewegung langsam geschieht.

Den Vögeln erleichtert ihre Gestalt das Fliegen und wenn schwerfällige Vögel, wie wilde Gänse, in Schaaren ziehen, so bilden sie einen Keil, um die Luft leichter zu zerschneiden; die kräftigsten sind abwechselnd an der Spitze, die schwächsten am Ende, wo sie durch den entstandenen Wirbel der Luft etwas vorwärts getragen werden. — Die alten Griechen konnten mit ihrer Phalanx feindliche Massen leichter durchbrechen, als es mit den graden Fronten geschah. — Spitzkugeln fliegen aus denselben Gründen weiter, als andere unter übrigens gleichen Umständen. — Sollen Brückenpfeiler den andrängenden Wogen und Eisböcke den Eisschollen leichteren Widerstand leisten, so müssen sie scharfzugehende Vorderkanten haben.

Soll der Pendelkörper die Luft möglichst leicht durchschneiden, so gestaltet man ihn nicht kugelförmig, sondern scheibenförmig, in der Mitte dicker, als an den Rändern, so daß der zugeschärfte Rand leicht in die Luft eindringt.

Wir werden später in der Lehre vom Keile noch eine Menge von Erscheinungen zu erwähnen Gelegenheit finden, welche diesem Gebiete sehr verwandt sind.

Zufolge der Anziehungskraft der Erde erlangen die auf sie herabfallenden Körper gar bald eine sehr bedeutende Geschwindigkeit, wie es die Gesetze des freien Fallens angeben. Trifft nun ein fallender Körper plötzlich auf einen Widerstand, durch welchen er seine ganze Geschwindigkeit verliert, so steht die Wirkung mit seiner Masse und der Quadratzahl seiner Geschwindigkeit in gradem Verhältnisse, würde also selbst für wenig gewichtige Körper sehr bedeutend sein. Wenn ein Hagelkorn von 1 Loth nur während 10 Sekunden gefallen ist, so müßte seine Kraft gleich $(10 . 31)^2 = 96100$ Lothen $= 3203$ Pfunden sein. Wenn auch die fallenden Regentropfen eine dieser Betrachtung entsprechende Kraft behielten, so würden sie Alles vernichten. Zum Glücke aber leistet die Luft einen Widerstand, welcher schon, wenn sie überall gleich dicht wäre, in gradem Verhältnisse mit den Quadratzahlen der Geschwindigkeit des fallenden Körpers wächst. Nun kommt aber hier noch dazu, daß die Dichtigkeit der Luft nach der Erdoberfläche hin zunimmt; also ist der Widerstand ein noch bedeutenderer. Auf diese

Weise ist es möglich, daß die beschleunigte Bewegung in eine vrrzögerte übergeht. Und in der That muß dieses bei den aus dem weiten Weltraume auf unsere Erde fallenden Meteorsteinmassen der Fall sein, wenn sie aus dem leeren Raume in die Atmosphäre der Erde kommen, denn sie dringen selbst in ziemlich loses Erdreich selbst nur wenige Fuße tief ein.

Recht auffallend zeigt sich der Widerstand der Luft auch bei hohen Wasserfällen, so daß selbst beim Niagara nur die auf der kanadischen Seite herabstürzende Wassermasse ziemlich ungetheilt bleibt, während das Uebrige sich größtentheils in Tropfen und Schaum auflöst, besonders der einzelne südliche Arm.

Den Widerstand der Luft benutzt man bei der Anfertigung des Bleischrotes, indem man das geschmolzene Blei aus einem durchlöcherten Boden in einem etwa 120 Fuß tiefen Schacht herabfallen läßt, wobei sich die Tropfen runden und völlig erstarrt unten ankommen, wo man sie in Wasser auffängt.

Der fallende Körper wird einen um so größeren Widerstand zu überwinden haben, je mehr Luft er dabei aus dem Wege drängen muß, und je weniger leicht diese Luft seitwärts entweichen kann. Je größer also die der Luft beim Fallen des Körpers entgegentretende Fläche ist, desto langsamer wird er unter übrigens gleichen Umständen fallen und ist diese Fläche so ausgehöhlt wie bei einem aufgespannten Regenschirme, so wird er langsamer fallen, als wenn sie eine horizontale Ebene bildete. Daher der Nutzen der Fallschirme mit einem Durchmesser von 20 bis 30 Fuß, und einer Oeffnung an der höchsten Stelle, damit die beim Fallen zusammengedrückte und verdichtete Luft entweichen kann und nicht an dem unteren Rande sich einen Ausweg sucht, wodurch ein ungleiches Schwanken des Schirmes entstehen würde. Garnerin war der erste, welcher sich mit einem solchen Schirme, woran eine Gondel war, aus einer Höhe von 1000 Metern herabließ. Ich erinnere mich, gelesen zu haben, daß von der Brühlschen Terrasse eine Dame, welche ihren starken Regenschirm festhielt, bei einem Sturme herabgeworfen worden und glücklich unten angelangt ist.

Bei den Schlaguhren hat man sogenannte Windfänge, welche sich mit ihren dünnen Schaufeln um eine Axe drehen, während die Uhr schlägt, damit durch den Widerstand der Luft die Bewegung des Schlaggewichtes gleichmäßig und dadurch die Hammerschläge in gleichzeitiger Aufeinanderfolge gemacht werden.

Weil die Raubvögel nicht blos sehr breite, sondern auch sehr lange Flügel haben, ist es ihnen möglich, ohne viele Flügelschläge sich in der Luft zu halten, ja oft in sehr bedeutenden Höhen, wo die Luft schon merklich dünner ist.

Wie den Vögeln die Luft durch ihren Widerstand das aktive Fliegen, so macht den Säugethieren und anderen Thieren der Widerstand

des Wassers das aktive Schwimmen möglich. Weil dieser Gegenstand zur Erhaltung der Gesundheit und des Lebens so höchst wichtig ist, wollen wir darüber Einiges anführen.

Es gibt viele Menschen, besonders Kinder, welche auf dem Wasser, namentlich auf dem schwereren Meereswasser (dem sehr salzreichen Mittelländischen Meere) passiv schwimmen, d. h. wenn sie sich entkleidet in ein hinreichend tiefes Gewässer begeben, nicht zu Boden sinken, sondern selbst in vollkommener Ruhe an der Oberfläche vom Wasser getragen werden, indem ein kleiner Theil des Körpers darüber hervorragt. Die meisten Menschen aber sind, wenn auch nur um sehr wenig, spezifisch schwerer als das Flußwasser, so daß sie in angemessener Weise die Füße und Arme gegen das Wasser bewegen müssen, um den Kopf oder wenigstens Mund und Nase über demselben zu erhalten. Die Bewegungen zu diesem Zwecke bilden das aktive Schwimmen.

Die vierfüßigen Thiere sind wohl alle leichter als das Wasser, können ihre Nase viel leichter, ohne dem Körper eine ungewohnte Lage zu geben, über das Wasser bringen und brauchen mit ihren Füßen, selbst wenn sie verhältnißmäßig nur dünn sind, wie beim Pferde und Rinde, fast nur die Bewegungen des Laufens zu machen, um im Wasser vorwärts zu kommen.

Es ist auch dem Menschen möglich, in seiner natürlichen lothrechten Lage im Wasser sich zu halten, ohne mit dem Kopfe unterzutauchen, ja selbst bis gegen die Brust hervorzuragen. Man muß, wie man zu sagen pflegt, das Wasser treten; man macht nämlich mit den Beinen eine Bewegung, wie sie beim Treppensteigen angewendet wird, nur daß man die Kniee langsamer an den Unterleib anzieht, als man nachher die Beine von sich stößt, um durch den Stoß gegen das Wasser den Körper zu heben. Man stößt hierbei die Beine von einander, daß sie einen Winkel bilden, und ein Wasserkeil sich zwischen ihnen befindet; wenn man dann beide Beine zusammenschlägt, so schiebt man wegen des Widerstandes des Wassers seinen Körper aufwärts über den spitzeren Theil des Keiles. Nebenbei wird man, wenn diese Bewegungen angemessen gemacht werden, die Hände können ruhen lassen; man kann sie aber auch benutzen, indem man gleichzeitige Schläge mit ihrer flachen Seite nach unten macht und beim langsameren Heraufziehen dem Wasser nur die schmale Seite darbietet.

Das Wassertreten ist eine ziemlich anstrengende Methode zu schwimmen. Wenn man dem Körper eine horizontale Lage gibt, so bietet er dem Wasser eine größere Fläche beim Sinken dar, als in der vorigen lothrechten und daher brauchen die Bewegungen, um sich über dem Wasser zu erhalten, nicht so heftige zu sein.

Nach der Lage der Nase und des Mundes ist es am leichtesten, sich, auf dem Rücken liegend, mit zurückgelegtem Kopfe über dem Wasser zu erhalten. Man legt hierbei, um die Gesammtfläche des Leibes

zu vergrößern, die Arme an den Leib der Länge nach, die innere Seite der flachen Hand nach unten und dann braucht man nur mit den Händen kleine Schläge nach unten zu machen, um das ganze Gesicht über dem Wasser zu erhalten. Diese Lage kann man stundenlang ertragen, ohne zu ermüden, nur daß sie mehr ein passives, als ein aktives Schwimmen ist und uns nicht zu einem gewünschten Ziele hinführt.

In einer Reisebeschreibung wird erzählt, daß Bewohner einer Südseeinsel, welche mit ihren Kindern in einem Boote fuhren, nach dem zufälligen Umschlagen des Fahrzeuges zuerst ihre Kinder ruhig auf den Rücken ins Wasser legten und dann sie so liegen ließen, bis das Boot wieder fahrbar war. Die häufig auf dem Wasser lebenden Chinesenfamilien binden ihren Kindern ausgehöhlte Kürbisse an die Schultern und sind dann unbesorgt. Ueber den Euphrat und Tigris schwimmen die Leute, auch die zu Markte ziehenden Weiber häufig, indem sie sich ein Bündel von leichten Binsen über die Brust legen. Für Seefahrer hat man besondere Rettungsapparate eingerichtet. Die meisten Menschen möchten aber wohl spezifisch leichter als das Meerwasser sein und sich mit ihren Respirationsorganen wenigstens über dem Wasser halten können, wenn sie nur die später anzugebenden Regeln befolgten.

Bei dem eigentlichen Schwimmen liegt man auf dem Bauche, hält den Kopf nach oben und zurück, und macht mit den Armen und Beinen angemessene Bewegungen, welche aber nicht denen beim Laufen der Thiere nachgeahmt sind. Wenn man die beiden Zwecke im Auge hat: sich, wenigstens den Kopf, über dem Wasser zu erhalten und gleichzeitig möglichst leicht und schnell nach einem gewissen Ziele zu gelangen; so wird man die Art der Bewegungen leicht erkennen.

Die Arme und Hände haben das Amt: 1) den Körper vorn keilförmig zu gestalten, damit er das Wasser leicht durchschneide. Dieses geschieht, indem man beide Arme nach vorn ausstreckt, das Innere der beiden Hände zusammenlegt und ihnen eine lothrechte Stellung gibt. 2) Durch einen Druck mit den Armen und horizontal gelegten Handflächen nach unten den Körper nach oben zu bewegen. Ist man nämlich während der ersten Stellung der Hände vorwärts geschoben, so breitet man beide Hände horizontal aus und schlägt mit jeder in einem nach außen gerichteten Bogen das Wasser nach unten. Es ist dieses eine Bewegung, als wenn man mit beiden Armen etwas erraffen wollte. 3) Bei dem Uebergange der Hände aus der ersten Lage in diese Bewegung zertheilt man das Wasser vor sich, indem die Hände beim Auseinanderbringen so gewendet werden, daß mehr ihre äußeren Seiten einander zugewendet sind und daß die Anfänge der beiden Bogen eine ziemlich horizontale Lage haben; dann schlägt man nach unten und zieht die Hände in einem Bogen an die Brust zurück, damit sie, zum Keil zusammengelegt, wieder ins Wasser einschneiden.

Die Beine haben wesentlich nur die Verrichtung, den Körper vor-

wärts zu schieben, was bei ihrer dreitheiligen Bewegung zweimal geschieht: 1) wenn man sie, während die Kniee dicht an den Unterleib herangezogen waren, breit von sich nach hinten stößt, so daß sie einen ziemlich großen Winkel bilden; 2) wenn man sie von dieser Lage aus und steif haltend zusammenschlägt, so daß man auf dem Wasserkeile zwischen ihnen vorwärts schiebt.

Will man ohne große Anstrengung vorwärts kommen, so müssen die Bewegungen der Arme und Beine rechtzeitig ineinander eingreifen. Während man mit den Armen den spitzen Winkel macht, stößt man die Beine auseinander; während man mit den Händen und Armen das Wasser zertheilt, schlägt man die Beine zusammen; während man mit den Armen abwärts die raffende Bewegung macht, zieht man die Kniee nicht allzurasch an den Unterleib.

Die zweite Bewegung fördert am meisten, die dritte dient vorzüglich, um sich über dem Wasser zu halten. Ist man müde geworden, so legt man sich auf den Rücken, um auszuruhen.

Wer ins Wasser fällt und nicht schwimmen kann, wird nicht so leicht verunglücken, wenn auch die Hilfe nicht augenblicklich vorhanden ist, wenn er Folgendes mit Geistesgegenwart ausführt:

Während des Fallens muß man soviel als möglich Luft einathmen, damit man unter dem Wasser nicht das Bedürfniß fühlt, dieses zu thun, sondern vielmehr Luft auszustoßen, damit der Körper spezifisch leichter werde, also schneller wieder emporkomme. Ist das Einathmen nicht geschehen, so muß man mit zugemachtem Munde den Athem wenigstens anhalten. Damit man beim Hineinfallen von größeren Höhen nicht zu tief unter das Wasser geht, ist es angemessen, die Beine und Arme zu spreizen und die Hände mit zusammengelegten Fingern horizontal zu halten, weil so der Widerstand des Wassers wächst. Von größeren Tiefen bringt zwar das Wasser wegen seines dort bedeutenderen Druckes den Körper, wie einen kartesianischen Taucher, selbst höher hinauf; es wird aber immerhin förderlich sein, wenn man Bewegungen wie beim Wassertreten macht und namentlich mit den flachen Händen abwärts schlägt. Kommt man endlich wieder an die Oberfläche des Wassers, so hüte man sich sorgfältigst, die Hände und Arme aus dem Wasser nach Hilfe zu strecken, weil dann der andere Theil des Körpers wegen Vermehrung des Gewichtes des untergetauchten um so schwerer wird und man sofort wieder untersinkt. Dieses scheinbare Rettungsmittel ist das Verderben für die meisten Verunglückten. Daß man, sowie man die Nase frei vom Wasser hat, soviel als möglich Luft einathmen muß, versteht sich wohl von selbst, damit man ein etwaiges neues Untertauchen vertragen kann und damit es nicht auf große Tiefen geschehe. Da der hohle Brustkasten und somit der Kopf nach oben kommen und die Beine nach unten gehen; so ist es gar nicht schwer, sich auf den Rücken zu legen, wenn inzwischen Hilfe noch nicht herbeigekommen wäre.

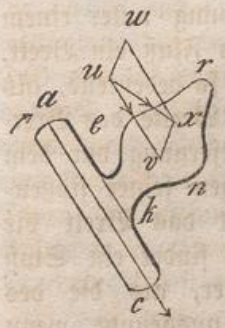
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Um der Gefahr des Ertrinkens möglichst leicht zu entgehen, ist es natürlich das Rathsamste, daß man Schwimmen lernt. Es sollte aber nicht blos deshalb der Schwimmunterricht einen Bestandtheil der Erziehungsmittel unserer sowohl männlichen, als auch weiblichen Jugend bilden, sondern auch weil die Bewegungen im Wasser eine vorzügliche Gymnastik für alle Theile des Körpers sind und weil durch Beseitigung der die Poren verschließenden Reste der Ausdünstungen und Oberhautabsonderungen die für die Gesundheit absolut nothwendige Hautthätigkeit in ihrem Verkehre mit der Atmosphäre ungemein befördert wird.

Für die Schiffahrt sind in neuerer Zeit die Dampfschiffe von unendlicher Wichtigkeit geworden. Noch vor 45 Jahren hielt man es nicht für ausführbar, daß man mit Benutzung der Dampfkraft über den atlantischen Ozean fahren könne, während die Reise jetzt in kaum 9 Tagen von England nach New-York gemacht werden kann. Dieses so günstige Resultat hat man der Vollkommenheit zu danken, mit welcher man die durch den Dampf getriebenen Bewegungsmaschinen herstellt. Früher baute man nur Raddampfer, d. h. man brachte zu beiden Seiten des Schiffes gegen seine Mitte außerhalb zwei Schaufelräder an, deren Axe durch den Dampf in drehende Bewegung versetzt wurde, so daß der Stoß der Schaufeln auf das ruhende oder weniger schnell fließende Wasser das Schiff durch die Rückwirkung des letzteren vorwärts brachte, also daß das Schiff, wenn die untersten Schaufeln sich nach dem Hintertheile bewegen, vorwärts geht. Es ist natürlich, daß eine stärkere Belastung des Schiffes die Schaufeln in eine größere Tiefe des Wassers bringt, als eine mäßige, und daß in jenem Falle der Widerstand des Wassers nicht nur wegen des vermehrten Druckes, sondern auch, weil gleichzeitig mehr Schaufeln unter Wasser sind und bewegt werden müssen, ein größerer ist, als in diesem, daß also die Arbeit der Maschine mehr erschwert wird, als es sonst nothwendig wäre. Dazu kommt, daß die Raddampfer im Kriege wegen der weit über den Wasserspiegel hervorragenden Räder eher in Gefahr sind, außer Thätigkeit gesetzt zu werden.

Es war also ein höchst glücklicher Gedanke, statt der Schaufelräder eine sogenannte Schraube, deren Axe aus dem Hintertheile des Schiffes unter dem Wasser hervorkommt, anzubringen. Man wird die mehr oder weniger nach dem Hintertheile zu bringende Belastung stets so vertheilen können, daß die Schraube immer in einer gewissen Tiefe unter dem Wasserspiegel ist und niemals demselben so nahe oder über ihn tritt, daß sie nur wenig oder gar nicht wirksam würde.

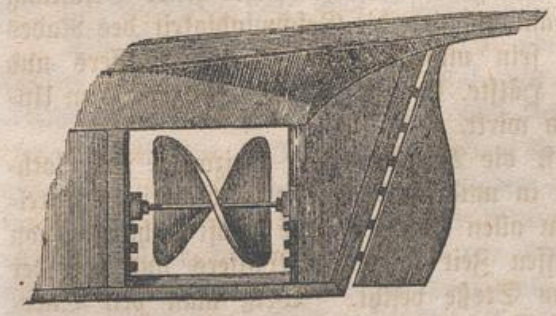
Um eine Vorstellung von der Wirksamkeit solcher Schrauben zu geben, erwähnen wir nur Folgendes. In Fig. 191 sei ac die aus dem Hintertheile des Schiffes wasserdicht hervorkommende Welle, daran sei eine zunächst eben gedachte Schaufel ernk befestigt, welche gegen die Axe der Welle keinen rechten Winkel bilde, sondern so geneigt sei, daß



(Fig. 191.)

die obere Kante er mehr nach a hin liegt, als die untere Kante kn. Wird nun die Welle um ihre Axe so gedreht, wie es der Pfeil a auf ihrer oberen Seite andeutet, so wird die Schaufel nach unten bewegt. Läge die Axe in der Ebene der Schaufel, so würde diese in jedem Punkte das Wasser lothrecht stoßen, aber bei der angenommenen Lage ist der Stoß ein schiefer. In Betreff der Größe des Stoßes ist es einerlei, ob wir annehmen, die Schaufel stößt das Wasser oder dieses jene mit derselben Geschwindigkeit. Wenn uv das Maß und die Richtung des schiefen Stoßes ist, und man zeichnet das Parallelogramm der Kräfte uwxv, wobei ux die Lothrechte auf die Schaufel ist; so kommt nur letztere Kraft zur Wirkung und die mit der Schaufel parallele Seitenkraft uw ist unwirksam. Da die Schaufel das Wasser in der Richtung von x nach u stößt; so wird dieses wegen seines Beharrungszustandes die Schaufel, die Axe und das ganze Schiff zwingen von u nach x oder in der Richtung des Pfeiles bei c sich zu bewegen.

Es ist natürlich, daß nicht blos eine Schaufel an der Axe angebracht ist, sondern mehre. Ferner wäre es unangemessen, die Schaufeln eben zu machen, weil bei ihrer Drehung die von der Axe entfernteren Punkte derselben eine größere Geschwindigkeit haben, als die näheren und somit dem Wasser eher ausweichen würden, als die näheren, ohne denselben Stoß von ihm zu erleiden. Die Schaufeln sind also gegen das Wasser, welches sie stoßen sollen, gekrümmt.



(Fig. 192.)

Endlich ist es klar, daß man nicht blos einzelne von einander getrennte krumme Schaufeln anbringen, sondern die Flächen derselben zusammhängend machen kann, wie es Fig. 192 zeigt, wodurch eigentlich erst der Begriff der Schraube entsteht, durch welche das Schiff sich gewissermaßen ins Wasser einbohrt.

Nachdem wir den Stoß fester Körper gegen flüssige und die Widerstände betrachtet haben, welche jene erleiden, wenn er sich in diesen bewegt, wollen wir den Stoß tropfbarer Körper gegen feste betrachten und als Repräsentanten das Wasser nehmen.

Es ist nicht gleichgiltig, ob Wasser in einem bestimmt begränzten Gerinne oder ob es frei fließt und einen Stoß gegen einen bestimmten

festen Körper, z. B. ein Brett von gewisser Ausdehnung unter einem gewissen Winkel ausübt. Stellt man in einem offenen Fluß ein Brett, so ist der Stoß, welchen es vom Wasser erfährt, nicht so bedeutend, als wenn das stoßende Wasser in einem Gerinne von der Breite des Brettes ankommt; denn dort kann es schon in einiger Entfernung vor dem Brette seitwärts theilweise entweichen und die Richtungen seiner stoßenden Theile sind sehr verschieden, hier aber nicht. Hat das Brett die Geschwindigkeit des Wassers in derselben Richtung, so findet ein Stoß nicht statt; sondern nur, wenn die des Wassers größer, als die des Brettes ist, und die Kraft des Wassers ist vollständig ausgenutzt, wenn es nach dem Stoße seine ganze Geschwindigkeit verloren hat.

Von großer praktischer Wichtigkeit ist der Stoß des Wassers bei Rädern, also bei den Wasserrädern, welche zum Betriebe von Mahlmühlen und anderen Werken, z. B. Pochwerken der verschiedensten Art angewendet werden.

Ist irgend ein fließendes Gewässer vorhanden, so bietet uns die Natur eine Kraft dar, welche nichts kostet, sondern blos angemessen benutzt zu werden braucht, wozu freilich unter Umständen mehr oder weniger kostspielige Vorbereitungen, wie Eindämmungen, Anlagen von Gerinnen, Schleusen und Schützen, erforderlich sind. Sollte aber ein Rad durch den Stoß des Wassers eine seiner eigenen gleiche Geschwindigkeit erhalten, so müßte es der Bewegung des Wassers gar keinen Widerstand entgegensetzen, d. h. es dürfte gar nicht belastet sein und würde also auch gar keinen Erfolg hervorbringen; andererseits aber darf die Belastung nicht so groß sein, daß dadurch der Stoß des Wassers ganz aufgehoben und nur ein Druck ausgeübt würde, welcher jener Belastung das Gleichgewicht hielte. Demnach wird die Geschwindigkeit des Rades unter allen Umständen kleiner sein müssen, als die des Wassers und zwar der Erfahrung nach die Hälfte, so daß letzteres nur mit dem Unterschiede der Geschwindigkeiten wirkt.

Bei den Wasserrädern ist die Axe entweder horizontal oder lothrecht. Die ersteren zerfallen in unterschlächtige, oberschlächtige, mittelschlächtige und Kropfräder. In allen Fällen ist die Kraft abhängig von der Menge des in einer gewissen Zeit stoßenden Wassers und von der Geschwindigkeit, welche es beim Stoße besitzt. Weiß man den Querschnitt q des ankommenden Wassers und den Weg, welchen es in einer Sekunde zurücklegt, also seine Geschwindigkeit g; so gibt das Produkt $q \cdot g$ die Wassermenge m, welche zum Stoße gelangt. Die Wirkungsfähigkeit dieser Wassermasse $m = q \cdot g$ hängt aber im graden Verhältnisse von der Quadratzahl der Geschwindigkeit ab, welche sie im Augenblicke des Stoßes besitzt. Man kann die Wirkung des Stoßes von fließendem Wasser fast bis auf das Doppelte steigern, wenn man die gestoßene Fläche über dem Querschnitte des vorher frei fließenden Wassers vergrößert.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fällt das Wasser in einem freien Strahle, so wird noch das Gewicht desselben benutzt und der Erfolg kann ein sehr bedeutender werden. Fallen 1000 Pfund Wasser in einer Sekunde durch 20 Fuß, so könnten dadurch 2000 Pfunde in 1 Sekunde im Gleichgewicht erhalten werden, wenn durch Reibungswiderstände nichts verloren ginge, und dies gäbe eine Kraft von 40 Pferden, wenn ein Pferd im Stande ist, auf die Dauer 500 Pfunde in 1 Sekunde 1 Fuß hoch zu heben. Schon $^3/_4$ Kubikfuß Wasser (jeden zu 66 Pfund) würden bei 10 Fuß Fallhöhe eine Pferdekraft fast erreichen; nämlich $^3/_4 . 66 . 10 = 495$.

Das Gewicht des stoßenden Wassers läßt sich aus seinem Querschnitte, seiner Geschwindigkeit nnd aus dem Gewichte von 1 Kubikfuße leicht berechnen.

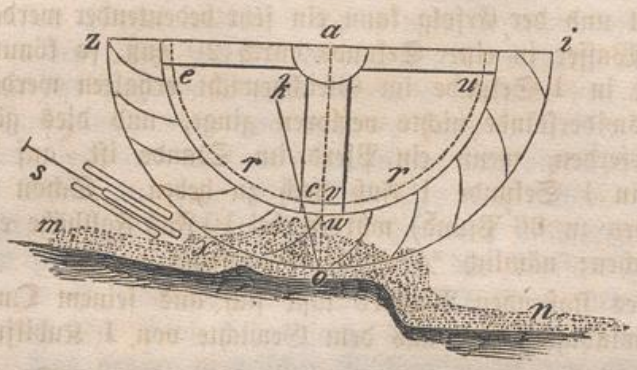
Steht eine große Wassermenge mit nur geringem Gefälle zu Gebote, so wendet man unterschlächtige Wasserräder an, d. h. solche, welche sich um eine horizontale Axe drehen, an ihrem Umfange zwischen zwei kranzförmigen Scheiben entweder offene, ebene und rechtwinklig aufgesetzte Schaufelbretter, in deren Ebene die Radaxe liegt, oder an der Innenseite geschlossene Kasten mit gekrümmten Brettern haben und bei denen das Wasser unten an das Rad möglichst in tangentialer Richtung stößt.

Bei den Schaufelrädern ist die Wirkung am größten, wenn die Geschwindigkeit am Umfange des Rades die Hälfte von der des Wassers ist; immerhin aber geht bei diesen Rädern ein großer Theil, etwa $^7/_{10}$, der Kraft verloren, weil das Wasser nach dem Stoße zum Wegfließen noch eine gewisse Geschwindigkeit behalten muß. Die Räder an den Raddampfern sind auch Schaufelräder.

Die Kastenräder von Poncelet aber haben den Zweck, daß das Wasser bei seinem Emporsteigen auf den gekrümmten Schaufeln seine Geschwindigkeit vollständig verliert und somit auch vollständig wirkt.

Damit aber in beiden Fällen das Wasser, welches seine Wirkung ausgeübt hat, leicht unterhalb des Rades abfließe, ohne daß es sich aufstaut und durch das Rückstauen die Bewegung des Rades hindert, ist es vortheilhaft, das Schußgerinne vor dem Rade mit seiner Sohle so anzulegen, daß sie nicht tiefer liegt, als das Niveau des hinter dem Rade abfließenden Wassers. Bei Schiffsmühlen, deren Wasserräder zwischen dem schwimmenden Mühlengebäude im Flußbette selbst angebracht sind, ist der durch den Widerstand des nicht schnell genug hinter dem Rade abfließenden Wassers entstehende Verlust an Kraft nicht zu vermeiden; sie sind also nur da anzulegen, wo es auf diesen Verlust nicht ankommt. Bei einem hinlänglichen oder überflüssigen Wasservorrathe ist es übrigens zur möglichst vollständigen Benutzung der Wasserkraft vortheilhafter, mehre Ränder hintereinander in demselben Schußgerinne, als sie nebeneinander in selbstständigen Rinnen anzubringen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



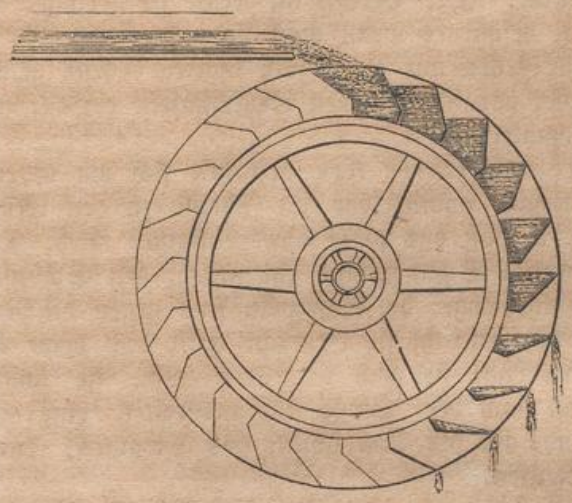
(Fig. 193.)

Fig. 193 stellt ein Kastenrad von Poncelet in der Seitenansicht mit der Hinterwand der Kasten dar. Wenn ao auf dem Durchmesser zi des Rades lothrecht steht, so ist wo die Höhe des Radkranzes, welche etwas weniger als den vierten Theil der Fallhöhe beträgt. Zeichnet man um a einen Kreis evu in einer Entfernung von $\frac{1}{7}$ oder $\frac{1}{8}$ der Höhe des Radkranzes (so daß vw = $\frac{1}{7}$ wo ist), ferner die Linie ok unter einem Winkel von 10 Graden zur ao (Winkel koa = 10°), welche in c die gezogene Kreislinie schneidet; so ist co der Radius für die Kreisbogen ro u. s. w., welche die Krümmung der Schaufeln in dem Radkasten angeben. Bei einem Raddurchmesser von 4 bis 5 Metern, oder etwa 15 Fuß, sind 36 bis 40 Schaufeln nothwendig. Der praktische Erfolg ist $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ des theoretischen.

Für diese Räder ist ein gegen den Horizont ziemlich geneigtes Gefälle von m nach x erforderlich. Um den Wasserzufluß von x aus genau zu reguliren, ist ein Schützenbrett s angebracht, wodurch x auch ganz geschlossen werden kann. In geringer Entfernung von dem tiefsten Punkte o des Rades fällt das Wasser in eine Vertiefung, so daß dann sein Niveau n unter dem Rande des Zuflußgerinnes liegt.

Nur wenn eine große Wassermenge mit bedeutender Geschwindigkeit zugebote steht, sind Räder mit offenen Schaufeln brauchbar.

Hat man wenig Wasser mit großem Gefälle, so wendet man oberschlächtige Wasserräder an. Es sind dieses Räder von 12 bis 18, ja bis 24 Fuß Durchmesser, je nach dem Gefälle des Wassers, welches aus einem Schußgerinne von oben in Zellen fällt, welche sich zwischen einem doppelten Radkranze befinden und eine nach der Wassermenge sich richtende Breite und Tiefe haben. Tiefe Zellen sind für eine bestimmte Wassermenge weniger wirksam als breite, weil das Wasser dort dem Mittelpunkte des Rades zu nahe angreift. Man nimmt daher die ganze Tiefe etwa nur 9 Zolle an. Die Zellen sind so einzurichten, daß das stoßende Wasser seine ganze Kraft äußere, daß es nicht sofort aus dem Kasten fließe, sondern noch möglichst lange auf der Vorderfläche des Rades durch sein Gewicht wirke, wie es Fig. 194 zeigt, und daß es auf der Rückseite nicht wieder mit hinaufgenommen werde. Am einfachsten werden diese Zwecke erreicht, wenn die Vorder-



(Fig. 194.)

wand der Kasten aus einer Stoßschaufel und einer unter einem Winkel von 120 Graden daran sich schließenden Riegelschaufel besteht, welche selbst nur $\frac{1}{3}$ der Breite des Radkranzes einnimmt. Von oben bis zur horizontalen Lage der Riegelschaufel sind die Kasten ganz gefüllt, von da beginnt das Ausfließen und ist bei 60 Grad Drehung beendet, weil die Stoßschaufel horizontal liegt. Bilden die Riegelschaufeln mit dem Radius des Rades einen Winkel von 30—60 Graden, so wird die Anzahl der Kasten vermehrt, um die Menge des wirksamen Wassers zu vermehren.

Am besten freilich würde eine angemessen gekrümmte Vorderwand sein, welche bei der Drehung des Rades dem Wasser immerfort solche neue Flächentheile darbietet, daß der Stoß möglichst lothrecht und in der Richtung der Tangente der betreffenden Stelle des Rades geschieht.

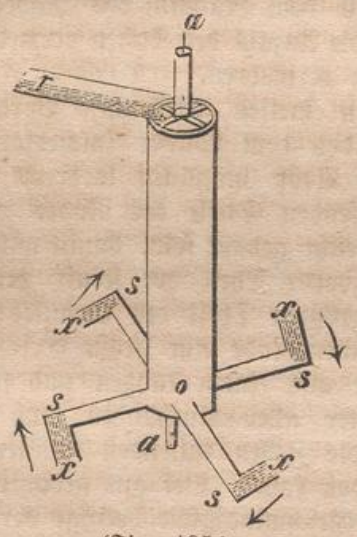
Das Rad selbst muß möglichst leicht gebaut sein, damit nicht schon auf die Drehung seiner Masse ein großer Theil der Kraft verbraucht werde, sein Durchmesser nimmt den größten Theil des Gefälles in Anspruch und nur, wenn man einem kleinen Rade eine große Geschwindigkeit geben will, läßt man das Wasser aus einem langen und stark geneigten Schußgerinne auffallen. Unter allen Umständen muß freilich die Geschwindigkeit des aus ihm in die Zellen fallenden Wassers nicht kleiner sein, als die des Rades werden soll. Bei gut gebauten oberschlächtigen Rädern mit nicht großer Geschwindigkeit beträgt der Erfolg $\frac{3}{4}$ von dem Produkte aus dem Gewichte des Wassers und seiner Fallhöhe.

Die mittelschlächtigen Räder drehen sich in einer entgegengesetzten Richtung gegen das ankommende Wasser, indem dasselbe in die Zellen vor der Radaxe höchstens in einer Höhe von $\frac{2}{3}$ des Raddurchmessers fällt; es kann aber auch in der Höhe der Radaxe oder tiefer eingeleitet werden. Man wendet sie an bei nur geringem Gefälle, wenn man nicht ein zu kleines und weniger wirksames Rad nehmen will. Weil das Schußgerinne nicht grade fortgeht, sondern eine Neigung nach der Biegung des Rades, einen Kropf erhält; so nennt man solche Räder

auch Kropf- oder Brusträder. Der Verlust an Kraft ist geringer als bei oberschlächtigen Rädern, besonders wenn man sie recht breit (bis zu 15 Fuß) nimmt; wobei die Zellen nur etwa zum vierten Theile gefüllt zu sein brauchen, das Wasser parallel mit den Setzschaufeln einfällt und lothrecht gegen die Kropfschaufeln stößt

Die Wasserräder mit lothrechter Axe befinden sich am unteren Ende der Axe, welche oberhalb unmittelbar die Steine zu den Mahlmühlen in Bewegung setzt, so daß das ganze Werk einfacher wird. Das über dem Rade herabkommende Schußgerinne hat unten, den Schaufeln gegenüber, eine fast horizontale Lage; die Schaufeln sind gegen die Radfläche so geneigt, daß der Wasserstrahl sie lothrecht trifft und beim Ablaufen wegen ihrer schiefen Lage sie nach vorwärts stößt, sie müssen aber, weil der Wasserstrahl nach dem Stoße sich ausbreitet, eine viermal so große Fläche haben, als der Querschnitt des Strahles, damit sie dessen ganzen Stoß erhalten.

Eine andere Art von Rädern mit lothrechter Axe sind die segnerschen, bei denen aber der Stoß des Wassers nicht von außen, sondern von innen ausgeübt wird und eigentlich ein einseitiger Druck ist.



(Fig. 195.)

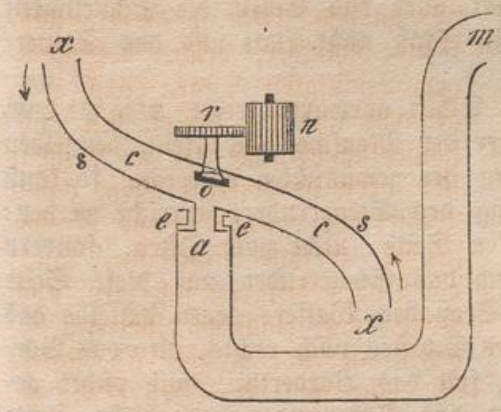
In Fig. 195 ist cc ein lothrechter Zylinder, welcher der nöthigen Leichtigkeit wegen aus Holz gemacht und um die an den Endflächen angebrachte Axe aa drehbar ist; oben ist derselbe offen, damit Wasser aus einem Gerinne r ohne großes Gefälle einströmen kann; am Boden befinden sich vier (auch wohl sechs) einander diametral gegenüberstehende Röhren os, welche alle eine nach derselben Seite gerichtete Seitenöffnung x besitzen. Das obere Ende der Axe kann unmittelbar oder mittelbar einen Mühlstein drehen.

Denken wir uns die Vorrichtung zunächst im Ruhezustande und mit Wasser gefüllt, so übt dasselbe auf die inneren Wände der Röhren einen Druck aus, welcher auf jede bestimmte Stelle, wie z. B. auf eine von der Größe der Seitenöffnung x, gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule, welche diese Stelle zur Grundfläche und die Entfernung ihres Schwerpunktes (Mittelpunktes) vom Niveau zur Höhe hat. Wären die Oeffnungen x alle geschlossen; so würde der Druck auf jede gleich sein dem Drucke des Wassers auf die ihr grade gegenüberliegende und ebensogroße Stelle. Da aber diese Drucke einander gradlinig entgegengesetzt und gleich sind, so heben sie einander auf und die ganze Vorrichtung würde in Ruhe bleiben,

wenn die Oeffnungen x verschlossen blieben. Kann aber das Wasser bei x ausströmen, so ist der Druck nach dieser Richtung verschwunden und nur noch nach der entgegengesetzten, also nach s hin geblieben, so daß die Röhren und der ganze Zylinder in der Richtung der Pfeile sich drehen müssen.

Wird das durch x ausfließende Wasser durch den Zufluß fortwährend ersetzt, so daß der Wasserstand im Zylinder unverändert bleibt, so geschieht die Drehung mit einer sich gleichbleibenden Kraft. Weil die Bewegung der des ausfließenden Strahles entgegengesetzt, also zurück geschieht, so nennt man diese Räder auch Reaktionsräder und die Bewegung eine Reaktionserscheinung, welche der Menschheit aber weniger schädlich ist, als die auf dem sozialen Gebiete; denn es werden hier Kräfte benutzt und nicht gehemmt.

Steht eine geringere Menge Wasser zur Verfügung, ist aber eine bedeutendere Druckhöhe oder ein bedeutendes Gefälle vorhanden, so gibt man dem Reaktionsrade eine andere Einrichtung und nennt es dann wohl eine Turbine.



(Fig. 196.)

Der sich drehende Wasserbehälter cc (Fig. 196) hat die Form eines S mit offenen Enden; auf seiner oberen Fläche trägt er in der Mitte bei o eine Axe mit einem gezahnten Rade r, dessen Zähne in die Welle n eingreifen, um dadurch den Mühlstein zu bewegen. Der S förmige Behälter empfängt das Wasser durch eine auf der unteren Fläche in der Mitte angebrachte kurze Röhre, welche wasserdicht in einer Hülse ee drehbar ist, und zu welcher das Druckwasser durch eine Zuleitungsröhre am geführt wird. Je höher das Niveau m der letzteren liegt, desto größer ist der nach oben gerichtete Druck auf das Wasser in cc, desto weniger also wird es durch sein Gewicht die um ee stattfindende Bewegung hemmen, dabei aber immer einen vermehrten Druck auf die Wände von cc ausüben. Daß auch hier die Drehung dem aus x fließenden Wasser entgegengesetzt, also nach s hin geschieht, wie es die Pfeile anzeigen, ist wohl selbstverständlich.

Weil bei diesen Rädern von dem zu benutzenden Wasser nichts verloren geht, wie es namentlich bei den unterschlächtigen der Fall war und weil die ganze Maschine sehr einfach gebaut ist, so ist das bewegende Moment derselben nicht unbedeutend und in gradem Verhältnisse abhängig von der Menge des Auffschlagewassers und seiner Fallhöhe.

Die Menge des ausfließenden Wassers ist hier nicht blos von der Druckhöhe abhängig, sondern wird noch vermehrt durch die Schwungkraft des Rades, welche bei einer bestimmten Umdrehungszeit von der Länge des Radius der Arme oder der Entfernung der Ausflußöffnung von der Axe abhängig ist

Die Reaktionserscheinungen werden bei Wasserkünsten zu äußerst hübschen Figuren verwendet, von welchen diejenigen am meisten Interesse erwecken, bei denen eine Menge sich drehender Strahlen durch anders gerichtete und entgegengesetzt sich bewegende durchkreuzt werden.

Der Stoß flüssiger Körper gegen feste ist endlich noch praktisch wichtig bei den Steuerrudern an Schiffen. Sie haben den Zweck, die Längenaxe des Schiffes in einer bestimmten Lage zu erhalten oder ihr eine bestimmte Lage zu geben, z. B. auf dem Meere lothrecht oder ziemlich lothrecht auf die Richtung der Wellen. Bewegt sich das Wasser gegen das Schiff, wie wenn man in einem Flusse stromaufwärts fährt; so stößt das Wasser gegen das Fahrzeug; fährt man in ruhendem Wasser, so stößt das Schiff gegen das Wasser. In beiden Fällen haben Wasser und Fahrzeug eine verschiedene Geschwindigkeit und nur dann wird ein Stoß ausgeübt; hat aber das Schiff die Schnelligkeit der Wasserströmung, so findet ein Stoß nicht statt und das Steuerruder ist ohne alle Wirkung.

Wenn die Kraft, welche das Schiff vorwärts treibt, mag es nun die des Windes, des Dampfes oder der Menschenhände sein, demselben eine Richtung gibt, die etwas von der gewünschten abweicht, so kann letztere durch die richtige Stellung des Steuerruders erreicht werden: will ich z. B. mehr nach der linken Seite (nicht nach Osten, sondern nach Nordosten), so muß ich auch das Steuerruder auf diese Seite legen, damit durch den schiefen Stoß des Wassers gegen dasselbe das mit ihm verbundene Hintertheil des Schiffes nach rechts, also das Vordertheil nach links gerichtet werde; soll das Vordertheil nach rechts gerichtet werden, so muß man auch das Steuerruder nach dieser Seite richten.

In den Flüssen bewirkt der Stoß des Wassers gegen die mehr oder weniger lose d liegenden Steine, daß dieselben im Flußbette fortgerollt und dadurch an den Kanten abgerundet werden, wodurch der Sand entsteht. Solche Steine heißen Rollsteine. Aus der Größe und Lage der vom Wasser gestoßenen Oberfläche des Steines und aus der Geschwindigkeit und dem spezifischen Gewichte des Wassers läßt sich bestimmen, wie große Steine das Wasser bei einer gewissen Geschwindigsoeben in Bewegung setzt und welche Geschwindigkeit es ihnen gibt.

Nach Versuchen widersteht feiner Sand einer Geschwindigkeit des Wassers von 6 Zollen, gröberer und eckiger einer von 8 Zollen, solcher von 3,5 pariser Linien Durchmesser grade noch einer von 1 Fuß, die Steine von 1 Zoll Durchmesser einer von 3 Fuß u s. w. Das Wasser

im Bagnithale vermochte bei 25 Fuß Geschwindigkeit eine Steinmasse von fast 25 Fuß Durchmesser fortzuwälzen. Die Meereswogen schleudern bei Stürmen Felsblöcke von mehren Tonnen Gewicht ans Ufer. Durch die an den Meeresufern ewig hin- und hergehenden Wellen werden alle Steine rund abgeschliffen, je nach ihrer Grundform zu Kugeln, zu Zylindern mit abgerundeten Enden, zu runden Scheiben u. s. w. Der Sand am Meeresstrande ist ein Erzeugniß dieser Reibung, der die härtesten Steine natürlich am längsten widerstehen.

Auch der Stoß luftiger Körper gegen feste und umgekehrt ist häufig vorhanden und wird vielfach benutzt. Wie ungeheuer die Kraft des Stoßes der atmosphärischen Luft ist, erkennen wir bei Stürmen, welche im Stande sind, Dächer abzudecken und weit sie fortzuführen, die stärksten Bäume zu entwurzeln oder umzubrechen und ganze Häuser umzustürzen. Praktisch wird der Stoß der Luft auf feste Körper namentlich zunächst bei den Windmühlen benutzt, welche bereits im Anfange des zwölften Jahrhunderts in Frankreich angewendet wurden. Anfänglich hatte man nur Bockmühlen, welche auf einem hölzernen Gestelle, dem Bocke, um einen Zapfen drehbar sind; aber um das Jahr 1650 bauten die Holländer festere Windmühlen auf einem vielseitigen oder runden Gebäude aus Mauersteinen, welches oben einen Kranz hat, um in ihm die Mühle nach dem Winde zu drehen. Weil der Wind sehr häufig nicht horizontal, sondern abwärts weht, ist die etwa 10 Fuß lange Flügelwelle gegen den Horizont so geneigt, daß das hintere Ende etwa 16 bis 20 Zolle tiefer liegt, als das vordere; an der Welle befinden sich meistens 4, höchstens 6 Arme oder Windruthen von etwa 40 Fuß Länge (höchstens 70 Fuß); durch die Windruthen gehen Sprossen, welche nach der Seite der Umdrehung höchstens 1 Fuß, auf der entgegensetzten aber zunehmend von 4 bis 6 Fuß vorstehen. Die Sprossenlöcher, also auch die Sprossen liegen nicht in einer graden Richtung, sondern in einer gewundenen Linie, welche ungefähr den zwölften Theil eines Schraubenganges bildet, so daß die Winkel, die sie mit einer durch die Flügelaxe lothrecht gelegten Ebene machen, von der Welle an zunehmend größer werden. Die Sprossen sind auf der kurzen Seite mit sogenannten Windbrettern bedeckt und stecken der Festigkeit wegen auf der langen Seite in einem gemeinschaftlichen Rahmen, dessen Felder man entweder mit einzelnen leichten Scheiben aus dünnen Holzspließen oder, was besser ist, mit Leinen oder Segeltuch überspannt.

Nach der angegebenen Einrichtung liegen die Flächentheile eines Flügels nicht in einer Ebene. Wäre dieses der Fall und bildete dieselbe gegen den Wind einen bestimmten Winkel von etwa 45 Graden, so würden bei einer gewissen Geschwindigkeit des Windes nicht alle Theile dieser Ebene dem Stoße mit gleicher Geschwindigkeit ausweichen; sondern die entfernteren bei ihrer größeren Geschwindigkeit eher, als die der Axe näheren, so daß jene unter Umständen sogar schneller ausweichen wür-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den, als der Wind sie zu stoßen im Stande wäre, wodurch ein die Bewegung hindernder Erfolg erzeugt würde. Nimmt aber die Neigung der Fläche der Flügel von der Axe an nach den Enden gegen den Wind allmählig ab, so werden auch die entfernteren Theile ungeachtet ihrer größeren Geschwindigkeit ebenso stark gestoßen, als die näheren, wodurch der Nutzerfolg um etwa ein Drittel vergrößert wird.

Daß Windmühlen auch zur Herstellung von Pumpen für Ent- und Bewässerungen von Ländereien angewendet werden und vielleicht noch nicht oft genug, wollen wir nur nebenbei erwähnen.

Wenn eine kleine Welle um ein Stäbchen drehbar ist und man steckt die kurzen steifen Schwungfedern eines Entenflügels schräge ringsum auf sie; so ist dies eine Nachahmung der Windmühle. Steckt man eine zweite Reihe so auf eine zweite Welle daneben, daß die Drehung entgegengesetzt geschieht, so gibt dies mit bunten Federn ein nettes Spielzeug.

Bei dem Stoße des Windes auf die Segel eines Schiffes ist es noch wichtig, daß die Luft in dem Segel aufgefangen und dadurch etwas verdichtet werde, wodurch der Erfolg gesteigert wird. Man muß dabei allerdings theils durch die Lage, theils durch die Gestalt des Segels auch dafür sorgen, daß die Luft, nachdem sie ihre bewegende Kraft abgegeben, ohne Nachtheil abfließen könne. Daher die mannigfaltige Form und Stellung der Segel auf den großen Seeschiffen. Je mehr Segelfläche senkrecht zum Schiffskiele gestellt ist, desto mehr wird die Kraft des Windes benutzt. Beim Laviren bestrebt man sich nach der Weltgegend zu segeln, aus welcher der Wind weht, indem man im Zickzack, also abwechselnd nach rechts und nach links von der Richtungslinie fährt und dabei den schiefen Stoß des Windes benutzt.

Auch durch Luftpumpen zusammengepreßte Luft wird als stoßende Kraft angewendet, nämlich bei den Windbüchsen, welche im 15ten Jahrhunderte in Deutschland erfunden worden, gegenwärtig aber nur noch wenig gebraucht werden, theils weil ihre Anwendung nicht ganz gefahrlos ist, theils weil sie durch die wirksameren Feuerwaffen verdrängt worden sind. Sie wurden von den Schweizern im Kriege gegen Napoleon häufig gebraucht und von diesem ihre Anwendung als dem Völkerrechte zuwider erklärt. Ihr Knall ist nur unbedeutend und läßt den Schützen oft nicht leicht entdecken. Ein Nürnberger Künstler Kelner hatte für den König Friedrich August von Polen sogar eine Art Windkanone angefertigt, welche Kugeln von 4 Pfund Gewicht mit solcher Gewalt schoß, daß sie auf 400 Schritte Entfernung zweizöllige Bretter durchbohrten. M. F. Wild lud den Kolben einer guten Windbüchse so lange, bis das Ventil desselben sich nicht mehr öffnen wollte Nach dem durch sehr genaues Abwägen der eingeschlossenen Luft bestimmten Inhalte betrug die Verdichtung ungefähr 36 Atmosphären, also der Druck auf einen Quadrotzoll gegen $36 . 15 = 540$ Pfunde. Eine 4,5 Linien

im Durchmesser haltende Kugel drang aus einem Laufe von 34 Zoll Länge beim vierten Schusse noch durch ein einzölliges Tannenbrett in einer Entfernung von 120 Fuß, und beim fünften Schusse drang die Kugel auf 228 Fuß Entfernung noch ¾ Zolle tief ein.

Beim Laden stellt sich übrigens heraus, daß mit zunehmender Verdichtung in dem Rezipienten immer mehr von der hineinzupressenden Luft entweicht. Im Allgemeinen wird kaum eine stärkere, als die 100fache Verdichtung erreicht, die Wirkungen sind aber stets größer, als die durch Pulvergase erzeugten, wenn man sie auf die durch Rechnung gefundenen Erfolge bezieht. Ein Maß Schießpulver gibt nämlich etwa 370 Maß Gase von 0 Grad Temperatur bei einem mittleren Barometerstande. Da dieselben aber bei ihrer Entwickelung eine Temperatur von 800 Graden haben (wodurch auch das Schwefelkalium in Gas verwandelt worden ist) und dadurch zu dem 4fachen Raume ausgedehnt werden, so beträgt die Druckkraft 1480 Atmosphären, welche durch andere Mittel nicht zu erreichen ist. Daß aber die auf das Geschoß wirkende stoßende Kraft diesem Verhältnisse nicht entspricht, liegt darin, daß das Pulver gegen die zusammengedrückte Luft der Windbüchse und ebenso gegen die aus ihm entwickelten Gase einen verhältnißmäßig sehr kleinen Raum einnimmt, daß jene Luft der Windbüchse bereits in dem Zustande ist, in welchem sie die Kugel mit einer gewissen Kraft forttreibt, daß die Gase aber sich erst entwickeln und mit Raumerweiterung, also Kraftverminderung stoßen, daß letztere hierbei einen großen Theil ihrer Wärme an das Metall abgeben, wodurch das Schwefelkalium seine Spannkraft verliert und mit dem in eine schmierige Masse verwandelten Gase den Lauf beschmutzt.

Weil bei der Windbüchse vor und hinter dem Geschosse, nämlich im Laufe dicht hinter und unmittelbar vor ihm während des Abschießens verdichtete Luft vorhanden ist, so kann ein Knall nicht entstehen, wie beim Feuergewehre, da sich hier durch die Abkühlung der Pulvergase ein sehr stark luftverdünnter Raum gebildet hat, in welchen die umgebende atmosphärische Luft mit Heftigkeit stürzt und so sich schlägt, daß ein Knall entsteht.

Beim Feuergewehre zeigt sich noch die unter dem Namen Rückschlag bekannte Erscheinung, indem nämlich das Feuerrohr der Büchse oder Kanone eine rückgängige Bewegung gegen die des Geschosses macht. Während das Geschoß sich noch im Laufe bewegt, hebt der Druck des Gases auf eine Stelle desselben den auf die ebensogroße entgegengesetzte auf. Dem Drucke nach hinten auf den Verschluß des Rohres ist der nach vorn entgegengesetzt; jener aber ist so lange unwirksam, wie lange das Geschoß durch diesen im Laufe vorwärts getrieben wird. Sowie aber das Geschoß den Lauf verlassen hat, tritt die einseitige Wirkung von jenem, also der Stoß nach hinten zur Wirksamkeit hervor. Dieser Rückschlag ist bei Kanonen oft sehr bedeutend und es ist nothwendig,

auf ihn Rücksicht zu nehmen, wenn die Laffetten, wie auf Schiffen, einen beschränkten Raum angewiesen erhalten haben.

Den Windbüchsen ähnlich in der Art der Einwirkung der Luft auf einen festen Körper sind die Bolzenbüchsen mit einem Blasebalge. In dem Kolben des Gewehres ist nämlich ein kleiner Blasebalg, welcher durch eine starke Feder plötzlich zusammengedrückt werden kann. Hat man denselben durch eine Hebelvorrichtung aufgezogen, so daß er mit Luft erfüllt ist; so wird beim Abschießen die Feder den Blasebalg schnell zusammen und die Luft augenblicklich aus ihm pressen, so daß sie auf das vor ihr liegende Geschoß, einer zugespitzten Zwecke, deren Kopf mit Haaren oder Fäden dicht umgeben ist, einen einzelnen Stoß ausübt. Da beim Vorwärtsgehen der Zwecke in dem sehr gut polirten metallenen Laufe die Luft sich mehr und mehr ausdehnen kann, so wird die stoßende Kraft derselben nach der Mündung hin abnehmen, die Geschwindigkeit der Zwecke aber bis dahin zunehmen, wenn von der Reibung abgesehen werden kann, weil eine Kraft fortwährend auf sie in der Bewegungsrichtung einwirkt. — Anders ist es, wenn die Zwecke oder der Bolzen durch eine elastische Feder gestoßen wird, weil hier die Kraft nur in einem Augenblicke wirkt und dann zu wirken aufhört.

Eine verhältnißmäßig noch größere Wirksamkeit des Luftstoßes zeigt sich bei dem sogen. Bläserohre. Es ist dieses ein etwa 6 Fuß langes hölzernes, recht grades zylinderförmiges Rohr, dessen innere Weite etwa 3 Linien beträgt. Man steckt an dem einen Ende in die Mündung eine Thonkugel oder eine Zwecke, deren Kopf mit zusammengeballtem Zeuge so stark umhüllt ist, daß sie grade noch ohne große Reibung durch das glatte Rohr getrieben werden kann, wenn man mit dem Munde stark darauf bläst, indem die betreffende Mündung durch den Mund geschlossen wird. Auf diese Weise erhält das Geschoß eine so große Geschwindigkeit, daß man kleine Vögel und andere Thiere (Mäuse, Ratten) auf ziemliche Entfernungen wohl noch tödten kann. Diese Geschwindigkeit aber wird nicht dadurch erreicht, daß man durch die Brustmuskeln die Luft in einen für diese Wirkung einer nur einen Augenblick thätigen Kraft entsprechenden Dichtigkeitszustand versetzt; sondern daß das Geschoß, wie lange es im Laufe ist, von fortwährend in ziemlich gleichem Grade verdichteter Luft getrieben und somit an der Mündung stärker gestoßen ankommt, als wenn die nur augenblicklich in den Lauf gebrachte verdichtete Luft sich hinter dem Geschosse ausdehnen kann. Nehmen wir an, daß wir, was unmöglich ist, im Stande wären, die Luft mit dem Munde auf das Doppelte ihrer Dichtigkeit zu bringen, so würde ohne Berücksichtigung der Reibung die Anfangsgeschwindigkeit des die Mündung des Blaserohres verlassenden Geschosses gegen 73 Fuß sein; daß sie aber in Wirklichkeit viel größer ist, ergibt sich daraus, daß sich dasselbe am Ende der Sekunde noch lange nicht um 15 Fuß zur

Erde gesenkt hat, sondern daß es sein gradlinig ihm gegenüberstehendes Ziel mit ziemlicher Sicherheit trifft.

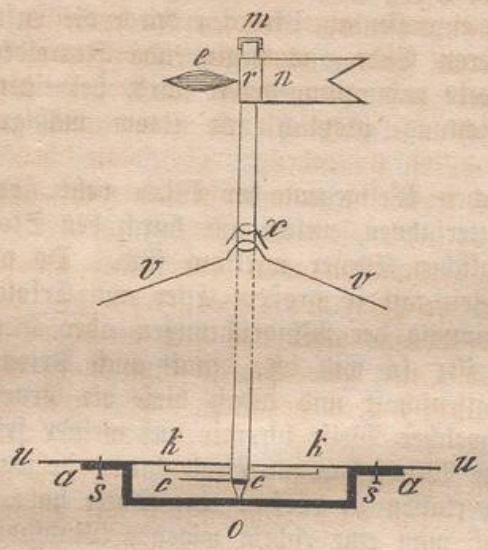
Bei der meistens nur als Spielzeug angewendeten Knallbüchse wird ein in ein Zylinderrohr gut einpassender Pfropfen durch die Luft, welche durch das von dem anderen Ende aus beginnende Eintreiben eines luftdicht einpassenden Stempels zusammengedrückt wird, bei einem hinreichenden Grade ihrer Verdichtung plötzlich mit einem mäßigen Knalle herausgestoßen.

Um zu bestimmen, aus welcher Weltgegend der Wind weht, hat man die Windfahnen oder Wetterfahnen, welche nur durch den Stoß der Luft auf einen festen beweglichen Körper wirksam sind. Da die Witterungskunde in der neueren Zeit mit so großem Eifer und Erfolge ausgebildet worden ist, die Bestimmung der Windrichtungen aber hierfür eine sehr wichtige Bedingung ist; so will ich, damit auch Privatleute durch Beobachtungen die Wissenschaft und durch diese die Praxis unterstützen können, angeben, in welcher Weise ich mir auf meiner früheren meteorologischen Station eine Windfahne zur Beobachtung in jeder beliebigen Zeit, ohne die Stube verlassen zu dürfen, eingerichtet habe.

Zunächst ist zu bemerken, daß man eine richtig zeigende Windfahne nur entweder auf einem einzelnen ganz freistehenden oder auf einem Hause, was die benachbarten überragt, anbringen darf, denn stößt sich der Wind an einem anderen höheren Gegenstande der Nachbarschaft, so bildet sich ein rückwärts und seitwärts gehender Wirbel, durch welchen die Fahne manchmal, ohne daß sich die Windrichtung ändert, ringsum gedreht wird.

Ferner muß sich die auf dem Horizonte lothrecht stehende Fahne sehr leicht bewegen lassen, damit auch ein leiser Wind sie nach seiner Richtung einstelle, was der Fall ist, wenn die beiden parallelen Fahnenflächen mit der Richtung des Windes auch parallel sind. Um diesen Zweck zu erreichen, muß die Fahne zwar ziemlich groß sein, damit ein schiefer Stoß auch eines leisen Windes sie einstelle, aber auch dabei möglichst leicht, also von nicht starkem Metallbleche. Sodann muß sie möglichst leicht drehbar sein um die Axe einer lothrechten Spindel, mag sie nun allein um die feste Spindel, oder an diese befestigt mit ihr sich drehen. Die Drehung würde aber durch vermehrte Reibung erschwert, wenn die Spindelaxe nicht den Schwerpunkt der Fahne enthielte. Es ist daher ganz unangemessen, wenn man eine bloße Fahne an der einen Seite der Spindel anbringt, weil dann ihr Schwerpunkt außerhalb der Axe liegt, die Fahne stets die Neigung hat, sich auf die eine Seite zu senken und auf dieser Seite eine starke Reibung zu erzeugen, wodurch ihre Beweglichkeit sehr vermindert wird. Man muß demnach ein die Fahne genau balancirendes Gegengewicht anbringen, es aber so einrichten, daß es dem Winde möglichst wenig Fläche für den Stoß darbietet, denn sonst würde die durch den Wind zu bewirkende Drehung

der Fahne durch die auf das Gegengewicht wirkende Kraft, welche die entgegengesetzte Drehung bewirken will, geschwächt.



(Fig. 197.)

In Fig. 197 stellt mo eine Spindel aus Rundeisen dar, welche über das Dach vv mehre Fuße hervorragt und genau lothrecht durch die Decken uu und kk u. dergl. geht. Oben bei r und unten bei c ist sie vierkantig gearbeitet; oben trägt sie die auf das vierkantige Stück aufgeschobene und mit einer Schraube m versicherte Fahne n, welche durch das Gegengewicht e genau balancirt ist. Letzteres besteht aus zwei in der Mitte etwas ausgetriebenen, horizontal liegenden und mit Blei ausgegossenen Metallplatten, deren Ränder zu einer scharfen Kante zusammengelöthet worden waren. Der unterste Theil der Spindel lauft in eine flache, gehärtete und polirte Spitze aus, welche auf einer ähnlichen Vertiefung o in einem eisernen Träger aoa ruht. Der Träger läßt ein Oblongum offen, nachdem seine Lappen durch zwei Holzschrauben ss an die Decke befestigt worden sind. Auf den vierkantigen Theil der Spindel über der Spitze ist ein Zeiger cc, der Fahne n grade gegenüber, aufgesteckt, welcher durch einen kleinen Stift gehalten wird und seine Spitze genau in der Ebene der Fahne hat. Endlich ist an der Decke in dem freien Raume des Trägers eine kreisrunde Scheibe kk von dünnem Bleche oder von Pappe mittelst einiger Stifte so befestigt, daß ihr Mittelpunkt in der Axe der Spindel liegt. Sie trägt an ihrem Umfange die durch einzelne deutliche Buchstaben bezeichneten Haupt- und Nebenweltgegenden, ist also eine sogenannte Windrose.

Damit an der Spindel herab nicht Nässe in das Haus dringe, hat die obere Oeffnung des Daches vv einen kurzen abgestumpften Hohlkegel, durch welchen die Spindel frei geht und darüber ist an der Spindel ein etwas überragendes Schirmdächelchen angelöthet, wie es bei x angedeutet ist.

Die lothrechte Lage der Spindel, welche unter Umständen auch aus gut getrocknetem und gefirnißtem Holze mit metallenen Endstücken gemacht sein kann, muß durch genaue Ablothung mittelst eines Kegellothes erreicht werden. Schwieriger ist es, die Windrose so zu befestigen, daß

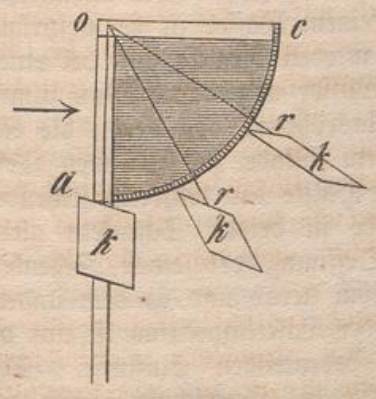
ihre Nordsüdlinie auch genau im astronomischen Meridiane liegt. Zu diesem Zwecke wird man sich nach dem Polarsterne richten können. Man lothet so, daß der Polarstern, der Mittelpunkt der Windrose und das Loth in derselben Ebene liegen und läßt dann einen Gehilfen die Windrose so richten, daß man beim Visiren auch die Nordsüdlinie derselben in dieser Ebene liegen findet und dann darf sie nur in dieser Lage an die Decke befestigt werden. Oefters ist es nothwendig, von dem einen Zimmer nach einem andern zu lothen, wobei man aber gut thun wird, zurückzulothen, um zu sehen, ob man nicht etwa einen Fehler gemacht hat.

Ist man im Besitze einer Deklinationsnadel oder einer Boussole und weiß man die magnetische Abweichung des Ortes, d. h. den Winkel, um welchen der Nordpol der Magnetnadel von dem astronomischen Meridiane nach Westen oder nach Osten abweicht; so kann man, wenn alles Eisenzeug in der Stube gehörig fern gehalten wird, auch zum Ziele gelangen.

Hat man die Fahne an einer feststehenden Spindel, so kann man an letzterer in einer horizontalen Ebene vier rechtwinklich auf einander stehende Stäbe anbringen, welche die vier Hauptweltgegenden anzeigen.

Da die Fahne vom Winde immer dorthin gestellt wird, wohin derselbe weht, die Bezeichnung der Windrichtung aber nach der Weltgegend geschieht, aus welcher er kommt; so war es angemessen, den Zeiger der Fahne entgegengesetzt an der Spindel anzubringen, denn man hat durch ihn auf diese Weise unmittelbar die verlangte Windrichtung. Wenn der Wind einen Wirbel macht, so stellt sich die Fahne in die Richtung der Tangente des Beobachtungsortes.

Man hat auch eine Vorrichtung, um aus dem Stoße des Windes auf eine Fläche von bestimmter Größe seine Stärke oder Geschwindigkeit zu bestimmen; dies ist der Windmesser, Anemometer.



(Fig. 198.)

Eine ganz einfache Vorrichtung zu diesem Zwecke würde folgende sein. In Fig. 198 ist oac eine Windfahne in der Form eines Kreisquadranten, von welchem der eine Radius lothrecht, der andere horizontal und dessen Bogen von dem tiefsten Punkte a an in Grade getheilt ist. In dem Mittelpunkte o ist eine leicht drehbare Gabel angebracht, deren beide Theile or zu beiden Seiten des Quadranten lose herabgehen und unten eine auf der Windfahne lothrecht stehende Scheibe von 1 Quadratfuß Flächeninhalt tragen.

Ein horizontal wehender Wind stellt den Quadranten zunächst in seine Richtung und dann stößt er lothrecht auf die herabhängende Scheibe. Je schneller nun der Wind geht, desto kräftiger ist sein Stoß und desto höher muß die Scheibe k von ihm gehoben werden. Die horizontale Lage der Gabel würde für einen bestimmten Windmesser die größte Stärke des Windes angeben; da aber dieselbe um so eher erreicht wird, je leichter die Scheibe k ist, so darf man sie nicht so leicht nehmen, daß schon ein mäßiger Wind sie horizontal stellt, sondern so schwer, daß nur ein heftiger Sturm dieses thut, während ein mäßiger Wind sie nur wenig heben wird.

Damit bei Windstößen die Scheibe nicht über c hinausgeschleudert werde, ragt dort der als Radius betrachtete Stab etwas hervor und damit man, auch ohne zugegen gewesen zu sein, weiß, welches die größte Höhe der Scheibe gewesen ist, bringt man am Rande des Quadranten kleine Zähne an und versieht die Scheibe mit einem leichten Sperrhaken, welcher in diese Zähne eingreift und nach der Beobachtung mittelst einer Schnur wieder ausgelöst werden kann.

Man kann den Stoß des Windes auf die Scheibe leicht in Pfunden ausgedrückt erhalten, wenn man vorher durch Versuche ermittelt hat, wie viele Pfunde erforderlich gewesen sind, um die Scheibe auf eine gewisse Anzahl von Graden zu heben und schwebend zu erhalten. Mit Benutzung des Gewichtes der stoßenden Luft läßt sich dann ihre Geschwindigkeit finden; denn die Größe des Druckes steht mit dem Quadrate der Geschwindigkeit in gradem Verhältnisse.

Eine sinnreiche und im Ganzen sehr zuverlässige Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Windes besteht darin, daß man denselben auf tropfbare Flüssigkeiten stoßen läßt, aber nicht auf Wasser, sondern auf verdünnte und mit etwas Karmin gefärbte Schwefelsäure von 1,05 spezifischem Gewichte, weil jenes bei höherer Temperatur zu leicht verdunstet, diese aber viel weniger, so daß sie nur bei anhaltender Trockenheit durch Nachfüllen von etwas reinem Wasser in der ursprünglichen Menge und Dichtigkeit erhalten zu werden braucht und bei einem hohen Feuchtigkeitszustande der Luft kein Wasser annimmt. Man nimmt zu diesem Zwecke zwei kommunizirende Glasröhren, von denen die eine oben ein drehbares Knie mit der nach dem Winde zu stellenden Oeffnung hat und füllt die Flüssigkeit bis zur Hälfte der lothrecht stehenden Röhren ein. Bei Windstille steht dieselbe in beiden Schenkeln gleich hoch und je stärker der Wind auf die Oeffnung des einen Schenkels stößt, desto mehr wird die Flüssigkeit in ihm herab und in dem andern heraufgedrückt. Der Einfluß der wechselnden Lufttemperatur ist auf die Länge der Flüssigkeitssäule von keinem bedeutenden Einflusse. Der Unterschied der Höhe der Säulen, die Größe des Querschnittes und das spezifische Gewicht der Flüssigkeit geben dann den Druck des Windes auf

einen Quadratfuß in Gewichtseinheiten, woraus dann die Geschwindigkeit des Windes ermittelt wird.

Die folgende Tabelle enthält die zu gewissen Höhen der Flüssigkeit gehörigen Drucke auf einen Quadratfuß ausgedrückt in Pfunden und die Geschwindigkeiten des Windes, welche jenen Höhenstand erzeugen, ausgedrückt in pariser Fußen.

Höhe der Säule	Druck auf 1 □ Fuß	Geschw. des Windes	Höhe der Säule	Druck auf 1 □ Fuß	Geschw. des Windes	Höhe der Säule	Druck auf 1 □ Fuß	Geschw. des Windes
1‴	0,53℔.	18,35′	2″ 1‴	13,29℔.	91,75′	5″ 2‴	32,96℔.	144,5′
2	1,06	25,95	2 2	13,82	93,57	5 4	34,02	146,8
3	1,59	31,78	2 3	14,35	95,36	5 6	35,08	149,1
4	2,13	37,56	2 4	14,88	97,11	5 8	36,15	151,3
5	2,66	41,04	2 5	15,42	98,83	5 10	37,21	153,5
6	3,19	44,95	2 6	15,95	100,5	6 0	38,27	155,7
7	3,72	48,55	2 7	16,48	102,1	6 4	40,40	160,0
8	4,25	52,51	2 8	17,10	103,8	6 8	42,53	164,1
9	4,78	55,05	2 9	17,54	105,4	7 0	44,65	168,2
10	5,32	58,17	2 10	18,07	107,0	7 4	46,78	172,1
11	5,85	60,86	2 11	18,60	108,5	7 8	48,90	176,0
1″ 0‴	6,38	63,57	3″ 0	19,14	110,1	8 0	51,03	179,8
1 1	6,91	66,17	3 2	20,20	113,1	8 4	53,16	183,5
2	7,44	68,66	3 4	21,26	115,9	8 8	55,29	187,2
3	7,97	71,07	3 6	22,33	118,9	9 0	57,41	190,7
4	8,50	73,40	3 8	23,39	121,7	9 4	59,54	194,2
5	9,04	75,66	3 10	24,45	124,4	9 8	61,66	197,6
6	9,57	77,86	4″ 0	25,52	127,1	10 0	63,79	201,0
7	10,10	80,00	4 2	26,58	129,8	10 4	65,92	204,3
8	10,63	82,07	4 4	27,64	132,3	10 8	68,04	207,6
9	11,16	84,10	4 6	28,71	134,8	11 0	70,17	210,8
10	11,69	86,11	4 8	29,77	137,3	11 4	71,30	214,0
11	12,23	88,01	4 10	30,83	139,7	11 8	74,42	217,1
2″ 0‴	12,76	89,90	5 0	31,89	141,1			

Es sind noch viele andere Vorschläge zu Vorrichtungen für die Bestimmung der Geschwindigkeit des Windes gemacht worden, welche wir aber übergehen, theils weil sie zu sehr zusammengesetzt sind, theils auch zu nicht ganz genauen Resultaten führen. Es wäre übrigens ganz einfach, die Geschwindigkeit der Luftströmungen unmittelbar zu bestimmen, wenn sich zwei Beobachter mit genau übereinstimmenden Terzienuhren in einer gemessenen Entfernung so aufstellten, daß ein von dem einen losgelassener ganz leichter Gegenstand, wie eine Flaumfeder oder der Samenträger einer Distelpflanze, durch die Luft zu dem anderen getragen würde. Brauchte z. B. der Gegenstand 5 Sekunden, um den Weg von 500 Fuß zurückzulegen, so wäre die Geschwindigkeit 100 Fuß. Man muß natürlich eine größere Reihe von Beobachtungen anstellen,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

aus denen das Mittel zu nehmen ist, um die unvermeidlichen Beobachtungsfehler so viel als möglich unschädlich zu machen.

Sehr interessant sind noch die Erscheinungen des Stoßes luftiger Körper auf recht elastische feste, wodurch letztere unter Umständen zum Tönen gebracht werden können, wie es uns die Aeolsharfe und die hölzernen Telegraphenstangen zeigen. Es erscheint aber angemessener, diese Wirkungen des Stoßes bis zu den Untersuchungen von den Tönen aufzuschieben.

Der Stoß fester Körper auf luftige bedingt das aktive Fliegen. Wenn wir das lustige Volk der Vögel, die buntgeflügelten Schmetterlinge und die zahllosen Schaaren von anderen Insekten die Luft durcheilen sehen, ja, wenn auch Säugethiere zum Theil auf die Dauer und sogar Fische zeitweise die Luft durchfliegen; so ist es kein Wunder, wenn uns der Traum, dieser muthwillige Affe der Phantasie, das Vergnügen des Fliegens vorspiegelt, wenn wir im Traume fliegend uns über das irdische Getreibe erheben und in höheren Regionen schwebend uns ein beseligendes Gefühl belebt, und wenn es seit Dädalus, welcher nach der Sage mit seinem Sohne Ikarus dem Minos aus Kreta übers Meer zu entfliegen suchte, nicht Wenige gegeben hat, die es sich angelegen sein ließen, Vorrichtungen zum Fliegen für die Menschen zu erfinden. Und in der That scheint es mir, daß die neuere in der Mechanik so weit fortgeschrittene Zeit unrecht gethan hat, dieses Thema nicht weiter zu verfolgen, welches auch der so sehr praktische Blick von dem berühmten Benjamin Franklin für lösbar erklärt hat. Auch der bereits 1292 verstorbene Roger Baco meinte, daß es nicht schwer sein könne, eine Maschine zu bauen, durch welche ein Mensch wie ein Vogel in der Luft sich erheben könne und schon Archytas von Tarent soll eine hölzerne Taube durch einen eingeschlossenen Hauch (aura spiritus inclusa) und eine mechanische Kraft gewissermaßen belebt haben. Wir wollen aber, ehe wir zu späteren und uns genauer bekannten Versuchen zum Fliegen übergehen, einige allgemeine Betrachtungen über dieses in seiner theoretischen Entwickelung allerdings nicht leichte Thema anführen.

Es gibt sehr schwerfällig gebaute Vögel, welche dessenungeachtet und bei verhältnißmäßig gar nicht großen Flügeln ganz gut fliegen können. Es müssen also die zum Fliegen nöthigen Eigenschaften bei allen vorhanden sein. Dahin gehört, daß der ganze Körperbau nach vorn spitz ist, daß die Flügel bei der Vorwärtsbewegung durch ihre Kante der Luft nur einen geringen Widerstand darbieten, daß der Schwerpunkt des Körpers auf der unteren Seite liegt, daß etwa $\frac{1}{8}$ des Volumens aus Höhlungen, welche Luft enthalten, besteht, daß auch die Knochen nur dünne Wandungen besitzen ohne Mark einzuschließen, daß die lufthaltigen Lungen oben am Rücken angewachsen sind und daß ihre Federbekleidung sowohl im Innern, als auch zwischen sich eine Menge Luft enthält. Da die Körperwärme der Vögel die der Menschen noch übertrifft, so ist

natürlich die eingeschlossene Luft leichter, als die äußere umgebende; aber alle diese Umstände sind vollkommen unzureichend, den Vogel ohne Flügelschlag in der Luft auf die Dauer schwebend zu erhalten und daß er auch während des Fliegens nicht etwa durch besondere Vorrichtungen sich wesentlich leichter machen kann, als er eben nach diesen Umständen ist, erkennen wir an dem sofortigen Herabfallen eines tödtlich geschossenen Vogels. Es ist also einzig der Flügelschlag, durch welchen der Vogel fliegt: je größer das Gewicht seines Körpers nnd je kleiner und schmaler seine Flügel sind, desto öfterer und heftiger muß er mit den Flügeln schlagen. Manche Vögel, wie die Sperlinge, Rebhühner u. a. müssen so schnell schlagen, daß durch diese Schläge ein Ton von gewisser Höhe entsteht. Der Winkel, welchen die beiden Flügel mit der graden Verbindungslinie ihrer Wurzeln machen, kann 180 Grade nicht ganz erreichen, wenn auch manche Vögel, wie die Tauben, mit ihren Flügeln zusammenschlagen. In je kürzerer Zeit sie einen gewissen Bogen und je mehr Schläge sie in einer gewissen Zeit machen und je größer die Flügel sind, desto kräftiger ist der Flug. Scharf begränzte, glatte Federn und spitz zulaufende dünne Flügel, wie sie die Schwalben und Möven besitzen, begünstigen einen raschen; flaumbedeckte rauhe Federn und breite runde Flügel, wie sie die Eulen besitzen, erzeugen einen leisen Flug. Bei dem Schlage der Flügel nach unten, wird die Luft über ihnen einen Augenblick weniger dicht, unter ihnen aber dichter; beides bewirkt die Erhebung des Vogels. Bildet der Vogel mit ausgebreiteten Flügeln hierbei gegen den Wind einen schiefen Winkel, so wird er durch diesen schiefen Stoß, wie ein Papierdrache aufwärts getrieben.

Man hat die Verrichtungen des Schwanzes nur als die eines Steuerruders angesehen, durch welches der Vogel sich seitwärts bewegen könnte; dies ist aber falsch, weil für diesen Zweck die Fläche des Schwanzes lothrecht sein müßte, was selbst bei unserem Haushuhne nicht der Fall ist, indem es nur beim Laufen die beiden Theile desselben aufwärts zusammenlegt. Der Schwanz dient dem Vogel fast nur zur Vergrößerung der Widerstandsfläche beim Fallen, was man u. a. recht deutlich am wellenförmigen Fluge der Bachstelze sieht, welche im herabgehenden Theile der Flugbahn mit angelegten Flügeln den Schwanz ausbreitet, beim aufsteigenden zusammenzieht; im zweiten Theile der Bahn wirkt vorzüglich das Beharrungsvermögen, welches beim schiefen Fallen erlangt worden ist. Aehnlich ist es beim Fischadler, wenn er in einem Bogen so dicht an die Oberfläche des Wassers stürzt, daß er mit seinen Krallen die Beute ergreifen kann und doch von da an, ohne ins Wasser zu stürzen, in einem Bogen wieder aufwärts steigt. Wenn Vögel, z. B. Tauben, zufällig ihres Schwanzes beraubt sind, so können sie dennoch nach allen beliebigen Richtungen fliegen.

Wenn Raubvögel mit ihren großen runden Flügeln, deren untere Fläche durch den Widerstand der Luft noch mehr ausgehöhlt wird, als

sie es schon durch den natürlichen Wuchs der Federn ist, lange schweben, ohne mit den Flügeln zu schlagen; so fallen sie eigentlich ganz langsam auf einer schiefen und spiralförmig gewundenen Fläche, wobei die Luft unter ihren Flügeln etwas verdichtet ist.

Wenn die Kraft, mit welcher der Vogel aufwärts gestiegen ist, seinem Gewichte das Gleichgewicht hält, so wird er allerdings eine ganz kurze Zeit horizontal schweben, ohne sich zu regen, und diese Zeit kann etwas verlängert werden, wenn unter ihm eine starke Luftströmung stattfindet; er wird aber bald wieder einige Flügelschläge thun müssen, wenn er nicht zu tief sinken will.

Eine veränderte Richtung gibt sich der Vogel durch Anspannen, Wenden oder Einziehen der Flügel; durch ihre Steifung, durch Veränderung des Winkels, unter welchem der Schlag geschieht, durch die Anzahl und Stärke der Schläge und vorzüglich durch einen ungleichen Flügelschlag in ähnlicher Weise, wie es bei einem Kahne der Fall ist, welchen man durch zwei Handruder auf beiden Seiten in Bewegung setzt oder wie die Richtung eines Raddampfers verändert wird, wenn man nur das eine Rad in Bewegung setzte. Der Körper wird um die Seite gedreht, an welcher die hervorgebrachte Bewegung eine etwas geringere ist.

Die Geschwindigkeit der Vögel ist eine oft höchst bedeutende, z. B. von den pfeifenden Thurmschwalben, auch von den sogen. Brieftauben, von den Raubvögeln. Man erzählt, daß dem Könige Heinrich II. von Frankreich aus Fontainebleau ein Falke entflohen sei, welchen man nach 24 Stunden in Malta gefunden habe, so daß er in jeder Stunde 19 Lieues zurückgelegt haben würde. Auch die Höhe, bis zu welcher dieselben sich erheben können, ist oft sehr bedeutend. Alexander v. Humboldt sah auf dem Chimborasso einen Kondor über sich schweben, der ihm endlich wie ein Punkt erschien.

Eigentliche Versuche zum aktiven Fliegen der Menschen sind erst zu Anfange dieses Jahrhunderts gemacht worden. Der von Ch. Fr. Zachariae glückte nur insoweit, als seine kleine Maschine bei jedem Flügelschlage in einer Sekunde sich zwar merklich erhob, aber nicht schwebend erhielt. Glücklicher war im Jahre 1808 Jacob Degen, welcher zu Wien sich selbst mit einem Gewichte von 119 Pfunden durch eine Maschine von 25 Pfunden, bei welcher noch 9 Pfunde auf die Reibung kamen, also zusammen 153 Pfunde mit einem angebrachten Gegengewichte von 75 Pfunden, so daß noch 75 Pfunde zu heben waren, mittelst etwa 34 Flügelschlägen in 30 Sekunden zu einer Höhe von 50 Fußen erhob (1½ Fuß auf einen Schlag).

Bei einem späteren Versuche hing er sich mit seiner Maschine an einen Luftball von 19 Fuß Durchmesser, welcher ihn nur eben zu tragen vermochte, und erhob sich bis zu 105 Klaftern, löste sich dann vom Ballon ab und kam langsam und vollkommen sicher herabgeflogen, wobei

er zeitweise etwas ausruhte und sich dann wieder erhob, selbst mit Benutzung des Windes und auch sich umwendete.

Das Gerippe seiner Flügelvorrichtung bestand aus Bambusrohr, die Oberfläche aus gefirnißtem feinen Papiere; die Länge jedes Flügels betrug 10 Fuß 4 Zoll, die größte Breite 9 Fuß, die Oberfläche 54 Quadratfuß. In jedem Flügel waren 3500 Klappen, die an Seidenfäden befestigt waren und nach unten sich öffneten, so daß sie, bei der Bewegung nach oben geöffnet, wenig Widerstand leisteten, bei der Bewegung nach unten geschlossen wurden und den Stoß auf die Luft ausübten. Das Gestell, welches bis zur Höhe des Halses reichte, wenn der Fliegende aufrecht stand, war mit dem Körper zwar fest verbunden, hinderte aber dessen freie Bewegungen nicht und seidene Schnüre gingen von allen Seiten nach einer Stange, wie nach einem Mastbaume, um dem Ganzen die feste Lage zu erhalten. Der Schlag herab wurde durch das kräftige Treten der Füße hervorgebracht.

Wenn das Fliegen des Menschen nicht allzusehr erschwert, sondern auf eine längere Dauer ermöglicht werden soll, so wird es immer nothwendig sein, ihn in Verbindung mit einem Körper zu bringen, welcher um Vieles leichter ist, als die atmosphärische Luft; denn der Widerstand, welchen der in der Luft bewegte bloße Körper mit der Maschine erleidet, ist gleich dem Gewichte eines Luftkörpers, welcher den Querschnitt jener zwei Körper zur Grundfläche und die der Geschwindigkeit zukommende Länge zur Höhe hat. Damit also der Luftkörper dasselbe Gewicht habe, müßte die Geschwindigkeit sehr groß sein, was nicht leicht zu erreichen ist. Man könnte also zur Erreichung des Zweckes, statt sich an einen Luftball mit leichterer Luft zu hängen, unmittelbar über seinem Körper einen angemessenen, etwa fischartig gestalteten, mit Wasserstoff- oder Leuchtgas erfüllten leichten Körper so anbringen, daß dadurch die Flügelbewegung nicht gehindert würde. Um eine schnellere Ermüdung zu vermeiden, könnte man die Einrichtung so treffen, daß beide Beine abwechselnd arbeiten, wie beim Gehen, und daß auch die Arme in die Bewegung eingreifen, namentlich die Bewegung des einen oder des anderen Flügels beschleunigen könnten, um Schwenkungen hervorzubringen. Es ließe sich auch wohl ein Schwanz anbringen, den man durch das Spreitzen der Beine nach Belieben ausbreiten und neigen könnte. Vor dem Munde müßte zum Schutze gegen schnell andrängende Luft eine Art Schutzdach angebracht sein u. dergl. Genug! Es scheinen mir mit Unrecht die weiteren Versuche, das Fliegen der Menschen weiter auszubilden, wenn es nur zu ganz besonderen Zwecken benutzt werden sollte, aufgegeben worden zu sein.

Der Stoß der atmosphärischen Luft gegen das Niveau von Gewässern ist im Stande, diese in die heftigsten Bewegungen zu versetzen, und zwar um so mehr, je schiefer der Stoß ist. Es ist nämlich nicht so gar häufig der Fall, daß der Wind auf längere Dauer ganz

horizontal geht; er bildet Wellen, stößt meist schräge von oben nach unten und kann daher auch in dem Wasser Wellen erzeugen, welche um so höher werden, je tiefer das Meer oder Gewässer ist. Es ist vorzüglich der dauernde Einfluß des Sturmes, welcher die Wellen immer höher und höher thürmt; aber es ist auch im höchsten Grade auffallend, wie ein horizontal und stark wehender Wind das Wasser in kurzer Zeit wieder zu glätten vermag. Sind Wellen durch den Wind erzeugt worden, so stoßen dieselben auch gegen einander und werden dadurch selbst im offenen Meere auch oft zu bedeutenden Höhen aufgestaut. Ebenso findet es aber auch an den Küsten statt, daß den nach dem Lande kommenden Wellen die von diesem zurückgeworfenen entgegenkommen, wodurch sie schäumend, d. h. mit Luft sich mischend, einander zu bedeutenden Höhen aufthürmen. Wenn sie einander auf eine längere Strecke recht parellel entgegen kommen, so überstürzt die stärker ankommende die andere in einem Bogen ankommende so, daß sie dabei eine Menge Luft einhüllt, welche sie zusammendrückt und mit einem lauten Klatsch durch sich läßt. Hübsche Figuren entstehen, wenn man einen Wasserstrahl entweder auf recht glatte, verschieden geformte Metallflächen oder wenn man zwei Wasserstrahlen gegen einander stoßen läßt, so daß die Geschwindigkeit ganz oder theilweise aufgehoben wird. Die beiden Strahlen können eine verschiedene Stärke und Geschwindigkeit haben, der Stoß kann ein zentraler oder exzentrischer, ein grader oder schiefer sein, und dabei können auch die Ausflußöffnungen verschieden geformt sein.

Zweiter Abschnitt.

Von der Reibung.

Wenn ein Körper mit Berührung an einem anderen sich bewegt, gleichgiltig, welchem Aggregatszustande die Körper angehören, so erfährt die bewegende Kraft eine Verminderung oder sie erleidet einen Widerstand, welchen man Reibung nennt. Dieser Widerstand wirkt schon, ehe noch die Bewegung begonnen hat und dauert während derselben fort. Die Reibung zweier Körper kann ohne oder mit Anwendung einer besonderen drückenden Kraft stattfinden; im zweiten Falle reiben wir einen Körper am anderen, wie z. B. wenn man ein Stück Zucker an einem anderen durch Anwendung eines Druckes hin und her bewegt. Dieses aktive Reiben wird angewendet, wenn man aus einem Körper, dessen Theile einen nur schwachen Zusammenhang haben, ein Pulver machen, oder ihn pulverisiren will; wir zerreiben den Körper. Wir betrachten

hier aber nicht diesen Erfolg, sondern nur den Widerstand gegen diese Bewegung, abgesehen von dem Beharrungsvermögen der Körper.

Die Ursache aller Reibung ist die Rauheit der Oberflächen aller Körper, indem sie bei keinem, so glatt sie auch erscheinen mögen, ohne Hervorragungen und Vertiefungen sind, wozu bei den festen Körpern noch häufig der nicht sehr bedeutende Grad der Härte tritt. Wären alle Körper absolut glatt und hart, so würde es freilich zwar keine Reibung geben, aber die Adhäsion würde als Zeichen der allgemeinen Massenanziehung der Bewegung auch ein Hinderniß entgegenstellen, welches wir aber mit unter dem Begriffe der Reibung behandeln, weil sich wohl kaum ermitteln läßt, wie viel von dem Hindernisse der Bewegung auf die Rauhigkeit und wie viel auf die Glätte der Oberfläche zu rechnen ist.

Die Reibung fester Körper.

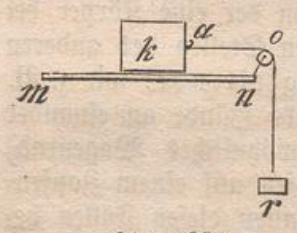
Während ein fester Körper auf einem anderen liegt, gehen die kleinen Erhabenheiten des einen in die Vertiefungen des anderen oder liegen theilweise auf einander oder schweben auch über Vertiefungen des anderen. Findet nun die Bewegung statt, so müssen die in den Vertiefungen liegenden Theile des einen über die Erhabenheiten des anderen gehoben werden, wobei gleichzeitig eine um so größere Menge von exzentrischen, der Bewegung einen Widerstand entgegensetzenden Stößen stattfinden, je rauher die Körper bei derselben Ausdehnung der Berührungsflächen sind. Bei diesen Stößen werden nach und nach Erhabenheiten abgerissen, die Flächen reiben einander ab und werden glatter.

Die Reibung derselben zwei Körper ist nach der Art ihrer Bewegung und nach ihrer Gestalt verschieden. Wenn der eine Körper bei seiner Bewegung stets mit denselben Stellen den anderen ruhenden in neuen Stellen trifft oder wenn jeder von zwei bewegten Körpern den anderen in immer neuen Stellen trifft oder wenn der eine Körper bei seiner Ruhe an denselben Stellen von immer neuen Stellen des anderen bewegten getroffen wird, so ist die Reibung eine gleitende, wie z. B. wenn ein Schlitten gezogen wird, wenn man beide Hände an einander bewegt, wenn ein Rad um seine feste Axe (gewöhnliches Wagenrad) oder eine Axe auf einer festen Unterlage (ein Zapfen auf einem Zapfenlager wie bei den Wasserrädern) sich dreht. In allen diesen Fällen bewegen sich die berührenden Theile der Oberfläche des einen Körpers parallel mit den Theilen der anderen Oberfläche, mögen es ebene oder gekrümmte Flächen sein. Die Zapfenreibung ist also eine besondere Art der gleitenden Reibung, indem die Berührungspunkte stets nur an dem einen Körper wechseln, mag sich die Radaxe auf einer festen Unterlage oder die Nabe (Radfutter) um die feste Axe drehen. — Treten aber immer neue Punkte beider Körper mit einander in Berührung, während die früher in Berührung gewesenen sich von einander entfernen, wie es

z. B. der Fall ist an dem Umfange des Rades eines Wagens, welcher über eine Fläche dahin fährt, so ist die Reibung eine wälzende.

Bei der gleitenden Bewegung muß jedes Theilchen des bewegten Körpers von der Berührungsstelle sich losreißen von dem es zurückhaltenden Theilchen des unbewegten Körpers, bei der wälzenden aber wird immer ein neues Theilchen des bewegten Körpers zur Berührung gebracht und das durch die Rauheit der Unterlage festgehaltene Theilchen mehr gehoben, als fortgeschleift, ohne daß hier so leicht Abreißung erfolgt, als dort. Es ist also unter übrigens gleichen Umständen die wälzende Reibung kleiner, als die gleitende, zumal bei jener der Schwerpunkt des bewegten Körpers, weil die Unebenheiten nicht fortgerissen werden, weniger gehoben zu werden braucht, und die Berührung der Körper auf kleinere Flächen beschränkt wird.

Aus dem Begriffe der Reibung ist klar, daß man, wenn ein Körper an einem anderen bewegt werden soll, eine Kraft anwenden muß, welche nicht blos der Last das Gleichgewicht hält oder vielmehr sie um etwas Weniges übertrifft, sondern daß man diese Kraft um den Reibungswiderstand vermehren muß. Für bestimmte Körper und für eine bestimmte Beschaffenheit und Größe der einander reibenden Flächen ist der Widerstand stets ein bestimmter Bruchtheil von der Last und heißt Reibungskoeffizient. Wäre die Reibung z. B. ¼ oder 25 Prozent der Last, d. h. müßte man bei 100 Zentnern Last 25 Zentner Kraft blos zur Ueberwindung der Reibung anwenden, so wäre der Reibungskoeffizent 0,25. Es ist praktisch von großer Wichtigkeit, die Reibungskoeffizienten für verschiedene Stoffe zu bestimmen, da es ja bei Maschinen vorzüglich darauf ankommt, alle Einrichtungen so zu treffen, daß von der Arbeitskraft so wenig als möglich verloren gehe. Die Vorrichtungen zur Bestimmung der Reibung hat man Tribometer oder Reibungsmesser genannt. Die Methoden zur Messung der Reibung sind folgende:

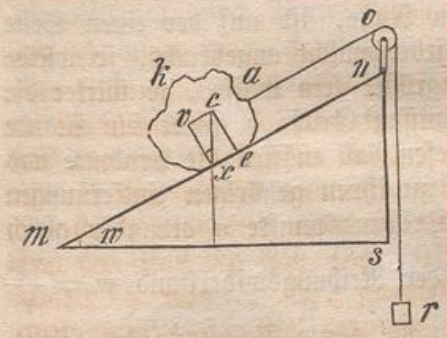


(Fig. 199.)

1) Auf einer genau horizontalen ebenen Platte m n (Fig. 199) befindet sich der Körper k von dem Gewichte s, welcher die Platte mit einer bestimmten Fläche berührt, an dem einen Ende der Platte ist eine kleine äußerst leicht drehbare Rolle so befestigt, daß ein über sie gelegter und an k gebundener Faden, in dessen Richtung der Schwerpunkt des Körpers liegt, mit dem Theile a o der Platte parallel ist. Ist an dem anderen Ende des Fadens ein Uebergewicht r angehängt, welches grade nur im Stande ist, das k in Bewegung zu setzen; so ist der Bruch r/s der Reibungskoeffizient. Wiegt k z. B. 10 Pfunde, ist r gleich 1 Pfund, so ist der Koeffizient 0,1. Um die Rücksicht auf die Reibung der Rolle zu beseitigen, kann man zwischen a und o eine genau berichtigte Federwage einspannen, deren Skale die Spannung des Seils angibt.

Wird auf einer horizontalen Ebene ein Körper so gezogen, daß die Bewegung gleichmäßig bleibt, so ist die ziehende Kraft der Reibung gleich und die Beobachtung der durchlaufenen Wege, aus denen sich die Gleichförmigkeit der Bewegung ergibt, läßt beurtheilen, ob auch die ziehende Kraft stets der Reibung gleich ist.

2) Wäre Reibung nicht vorhanden, so würde jeder Körper auf einer gegen den Horizont auch außerordentlich wenig geneigten Ebene herabgleiten. Je größer man den Neigungswinkel gegen den Horizont machen muß, ehe der Körper herabgleitet, desto größer ist seine Reibung. Es steht also die Größe dieses Neigungswinkels mit der Größe der Reibung in einer gewissen Beziehung, welche durch das Verhältniß der Höhe n s (Fig. 200) der schiefen Ebene zu ihrer Basis m s angegeben wird. Ist nämlich w derjenige Winkel, bei welchem der Körper k auf der schiefen Ebene m n grade herabzugleiten beginnt, so läßt sich aus der Kraft, mit welcher k wegen seines Gewichtes lothrecht auf den Horizont wirkt, und aus diesem Winkel sowohl die Kraft finden, mit welcher k auf die schiefe Ebene lothrecht drückt, als auch die Kraft, mit welcher k auf ihr ohne Reibung herabgleiten würde.

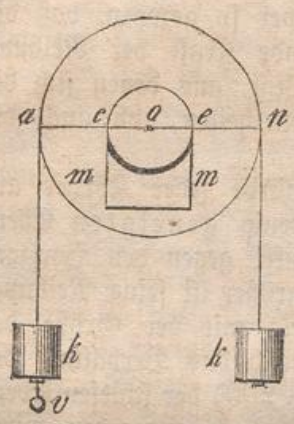


(Fig. 200.)

Stellt die Linie c x das Gewicht des Körpers dar und zugleich die Richtung, in welcher es wirkt, so muß diese auf m n schief wirkende Kraft zerlegt werden in die darauf lothrecht wirkende c e, womit der Körper die schiefe Ebene drückt, und in die mit ihr parallele c v, womit sie darauf herabgleiten würde, wenn keine Reibung stattfände. Das Verhältniß von jener Kraft zu dieser ist gleich dem Verhältnisse der Höhe n s der schiefen Ebene zu ihrer Basis m s; beide sind nur Antheile von c x.

Wenn man an den Körper k eine Schnur bindet und über eine sehr leicht bewegliche Rolle o leitet, daß das Schnurenstück a o mit der schiefen Ebene parallel geht und der Schwerpunkt von k in ihrer Richtung liegt, so wird ein an dem anderen Ende der Schnur angebrachtes Gewicht die gleitende Kraft grade im Gleichgewichte halten können und die durch die drückende Kraft hervorgebrachte Reibung wird ein Mehrgewicht verlangen, wenn k aufwärts bewegt werden soll, und ein Mindergewicht, wenn das Herabgleiten eben beginnen soll Der Reibungskoeffizient ist für den Winkel, bei welchem soeben das Herabgleiten des freiliegenden Körpers beginnt, der Bruch, dessen Zähler die Höhe und dessen Nenner die Basis der schiefen Ebene ist.

3) Für das Maschinenwesen ist besonders wichtig die Reibung, welche die Zapfen von Wellen in ihren Lagern erleiden. Es



(Fig. 201.)

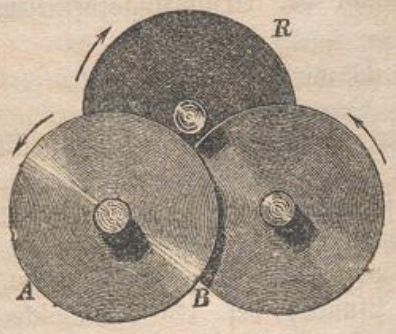
sei a o (Fig. 201) der Radius R einer Welle, c o der Radius r ihres Zapfens, mit welchem sie sich auf dem Widerlager m m drehen kann; so ist der Reibungswiderstand w um den Radius r des Zapfens und die an dem Umfange der Welle irgendwie, z. B. durch ein umgelegtes Tau mit Gewichten angebrachte Last um den Radius R der Welle von dem Drehungspunkte o entfernt. Sind die Enden des übergelegten Taues mit gleichen Gewichten k k versehen, so bleibt die Welle selbst ohne Reibung in Ruhe, ist auf der einen Seite noch ein Uebergewicht angebracht, so würde dies bei vorhandener Reibung um so größer sein müssen, je stärker die Reibung ist, und würde bei einer gewissen Größe v grade im Stande sein, die Reibung aufzuheben. Für diesen Fall müssen die Produkte aus den beiden Kräften w und v mit den zu ihnen gehörigen Entfernungen r und R von dem gemeinschaftlichen Drehungspunkte o einander gleich sein oder $w \cdot r = v \cdot R$; folglich ist der Reibungswiderstand $w = \frac{vR}{r}$ und der Reibungskoeffizient, wenn man die ganze Belastung der Welle, (also ihr eigenes Gewicht mit den angehängten) mit u bezeichnet, ist $= \frac{v}{u} \cdot \frac{R}{r}$. Wäre z. B. der Radius der Welle 6 Zoll, der des Zapfens 2 Zoll, die Belastung der Welle 300 Pfunde und brächten 10 Pfund einseitig angehängt soeben die Drehung hervor, so wäre der Reibungswiderstand 60 Pfunde $\left(\frac{10 \cdot 12}{2}\right)$ und der Reibungskoeffizient $\frac{1}{5} = 0{,}2$ $\left(\text{nämlich } \frac{10}{300} \cdot \frac{12}{2}\right)$.

4) Auf ähnliche Weise kann man die Größe der Reibung bei allen Maschinen bestimmen, indem man der Maschine, während sie keinen fremden Widerstand zu überwinden hat, so viele Gewichte anhängt, daß sie eben in Bewegung geräth. Um dieses Gewicht muß die Last vergrößert werden, wenn man die Kraft für das Gleichgewicht bestimmen will. Die Reibung ist bei einer bestimmten Maschine erzeugt durch die Summe der Last und der bewegenden Kraft.

Wenn der Durchmesser eines Rades 8 Fuß, seiner Welle 1 Fuß und des Zapfens 2 Zoll oder $\frac{1}{6}$ Fuß ist, wenn ferner der Wellbaum 80 Pfunde, die angehängte Last 320 Pfund und die angewendete Kraft 40 Pfund beträgt, so ist der Gesammtdruck auf die Zapfenlager $80 + 320 + 40 = 440$ Pfunde. Wäre nun der Reibungskoeffizient

0,277 (oder wäre, wie es bei Eisen auf Eisen der Fall ist, der Reibungskoefffzient 27,7 Prozent der Last), so könnte man sich um den Zapfen ein Seil mit dem Gewichte 0,277 . 440 Pfunde = 111,88 bei weggedachter Reibung geschlungen denken, und das würde dieselbe Kraftäußerung zeigen, als wenn man an dem Umfange der Welle die Last um $\frac{1}{6}$. 111,88 Pfunde = 18,65 Pfunde vermehrte. Es würden also in diesem Beispiele gegen 19 Prozent der angewendeten Kraft zur Ueberwindung des Reibungswiderstandes verbraucht.

5) Friktionsrollen. Bei der Drehung eines Rades um eine Axe ist die Reibung um so nachtheiliger, je weiter die reibenden Stellen von dem Drehungsmittelpunkte entfernt sind, d. h. je stärker die Axe ist. Deshalb sind dünne Axen vortheilhafter, als dicke. Ferner aber wird die Reibung durch Verminderung der Anzahl der Berührungspunkte der auf einander bewegten Körper verkleinert. Es ist also die Gestalt der Axe wichtig. Eine zylindrische Axe berührt eine ähnlich, aber nur wenig gebogene Unterlage in einem schmalen, länglichen Streifen, und, könnte letztere eine Ebene sein, in einer graden Linie. Lauft aber die Axe in eine kegelförmige Spitze mit einem nicht zu kleinen Winkel aus, welche auf der Innenfläche eines weiteren Hohlkegels ruht, so ist die Menge der Berührungspunkte noch geringer. Ruht endlich die Axe der Rolle R (Fig. 202) auf zwei leicht drehbaren Rollen A und B, so berührt sie die letzteren nur sehr wenig und wenn sie selbst in der Richtung des oberen Pfeiles sich dreht, gerathen die Rollen, ohne daß die Axe an ihren Umfänger sich hinschiebt oder irgend bedeutend reibt, in Drehung, wie sie die an ihnen gezeichneten Pfeile angeben; dagegen erleiden die Axen der Rollen A und B zusammen an der Axe von R eine ebenso große Reibung, wie die Axe von R. Wäre die Reibung ein gewisser Antheil x von ihrer Belastung k, also x . k, und somit die Reibung an der Axe jeder der beiden Rollen $\frac{1}{2}$ x . k, so könnte dieser Reibungswiderstand nur durch eine ebenso große Kraft aufgehoben werden, wenn sie auch, wie die Reibung selbst, an dem Umfange der Axe angriffe; greift sie aber weiter an, so braucht sie nur in demselben Verhältnisse kleiner zu sein, in welchem ihr Angriffspunkt von dem Drehpunkte sich entfernt. Da nun die Berührungspunkte der Axe von R mit den Umfängen der Rollen die Angriffspunkte der Kräfte sind, welche die Reibung an den Umfängen ihrer eigenen Axen zu überwinden haben, so wird die Reibung der Axe R um den so vielten Theil herabgesetzt, als es das Verhältniß des Radius R der Rolle zum Radius r ihrer Axe anzeigt, und es ist daher die zur Ueberwindung der Reibung nöthige Kraft für jede Rolle



(Fig. 202.)

$\frac{1}{2} \cdot \frac{r}{R} \times k$, also für beide Rollen zusammen $\frac{r}{R} \cdot \times k$. Dieser Ausdruck gibt nur insofern einen etwas zu kleinen Werth, als hierbei das Gewicht der beiden Rollen, welches die Reibung um etwas vermehrt, und die Reibung des R an den Berührungsstellen mit A und B vernachlässigt ist. Ist das Gewicht von A und B unbedeutend und die sonstige Einrichtung angemessen, so ist die wirkliche Reibung durch solche sogenannte Friktionsrollen auf ein möglichst geringes Maß zurückgeführt.

6) Wenn bei Maschinen Taue, Ketten, Riemen angewendet werden, welche wegen ihrer Steifigkeit nicht genau an den Orten angreifen und in der Richtung wirken, welche bei der Berechnung des Erfolges zum Grunde gelegt werden, so liegt darin auch noch ein Hinderniß der Bewegung, welches im graden Verhältnisse mit der darauf wirkenden Last (L), so wie der Dicke (Durchmesser d) der Taue und im umgekehrten des Durchmessers (D) der Rolle oder Welle steht, um welche das Tau geschlungen ist. Da man hierbei die Erfahrung gemacht hat, daß eine Schnur von 1 Linie Dicke bei einer Last von 1 Pfund an einer Welle von 1 Zoll Durchmesser durch die Steifheit einen Widerstand von 1 Loth oder $\frac{1}{30}$ Pfund leistet, so ist der allgemeine Ausdruck für den Widerstand $\frac{1}{30} \cdot \frac{dL}{D}$. Bei dickeren Tauen wächst der Erfahrungskoeffizient bis zu 0,2, so daß der Ausdruck $\frac{0{,}2 \cdot d}{D} \cdot L$ wird.

Ist ein Seil um einen unbeweglichen Zylinder gewickelt, so hält es wegen seiner Reibung um so größere Lasten im Gleichgewichte, je mehr es umgewickelt ist, aber es steigt seine tragende Kraft dabei in auffallender Weise. Wenn man die Reibung nur $\frac{1}{4}$ des Druckes annimmt, so braucht man, um eine Last von 100 Pfunden zu heben, bei einer Umwickelung von 90°, 148 Pfunde, bei 180° Umwickelung 206 Pfunde, bei 360° schon 481 Pfunde, bei 540° 1055 Pfunde, bei 700° 2314 Pfunde, bei drei ganzen Umwickelungen 11131 Pfunde. Es hält also ein sehr geringes Gewicht nach einigen Umwickelungen des Seiles einer sehr bedeutend ziehenden Kraft das Gleichgewicht: bei sechs Umwickelungen ein einziges Pfund 12300 Pfunden.

Wenn aber der Zylinder um seine Axe ganz frei drehbar ist, so bedarf es einer weit geringeren Kraft, weil das angezogene Seil nicht über der Oberfläche desselben fortgezogen zu werden braucht, indem es ihn dreht und der noch vorhandene Widerstand ist fast nur der Steifheit des Seiles beizumessen, welches der Krümmung des Zylinders nicht gleich folgt.

Wie groß aber der gemeinschaftliche Einfluß der Steifheit der Seile und der Reibungswiderstand werden kann, zeigt sich u. a. bei den später noch genauer anzuführenden Flaschenzügen. Bei einem öfters schon ge-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

brauchten und gut eingeschmierten Flaschenzuge mit zwei Kloben, von denen jeder zwei Rollen besaß, hatten die beiden größeren Rollen einen Halbmesser von 23 Linien, die beiden kleineren von 18,5 Linien, die Axe 3,5 Lin. An dem unteren Kloben von 10 Pfund Gewicht hingen 50 Pfund, die vier Seile wogen 12 Pfund, also war die Gesammtlast 72 Pfunde. An dem fünften Seile waren 25 Pfunde nothwendig, um eine gleichmäßige Bewegung zur Ueberwindung der Reibung hervorzubringen, ohne Reibung wären nur 18 nothwendig gewesen.

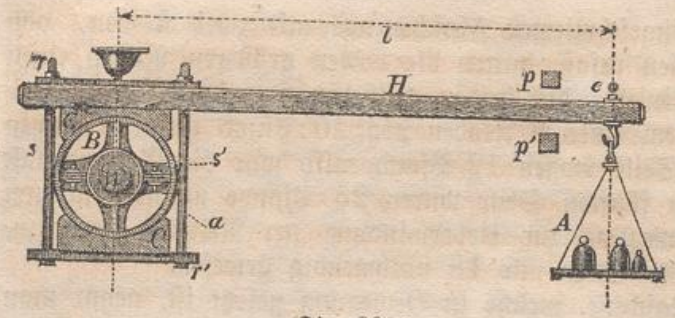
7) Bei einer Maschine, welche in Bewegung gesetzt ist, nennt man das Produkt einer beständigen Kraft und des von ihrem Angriffspunkte in einer gewissen Zeit beschriebenen Weges die Arbeit der Kraft. Wird nun bei der Maschine die Arbeit der Kraft auf einen anderen Angriffspunkt übergetragen, so erleidet sie wegen der verschiedenen Reibungswiderstände einen Verlust und der von ihr noch übrig bleibende Erfolg wird der Nutzerfolg oder Nutzeffekt der Maschine genannt. Es muß beim Baue der Maschinen das Bestreben dahin gerichtet sein, den Nutzerfolg möglichst groß zu erhalten. Wie dazu aber unter Umständen die Reibung auch förderlich sein kann, werden wir später sehen.

Der Bremskraftmesser.

Es ist praktisch höchst wichtig, die Größe der Arbeit irgend einer Kraftmaschine, z. B. eines Wasserrades, des Schwungrades einer Dampfmaschine oder einer Gasmaschine, Luftexpansionsmaschine zu bestimmen. Man könnte allerdings wohl auf theoretischem Wege zum Ziele gelangen, wenn man Rechnungen, welche bisweilen ziemlich umständlich sind, nicht scheuen wollte; es ist aber leicht möglich, unmittelbar zum Ziele zu gelangen, wobei sich die in der Rechnung bisweilen nicht mit der nöthigen Schärfe zu berücksichtigenden Hindernisse der Bewegung gleichzeitig geltend machen.

Man könnte zu diesem Zwecke an der Triebwelle der Maschine eine Last anbringen und beobachten, bis zu welcher Höhe dieselbe in einer gewissen Zeit bei der Drehung der Welle gehoben wird. Die Kraft der Maschine ist dann in Fußpfunden, Kilogrametern oder Pferdekräften darstellbar. Diese Art des Versuches läßt sich aber nicht überall ohne große Unbequemlichkeiten ausführen und deshalb hat man auf ein in jedem Falle anwendbares Mittel gedacht. Man untersucht nämlich, welchen Reibungswiderstand die Arbeitswelle, wenn die Maschine eine bestimmte Arbeit verrichtet, also eine gewisse Geschwindigkeit besitzt, zu überwinden im Stande ist, statt daß sie Gewichte zieht.

In Fig. 203. ist W der senkrechte Durchschnitt der Welle des Arbeitsrades; um sie schließt sich dicht an ein eisernes Rad B, welches aus zwei Hälften besteht, die sich durch die Schrauben ss' und nöthigenfalls durch Keile mit der Welle in feste Verbindung bringen lassen; um



(Fig. 203.)

die Felge dieses Rades legen sich zwei hölzerne Sättel CC oder Backen genau an, lassen sich innerhalb des Rahmens r r' durch Schrauben an demselben beliebig stark an den Umfang des Rades drücken. Der obere Theil des Rahmens lauft in einen Stab oder Hebel H aus, an dessen Ende e sich eine Wageschale A befindet. Der Rahmen mit den Backen wird die Bremse genannt.

Um nun den Versuch zur Bestimmung der Kraft einer Maschine zu machen, nimmt man ihr die sonst zu leistende Arbeit ab, indem man die anderen Maschinentheile auslöst, dann preßt man zunächst das Rad B an die Welle W so fest, daß es bei jeder Bewegung der Welle mitgenommen werde; und nun zieht man die Schrauben des Rahmens so stark an, daß der Hebel H mit der Wageschale A ohne weitere Belastung und im Ruhezustande der Maschine eine horizontale Lage behält. Wird jetzt die Maschine in den Gang gesetzt, so dreht sich wegen der Reibung des Rades an den Backen der ganze Rahmen mit dem Hebel eben so geschwind herum, als die Axe. Soll dies nicht geschehen, so muß die Wagschale A mit Gewichten belastet werden. Da aber jede Maschine zu einer gewissen Leistung eine gewisse Geschwindigkeit haben muß, so wird man die Schrauben des Rahmens so stark anziehen und dabei durch Versuche die Gewichte so einrichten, daß der Hebel bei der gewünschten Geschwindigkeit eine horizontale Lage behält.

Damit die Reibung den Hebel nicht zu weit mit hinauf und die Gewichte beim Versuche nicht zu weit herabnehme, hat man oberhalb und unterhalb seiner horizontalen Lage zwei sogenannte Fangebalken p und p' angebracht.

Das Rad R läßt sich dann wohl entbehren, wenn die Welle W nicht zu dünn ist.

Zur Beurtheilung der von der Maschine bei ihrer angenommenen Geschwindigkeit auch anderweitig zu leistenden Arbeit ist festzuhalten, daß diese gleich dem jetzt bei dem Versuche überwundenen Reibungswiderstande ist. Es sind hier eigentlich drei Kräfte zu betrachten:

1) die Kraft, mit welcher der im höchsten Punkte des Rades gestützte und bei e mit der Schale versehene Hebel, ohne daß er anderweitig belastet ist, aus der horizontalen Lage zu sinken sucht und deren Moment das Produkt g l ist, wenn g das in e angreifende Gewicht des Hebels mit Schale und l seine Länge ist;

2) die Kraft, welche nach der Belastung der Schale mit den Ge-

wichten k auch in e angreift und dieselbe Entfernung l von dem Stützpunkte des Hebels hat und somit als Moment das Produkt k . l besitzt;

3) der Reibungswiderstand w an dem Umfange des Rades, welcher um den Radius c des Rades von seinem Drehungsmittelpunkte entfernt ist, so daß also das Bewegungsmoment dafür w . c ist.

Soll nun das Gleichgewicht stattfinden, so müssen die beiden ersten Kräfte zusammen der dritten das Gleichgewicht halten oder muß $w . c = g . l + k . l$ oder $= (g + k) . l$ sein, woraus sich für den Reibungswiderstand $w = (g + k) . \frac{l}{c}$ ergibt.

Die von der Maschine unter Festhaltung der beim Versuche angenommenen Geschwindigkeit in einer gewissen Zeit geleistete Arbeit wird endlich gefunden, wenn man den so ermittelten Widerstand w mit dem Wege multiplizirt, welchen ein gewisser Punkt der Welle in dieser Zeit zurückgelegt hat. Jeder Punkt des Radumfanges hat nach einer Umdrehung den Weg $2\pi . c = 6{,}383 . c$, also nach x Umdrehungen den Weg $6{,}383 . x . c$ zurückgelegt; also ist die während dieser Zeit verrichtete Arbeit

$$(g + k) . \frac{l}{c} . 6{,}383 . xc = (g + k) l . x . 6{,}383.$$

Wenn der Hebel eine Länge von 3 Metern besitzt, sammt der leeren Schale mit 41 Kilogrammen herabzieht, wenn die Belastung der Schale während des Ganges der Maschine 70 Kilogramme beträgt, die Welle in jeder Minute 45, also in einer Sekunde $^{45}/_{60} = 0{,}75$ Umdrehungen macht, so ist die Kraft der Maschine

$$(41 + 70) . 3 . 0{,}75 . 6{,}283 = 1564 \text{ Kilogrammometer,}$$

was durch Division mit 75 gegen 21 Pferdekräfte gibt.

Hätte man die Gewichte nach Pfunden und die Länge des Hebels nach Fußen angenommen, so würde das Resultat Fußpfunde sein und man müßte es mit 500 (für preußisches Maß mit 510) dividiren, um Pferdekräfte zu erhalten.

Aus dem Begriffe der wälzenden Reibung ergibt sich schon, daß sie viel kleiner sein muß, als die gleitende, wenn in beiden Fällen alle übrigen Umstände dieselben sind, also die Körper gleiches Gewicht, gleiche Beschaffenheit ihrer Oberfläche, die Unterlagen gleiche Lage und auch sonst gleiche Beschaffenheit besitzen.

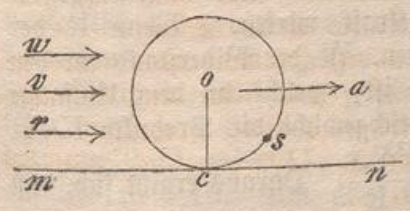


Fig. (204.)

Nehmen wir zunächst eine vollkommen harte und polirte Kugel auf einer eben solchen Ebene, welche horizontal liege; so berühren die beiden Körper, mathematisch betrachtet, einander nur in einem Punkte c (Fig. 204). Läge ein solcher Zylinder auf der Ebene,

so fände die Berührung in einer graden Linie und von jedem kreisförmigen Querschnitte desselben auch in einem Punkte statt. Fände im Berührungspunkte c keine Reibung statt, so würde eine mit m n parallel durch den Schwer- und zugleich Mittelpunkt wirkende Kraft die Kugel so fortbewegen, daß c stets der Berührungspunkt bliebe. Bei der in der Wirklichkeit stets vorhandenen Reibung aber wird der Punkt c der Kugel die Ebene verlassen und die Kugel sich wälzen, wobei wir uns den einfachsten Fall denken wollen, daß ihre Wälzungsaxe mit der Ebene parallel bleibt.

Ist die Wälzung vollkommen, so geht der Punkt c durch die Drehung der Kugel um ebensoviel zurück, als ihr Mittelpunkt vorwärts gelangt. Wirkt eine Kraft in der Richtung des Pfeiles bei w auf die Kugel, so kann c eine schnellere Drehungsbewegung nach rückwärts, als o nach vorwärts bekommen; aber die Drehung nimmt nach und nach ab und es tritt ziemlich bald die vollkommen wälzende Bewegung ein. Wirkt endlich die Kraft in der Richtung des Pfeiles bei r, so kann die Kugel so sich bewegen, daß der Punkt c in der Richtung nach s sich dreht, während der Mittelpunkt in grader Richtung nach a fortgeht. In diesem Falle wird die Drehungsbewegung vermindert und kann sogar in die entgegengesetzte übergehen, so daß der fortrückende Körper auf seinem Wege umkehrt; die fortrückende Geschwindigkeit hat aufgehört und die rückwärts wälzende Bewegung ist noch zum Theil vorhanden. Nur im ersten Falle bringt die Reibung durch Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit eine vermehrte Bewegung des Mittelpunktes hervor. Eine vollkommene Wälzung, bei welcher die drehende Bewegung des Berührungspunktes rückwärts genau so schnell, als die Fortrückung des Schwerpunktes vorwärts wäre, findet in der Wirklichkeit nicht statt, weil die Reibung stets diese Stelle, welche kein Punkt ist, zurückhält.

Wenn die von der Kugel in einem einzigen Punkte berührte Ebene gegen den Horizont geneigt ist, so fängt die Wälzung der Kugel schon wegen ihres Gewichtes an. Was von einer Kugel gilt, findet auch von einem Zylinder statt, wenn seine Axe horizontal liegt, und auch von einem kreisförmigen Reifen oder Rade mit ebenso liegender Drehungsaxe.

Bei einem Wagenrade findet an dem Umfange des Rades wälzende, an der Axe gleitende Reibung statt, die beide nach entgegengesetzten Richtungen auf die bewegende Kraft wirken. Wenn R der Halbmesser der Räder, r der von den Axen, W der Widerstand an den Axen und K die entgegenwirkende Kraft ist, welche an dem Umfange des Rades angreift; so sind für das Gleichgewicht die Produkte K . R und W . r einander gleich, also ist $K = \frac{W.r}{R}$. Daraus ergibt sich, daß K um so kleiner wird, je größer R und je kleiner r ist, d. h. je größer

der Radius (oder Durchmesser) des Rades und je dünner seine Axe ist, woraus sich, abgesehen von der Verschiedenheit der Reibung, dünne eiserne Axen als vortheilhafter erkennen lassen, als die wegen der nöthigen Haltbarkeit dickeren hölzernen, und große Wagenräder besser sind, als kleine, wie z. B. an den sogenannten Rollwagen.

Jenachdem W. r kleiner oder größer als K. R ist, dreht sich zufolge der äußerlich am Wagen angebrachten Kraft das Rad oder schleift nur auf seiner Unterlage, wie es im Winter auf glatten Schneebahnen und bei großer Belastung, also bei starker Reibung an der Radaxe oder starr gewordener Schmiere öfters vorkommt. Wenn bei einer Lokomotive die Räder nur schleiften, so würde sie nicht im Stande sein, eine Last zu ziehen; ohne angehängte Last wäre in diesem Falle die Dampfkraft gleich der Summe der Reibungswiderstände und mit einer angehängten Last kleiner.

Obwohl die Reibung der Lokomotive an den Schienen oft kleiner ist, als die eines längeren Wagenzuges, so setzt jene diesen doch in Bewegung, weil die nur durch nachgebende Kuppelung verbundenen Wagen blos nach einander, nicht gleichzeitig in Bewegung gerathen, und das Beharrungsvermögen der vorderen, schon in Bewegung befindlichen, auch die hinteren fortführt. Dies hat aber seine Gränze in der Gleichung zwischen den Reibungen, wie sie das Bewegungsmoment der Maschine einerseits und der sämmtlichen angehängten Wagen andererseits angibt.

Zur Verminderung der Reibung bei der Fortschaffung großer Lasten wendet man als Unterlagen runde Stangen, Zylinder oder Walzen und auch Kugeln an, wenn für sie die Unterlage selbst noch hart und unnachgibig genug ist, denn in diesem Falle hat die kleine Berührungsstelle der Kugel den ganzen auf ihr lastenden Druck zu ertragen, welchem ein weicherer Körper nicht gewachsen ist. Dicke Walzen sind als Unterlagen besser, als dünne. — Die Schiffer hängen in den Häfen an ihre Schiffe Rollen, um die Reibung mit anderen Schiffen zu vermeiden.

Schmiermittel.

Wenn die festen Körper in trockenem Zustande über einander hingleiten, so verändern sie ihre Oberflächen je nach ihrer Beschaffenheit in verschiedenem Grade. Die körnigen Körper weniger, als die faserigen; die Metalle werden glatter und statt der verminderten Reibung tritt, namentlich bei größeren Berührungsflächen, die vermehrte Adhäsion als Widerstand ein; die Hölzer und alle faserigen Körper werden rauher und somit die Reibung größer. Unter übrigens gleichen Umständen wird durch das Poliren die Reibung herabgesetzt bei Kupfer und Eichenholz um 0,62 auf 0,17; bei Eisen auf Eiche bis zu 0,08; bei Stahl auf Eis zu 0,15. Um aber beiden Uebelständen zu begegnen und zugleich die bei starker Reibung entstehende Wärme, welche sich bei

Hölzern bis zum Entzünden, bei Metallen bis zum Glühendwerden und Erweichen steigern kann, in einem möglichst geringen Grade aufkommen zu lassen, wendet man Schmiermittel an, d. h. man bestreicht oder begießt die einander reibenden Theile mit einem Stoffe, welcher in die kleinen Vertiefungen der festen Körper eindringt und ihre Oberflächen glatter macht, ohne die Adhäsion zu befördern. Das Schmiermittel aber selbst wird um so besser sein, je weniger es klebrig und zähe ist oder die Neigung hat, theils am festen Körper sich festzusetzen, theils in sich selbst zusammenzuhängen.

Als Schmiermittel wendet man an: fein geriebenen und geschlemmten Graphit, Theer, Talg, Seife, Schweinefett, fette Oele, Wasser und andere zusammengesetzte Stoffe, namentlich die aus Fett und fein gepulvertem Graphit bestehende Antifriktionsschmiere. Für poröse Körper sind die zähen, für Metalle die leicht flüssigen Schmiermittel geeignet; bei Wasserrädern kann man einen feinen Wasserstrahl fortwährend auf die Radaxe leiten; bei Eisenbahnwagen wendet man ein fettes Oel an, welches aus einem kleinen Gefäße tropfenweise auf die Radaxen gelangt. Bei Holz auf Holz, Metall auf Metall und bei Holz auf Metall oder umgekehrt, kann man durch das Schmiermittel die Reibung auf 7- bis 8 Hundertel des Druckes herabsetzen. Da aber die Schmiermittel durch die Reibung selbst Veränderungen erleiden und zähe werden, wodurch sie die Bewegung hemmen, so müssen die Körper von Zeit zu Zeit gereinigt werden.

Wenn die Friktion zwischen Guß und Erz noch 0,25 betrug, so wurde sie durch Oel 0,17, Fett 0,11, Seife 0,026, Talg 0,025, Antifriktionsschmiere 0,019.

Erfahrungen für das Maß der Reibung.

Da die verschiedenen Körper in Betreff der Beschaffenheit ihrer Oberfläche, ihrer Härte, ihres ganzen Gefüges u. s. w. außerordentlich verschieden sind, so ist es nicht möglich, ein für alle Körper geltendes Gesetz zur Bestimmung der Reibung anzugeben. Unter übrigens gleichen Umständen steht die Reibung harter Körper so ziemlich, namentlich bei großen Belastungen und kleinen Reibungsflächen, mit der drückenden Kraft, welche die Oberflächen der Körper lothrecht gegen einander preßt, in gleichem Verhältnisse, ist aber von der Größe der Oberflächen weniger abhängig, weil bei der vermehrten Anzahl der einander reibenden Punkte der Druck auf gleich große Stellen in demselben Verhältnisse vermindert wird, wenn er nur im Ganzen derselbe geblieben ist. Je härter die Körper sind, von desto geringerem Einflusse auf die Reibung ist die Größe der Berührungsfläche. Wenn auch Schmiermittel die eigentliche Reibung vermindern, so ist doch ihre Anwendung bei großer Berührungsfläche der hervorzubringenden Bewegung weniger

förderlich, da sie das Zusammenhängen der beiden Oberflächen vermehren.

In Betreff der bei der Bewegung stattfindenden Reibung ist zu bemerken, daß unter übrigens gleichen Umständen bei großen Reibungsflächen die Reibung mit vermehrter Geschwindigkeit etwas zunimmt, während sie bei sehr kleinen Reibungsflächen innerhalb ziemlich weiter Gränzen der Geschwindigkeit, nämlich von 0,003 bis 3 Meter für die Sekunde, unverändert bleibt, ja sogar eher abnimmt. Es ist also im Ganzen die Reibung von der Geschwindigkeit wenig abhängig.

Im Allgemeinen ist die Reibung zweier Körper aus demselben Stoffe größer, als die verschiedenartiger, und ist in beiden Fällen von der Zeit, während welcher die Körper in ruhiger Berührung waren, nicht unabhängig. Der Reibungskoeffizient erreicht erst nach einiger Zeit seinen größten Werth: bei Metallen fast sogleich, bei Holz auf Holz nach einigen Minuten, bei Holz auf Metall sogar erst in einigen Tagen. Es ist also bei Körpern, die längere Zeit mit einander in Berührung gewesen sind, die Reibung bei beginnender Bewegung größer, als während derselben, so daß man nach einigem Stillstande einer größeren Kraft bedarf, um die Bewegung wieder anzufangen, als die war, welche vorher angewendet wurde. Die Reibung kann während der Bewegung so groß sein, daß ein weicherer Körper (Kupfer, Eisen) einen härteren und ruhenden abzuschleifen im Stande ist.

Der Reibungskoeffizent läßt sich für die verschiedenen Fälle und Körper nur durch die Erfahrung finden und wir wollen nun darüber Einiges angeben.

Wenn Eichenholz auf eben solchem nach der Richtung der Fasern geschleift wird, so war der Koeffizient 0,42. Bei einer größeren Reibungsfläche war für einen bis zu 2474 Pfunden steigenden Drucke die Reibung kaum halb so groß, wenn man die Berührung nur einen Augenblick dauern ließ, in Beziehung auf die nach einiger Zeit erst erlangte volle Stärke; bei einer kleinen Reibungsfläche und demselben Drucke war der Einfluß der Berührungszeit unmerklich. Geschah die Bewegung des als Unterlage dienenden Eichenholzes mit seinen Fasern quer gegen die Fasern des festliegenden Tisches, so war der nach einiger Berührungszeit hervorgehende höchste Werth des Reibungskoeffizienten nur 0,27, also viel kleiner, als der vorige, weil bei Kreuzung der Fasern nicht ein so starkes Ineinandergreifen der kleinen Unebenheiten stattfinden kann, als bei der parallelen Richtung.

Bei Holz und Metall ist die längere Berührungszeit von auffallendem Einflusse. Eine Last von 1650 Pfunden auf Unterlagen von Eisen über Eichenholz nach der Richtung der Fasern gezogen, verlangte nach einer Berührungszeit von ½ Sekunde nur 125 Pfunde Kraft, nach 80 Sekunden schon 145 Pfunde, nach 16 Stunden 280 Pfunde, und nach 4 Tagen gar 340 Pfunde, so daß der Reibungskoeffizient

zwischen 0,08 und 0,2 mit zunehmender Berührungszeit wächst. — Bei Metallen dagegen ist die Berührungszeit von geringem Einflusse, die durch wiederholten Gebrauch vermehrte Politur wirkt bei kleinen Berührungsflächen günstig und kann den Koeffizienten von 0,26 auf 0,17 herabsetzen.

Bei der Anwendung von Schmiermitteln auf Holz nimmt die Reibung während einer auffallend langen Zeit zu. Wenn man eine Seifenschicht von ½ Linie Dicke bei größeren Reibungsflächen anwendete, so erreichte die Reibung, selbst wenn die Bestreichung nach mehrmaligem Gebrauche abgeglättet war, erst nach 6 Tagen ihren größten Werth: bei 3250 Pfunde Druck betrug sie im ersten Augenblicke 120 Pfunde, nach 1 Minute 413 Pfunde, nach 1 Stunde 880 Pfunde, nach 5 Tagen 1200 bis 1550 Pfunde. Bei einer sehr kleinen Reibungsfläche erlangte die Reibung sehr bald ihre größte Stärke.

Metallflächen zeigen auch mit Anwendung von Schmiermitteln keine große Verschiedenheit bei ungleicher Dauer des Druckes, indem die Reibung etwa nur von 0,09 bis 0,10 steigt.

Ist die Bewegung eingeleitet, so ist zu ihrer Fortsetzung nur eine Kraft erforderlich, welche die Reibung überwindet. Die Reibung *während der Bewegung* bei Eichenholz auf Eichenholz ist ziemlich genau 0,105 und mit gekreuzten Fasern nicht viel geringer, als bei parallelen, doch beträgt sie bei geringerer Belastung einen größeren Theil des Druckes, was wohl von der Beugung der Fasern herrührt. — Wenn Eisen auf Eichenholz mit geringer Geschwindigkeit sich bewegt, so beträgt die Reibung etwa 0,18 des Druckes, bei größerer Geschwindigkeit etwas mehr. Wird das Eichenholz mit Seife bestrichen und über Eichenholz fortgezogen, so beträgt der Reibungskoeffizient nur 0,037; wird aber der Druck dabei vermindert, so nimmt er zu, weil die Adhäsion dann merklicher wird (welche auf 180 Quadratzolle 5 Pfunde beträgt), während sie bei starkem Drucke gegen den dem Drucke verhältnißmäßigen Theil fast nicht in Betracht kommt.

Stählerne Axen in kupfernen Büchsen geben 0,15 bis 0,19 bei allen stärkeren Belastungen als Reibungskoeffizient, während er bei schwachen etwas größer ist. Bei Anwendung von feiner Seife geht er sogar bis auf 0,09 herab Die gleitende Reibung der Axen in ihren Büchsen ist im Allgemeinen etwas kleiner, als die ebener Flächen über einander.

Auch über die *wälzende* Reibung sind hinreichend Versuche angestellt. Eine Scheibe aus Tannenholz von 22 Zoll Umfang rollte auf einer schiefen Ebene für alle Neigungswinkel bis zu 21° genau mit vollkommener Wälzung herab und erst bei 50° Neigung konnte, da hier die gleitende Reibung etwas mehr als ⅓ betrug, eine Abweichung von der vollkommenen Wälzung ziemlich merklich werden. Bei lothrechter Stellung der Ebene hört natürlich die Wälzung ganz auf.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eine Walze von Goujakholz auf Eichenholz fortgewälzt, zeigte bei 6 Zoll Durchmesser eine Reibung von 0,006 des Druckes und bei 2 Zoll Durchmesser 0,018; also ist die wälzende Reibung, wie es als gesetzmäßig angegeben worden ist, wirklich im umgekehrten Verhältnisse des Durchmessers vorhanden.

Ein nur oberflächlich eben gemeißelter Steinblock von 1080 Pfunden wurde zuerst auf der Felsenfläche des Steinbruches mit 758 Pfunden Kraft fortgeschleppt; dann legte man ihn auf einen Bretterschlitten und zog ihn auf einer hölzernen Unterlage fort mit 606 Pfunden, so daß der Reibungskoeffizient 0,56 beträgt; darauf wurden beide Holzflächen mit Seife bestrichen und man bedurfte nun blos 182 Pfunde Kraft (Reibungskoeffizient 0,17); endlich legte man den Stein auf Walzen von 3 Zoll Durchmesser, welche auf einem Bretterboden sich befanden und die Kraft zum Fortziehen des Steines betrug nur 28 Pfunde, folglich die wälzende Reibung 0,026.

Wie vortheilhaft schon das bloße Einseifen ist, zeigt sich auch, wenn man Schiffe vom Stapel läßt.

Wenn bei Eisenbahnwagen die gleitende Reibung an den Büchsen bei guter Schmiere 0,035 (im Mittel freilich höher) gerechnet wird, so ist die wälzende an den Rädern nur 0,00032 von der Last gefunden worden.

Das Zugvieh hat auf einer genau horizontalen Straße nur die Reibungswiderstände zu überwinden. Wäre ein Weg so gut geebnet, daß ein Lastwagen auf ihm, wenn er auf 36 Fuß Länge 1 Fuß Steigung hat, von selbst herabrollte und somit die Reibung von der gleitenden (respektiven) Kraft überwunden würde, so wäre zur Fortschaffung des Lastwagens auf einem solchen horizontalen Wege nur $\frac{1}{36}$ seiner Last erforderlich, so daß 100 Pfunde Kraft eine Last von 3600 Pfunden in Bewegung setzen würden. Aber beim Schleifen der Last auf einem solchen Wege oder beim Fahren auf einem Sandwege beträgt die Reibung wohl die Hälfte bis 0,8 der Last, bei Schlitten auf guter Schneebahn nur $\frac{1}{25}$.

Auf weichen Wegen wächst der durch das Einschneiden der Räder erzeugte Widerstand in einem größeren Verhältnisse, als die Last, und daher ist es vortheilhaft, dieselbe auf mehre Wagen zu vertheilen. Bei gleichem Gewichte einer Last sammt den Wagen ziehen 8 Pferde auf 8 Wagen ebensoviel, als 16 Pferde auf einem Wagen. Die Tiefe des Einschneidens eines bestimmten Wagens hängt im graden Verhältnisse von der Weichheit des Weges und im umgekehrten der Breite der Radfelgen ab Vierrädrige Wagen sind besser, als zweirädrige Karren bei derselben Belastung.

Wollte man die Reibung auf Eisenbahnen nur $\frac{1}{10}$ von der auf Kunststraßen rechnen (was ohngefähr so ist, wenn man das Verhältniß der Reibungskoeffizienten 0,003 zu 0,027 annimmt), so würde auf

horizontaler Bahn die Kraft nur $\frac{1}{360}$ von der Last sein und man könnte mit 100 Pferden Kraft eine Last von 36000 Pfunden in Bewegung setzen; man nimmt aber die Reibung im Mittel gewöhnlich auf $\frac{1}{200}$ der Last an.

Wenn der Reibungskoeffizient für eine gute Chaussee 0,037 ist, so würde ein Pferd zum Ziehen von 1000 Pfunden gegen 37 Pfunde Kraft verwenden müssen; ist aber der Reibungskoeffizient bei Eisenbahnen mit gewölbten Schienen nur 0,004, so bedarf man zu 1000 Pfunden nur 4 Pfunde, und rechnet man eine Pferdekraft zu 500 Pfunden, so würde sie im Stande sein, 125 mal 1000 oder 125000 Pfunde in Bewegung zu setzen, wenn die Reibung sich gleich bliebe mit der Vergrößerung der Last. — Gußeiserne Räder auf ebenen Gußeisenschienen haben 0,018 und Wagenräder auf sandigem Wege 0,13 als Reibungskoeffizient.

Die Eisenbahnen lassen keine bedeutenden Steigungen zu, weil die gleitende Kraft die Reibung an den Schienen bald übertrifft, wobei besonders das bedeutende Gewicht der Eisenbahnwagen zu berücksichtigen ist, denn auf derselben schiefen Ebene wird ein leichterer Wagen mit geringerer Kraft herabrollen, als ein schwererer, und zwar im graden Verhältnisse des Gewichtes. — Ist der Reibungskoeffizient sehr klein, so muß die Kraft zum Hinaufziehen einer Last auf einer schiefen Ebene sehr bedeutend wachsen, wenn auch der Neigungswinkel nur um Weniges zunimmt. Wäre der Reibungskoeffizient 0,00625 (oder $\frac{1}{160}$), so müßte für eine Steigung von 9 Fuß auf 1000 Fuß (Neigungswinkel 1°) die Kraft schon zum $2\frac{1}{2}$ fachen wachsen gegen die auf horizontaler Bahn nothwendige. Brauchte man auf horizontalem Wege nur den 380sten Theil der Last, so müßte man bei 1 Fuß Steigung auf 380 Fuß die Kraft schon verdoppeln. Wäre aber der Reibungskoeffizient 0,04 (oder $\frac{1}{25}$), so müßte die Zugkraft bei $17\frac{1}{2}$ Fuß Steigung auf 1000 Fuß nur bis zum $1\frac{1}{2}$ fachen vergrößert werden.

Die Verminderung der Reibung gewährt also nur bei ganz horizontalen Bahnen den größten Vortheil, und da man bei Pferde-Eisenbahnen dem einen Pferde so viel zu ziehen zumuthet, als es auf einer horizontalen Bahn fortbringen kann, so müßte man bei 7 Fuß Steigung auf 1000 Fuß schon 2 Pferde vorspannen.

Die folgende Tabelle enthält die Reibungskoeffizienten für einige wichtige Fälle mit einigen Abweichungen anderer Beobachter.

Eisen auf Eisen (0,138)	0,277	Kiefern auf Kiefern (Tannen) . .	0,562
" " Messing	0,263	Wege mit losem Sande	0,227
" " Kupfer.	0,170	Frisch beschüttete Chausseen . . .	0,134
Gußeisen auf Bronce	0,147	Landwege	0,103
Eichenholz auf Eichen quer (0,32)	0,273	Fester Wiesenboden	0,040
" " " lang (0,48)	0,418	Gute Chausseen	0,027
Eichen auf Gußeisen	0,372	Eisenbahnen	0,003
" " Kiefern (Tannen) . .	0,667		

Um also z. B. 100 Pfunde Eisen auf Eisen zu bewegen, ist eine Kraft nothwendig, welche 27,7 Pfunde zu heben im Stande ist. — Nach diesen Untersuchungen würden bei Wagen eiserne Radaxen in broncenen Nabenfuttern das Vortheilhafteste sein. Ueberhaupt ist im Allgemeinen die Reibung zwischen gleichartigen Körpern größer, als die zwischen ungleichartigen. — Bei feinen Wagen läßt man stählerne Zapfen auf gut polirten harten Steinen, wie z. B. Achaten, sich bewegen. Ebenso bei Pendeln, welche lange und gut schwingen sollen.

Vortheile und Nachtheile der Reibung.

Die Reibung ist in einer doppelten Beziehung zu berücksichtigen: einerseits erleichtert sie uns die Erhaltung der Ruhe, andererseits erschwert sie die Bewirkung der Bewegung. Für die Ruhe ist sie ein Vortheil, für die Bewegung ein Hinderniß, und es fragt sich nur, was wir bezwecken, um in ihr einen Vortheil oder Nachtheil zu erkennen: wollen wir aus der Bewegung die Ruhe haben, so gewährt sie uns Vortheil, wollen wir aus der Ruhe die Bewegung erhalten, so ist sie nachtheilig. Bei der Verwerthung von Kräften durch Maschinen bringt sie sowohl Nachtheile, als Vortheile, jene aber in höherem Maße.

Denken wir uns einmal einen Augenblick alle Reibung zwischen den Körpern fort, so würde selbst auf einer vollkommen horizontalen Ebene der leiseste Anstoß hinreichend sein, den schwersten Körper in Bewegung zu setzen, und das Beharrungsvermögen würde ihn in der durch die angewendete Kraft ertheilten Geschwindigkeit in alle Ewigkeit erhalten. Der leiseste Luftzug würde hinreichend sein, alle Körper in Bewegung zu setzen, so daß sie in wilder Verwirrung durch einander stürzen würden. Diese Bewegung würde auch ohne äußeren Anlaß eintreten, wenn sich die Körper auf einer selbst äußerst wenig geneigten Ebene befänden. Es wäre uns selbst absolut unmöglich, auf einer schiefen Ebene auf- und abwärts zu gehen; auf recht glattem, horizontalem Eise wird uns ja das Laufen wegen der geringen Reibung schon sehr erschwert. Ohne alle Reibung würde man auch auf der horizontalen Ebene nicht gehen, reiten oder fahren können; man könnte nichts mit den Händen oder einer Zange anfassen; die Nahrungsmittel würden uns entschlüpfen; man würde keinen Knoten machen können, die Fäden der Gewebe würden auseinander gleiten, die Nägel würden nicht fassen, die Keile nicht eindringen, die Schrauben nicht anziehen. Doch, wir wollen das trostlose Bild der Verwirrung in der irdischen Welt, welches sich ohne Reibung zeigen würde, nicht weiter ausmalen, sondern uns lieber zu den wirklichen Thatsachen wenden.

In Betreff der Schrauben ist noch zu bemerken, daß die Reibung bei ihnen gestattet, jede andere Kraft wegzunehmen, wenn es blos auf

ein Erhalten der Last ankommt. Hat man mit einer Schraube auch eine bedrückende Last hinaufgeschraubt, so dreht sich dieselbe nicht zurück, wenn man losläßt, sondern die Gänge klemmen sich aneinander so fest, daß man zum Erhalten der Last weiter gar keine Kraft nöthig hat. — Von großem Nutzen ist uns die Reibung beim Herablassen und beim Freihalten einer großen Last oder wenn man die Bewegung eines massigen Körpers, z. B. eines Schiffes, allmälig vermindern will. Hat man eine um ihre Axe drehbare Welle und schlingt man ein Seil mehre Male um sie, so kann man wegen der Reibung des Seiles an dem Umfange der Welle an dem Seile eine bedeutende Last mit einer geringen durch die Reibung unterstützten Kraft entweder in der Schwebe halten oder auch langsam herablassen, indem sich dann die Welle dreht. Ist die Welle nicht drehbar, so kann man das Seil weniger oft umschlingen und es allmählig loslassen, ohne die Umwickelung aufzugeben, wobei sich das Seil an dem Umfange der Welle schleift. Dies benutzen die Schiffer häufig, um ihre Schiffe beim Landen allmählig anzuhalten. — Die Reibung der Taue an den Rollen der Flaschenzüge gestattet es auch, große Lasten mit einer geringeren Anstrengung schwebend zu erhalten, als es ohne dieselbe der Fall sein würde.

Die Reibung ist nur nachtheilig, insofern sie den verlangten Uebergang eines Körpers aus dem Zustande der Ruhe in den der Bewegung erschwert und die Geschwindigkeit des bewegten verzögert und allmählig schon aufhebt, wenn wir noch Bewegung zu haben wünschten.

Auch bei Maschinen bringt die Reibung mehr Vortheile als Nachtheile. Ohne sie würde es sehr schwierig, wenn nicht unmöglich sein, eine in Bewegung befindliche Maschine, z. B. eine Windmühle, zum Stillstande zu bringen. Durch Schnuren, Riemen, Ketten, welche man um Scheiben legt, trägt man die Bewegung eines Maschinentheiles auf einen anderen, oft sehr entfernten, aber bequem gelegenen über, was man Transmission nennt. Beim Herabfahren von steilen Wegen hemmen die Fuhrleute, indem sie entweder unter eines der Räder einen mittelst einer Kette am Wagen befestigten Hemmschuh schieben oder ein Rad anketten, damit es sich nicht drehe, sondern auf dem Wege nur schleife, oder endlich an die beiden Hinterräder eine dicke Stange oder einzelne Holzstücke mittelst einer Schraube u. dergl. anklemmen, damit die Räder sich nicht so schnell drehen können. — Auf den Eisenbahnen nennt man das Hemmen mittelst kreisbogenförmig ausgehöhlter Holzstücke, welche an die Räder ziemlich stark angeschraubt werden, Bremsen. — Die durch den Dampf gedrehten Triebräder der Lokomotive sind nur dann im Stande, auf der festen Unterlage eine wälzende Bewegung anzunehmen, wenn die Reibung an den Rädern und Schienen größer ist, als an den Radaxen, erstere wächst bei zunehmendem Gewichte der Lokomotive verhältnißmäßig mehr, als letztere.

Um auf der Violine und ähnlichen Instrumenten leicht Töne er-

zeugen zu können, müssen sowohl die Saiten, als auch der Haarbogen rauh sein, was man durch Bestreichen des Bogens mit Kolophonium erreicht, wodurch dann die Saite ihre Glätte auch verliert. — Die Seil- und anderen Tänzer bestreichen sich die Schuhsohlen mit Kreide; bei Glatteis streut man Sand oder Asche, was auch auf Eisenbahnen vortheilhaft ist. — Nur durch die Reibung ist es möglich, daß man Gegenstände, welche pulverisirt worden sind oder in kleinen Körnern. vorkommen, wie Mehl, Sand, Hirse, Korn, Weizen, Erbsen, Linsen, Oelfrüchte u. s. w. kegelförmig aufhäufen kann, wobei sie, je nach dem Grade ihrer Reibung, mit ihrer Seitenfläche einen bestimmten Winkel gegen die Grundfläche bilden. — Ohne Reibung würde man Instrumente nicht schärfen und poliren können.

Wie weit es in letzterer Beziehung und der damit zusammenhängenden Verminderung der Reibung die praktische Mechanik gebracht hat, davon führt der Astronom Bessel in seiner Schrift über die Länge des einfachen Sekundenpendels ein auffallendes Beispiel an. Ein massiver Zylinder paßte in einen hohlen, auf der einen Seite geschlossenen, von Glockenmetall so gut, daß, wenn er jenen in diesen steckte, die darin enthaltene Luft nicht entweichen konnte, sondern sich zusammendrücken ließ, und daß er dennoch eine ihm ertheilte Axendrehung in dieser Lage einige Minuten fortsetzte. Hierbei war unstreitig ein Spielraum zwischen den beiden Zylinderflächen, welcher nicht leer sein konnte, sondern Luft enthielt, und es ist diese Thatsache ein neuer Beweis davon, daß die festen Körper an ihrer Oberfläche eine Schicht verdichteter Luft besitzen, welche mit Hartnäckigkeit an ihnen haftet, indem sie in diesem Falle durch die vom massiven Zylinder zusammengepreßte Luft nicht verdrängt werden konnte.

Die Reibung flüssiger Körper gegen feste.

Wenn Wasser in offenen Gerinnen oder in abgeschlossenen Röhren, ebenso wenn Leuchtgas in Röhren fortgeführt wird, so erleiden sie zufolge der Reibung an den Wänden der festen Körper eine Verzögerung. Dasselbe gilt natürlich von allen übrigen Flüssigkeiten, wenn sie auch weniger oft angewendet werden. Das Fließen tropfbarer Körper in offenen Gerinnen wird durch ihr Gewicht, in geschlossenen Röhren durch den hydrostatischen Druck und das luftiger nur durch den mit ihrer Spannkraft verbundenen Druck hervorgebracht. Es zeigen aber verschiedene Flüssigkeiten gegen dieselben festen Körper, so wie dieselbe Flüssigkeit gegen verschiedene feste Körper und endlich auch dieselbe Flüssigkeit je nach ihrer Temperatur gegen einen bestimmten festen Körper ein verschiedenes Verhalten.

Durch Glasröhren fließt Wasser leichter, als Quecksilber, und letzteres hört bei geringem Drucke und engen Röhren sogar auf zu fließen,

während ersteres noch hindurchgeht. Wasser hat zu Glas mehr Anziehung (Adhäsion), als Queckſilber, und deshalb wird ersteres gleichsam durchgesaugt. — In gleicher Weise zeigt dieselbe Flüſſigkeit, z. B. Queckſilber, ein verſchiedenes Verhalten, jenachdem ſie Kapillarattraktion oder Depreſſion gegen ſie zeigt. — Durch eine Röhre von beſtimmter Weite und Länge fließt in einer gewiſſen Zeit mehr warmes Waſſer durch, als kaltes, und bei Röhren von geringer Weite kann der Unterſchied ſo bedeutend werden, daß 3 bis 4 mal mehr Waſſer von 100° C. oder 80° R. als von 0° Temperatur durchfließt. Dies ſcheint ein Widerſpruch zu ſein gegen die früher angeführte Thatſache, daß Vermehrung der Temperatur die Haarröhrchenanziehung vermindert, nicht aber gegen die obige Erſcheinung, daß bei der geringeren Anziehung des Queckſilbers auch die Ausflußmenge vermindert wird. Wir werden zur Löſung dieſes Widerſpruches wohl annehmen dürfen, daß die Wärme, weil ſie die Körper ausdehnt, auch leichter flüſſig macht, und die Reibung im Inneren, welche das Fließen hindert, mehr aufhebt. Bei Alkohol tritt mit Verminderung der Temperatur bis 110° Kälte ein Zuſtand von Zähigkeit ein, ſo daß er nur wie Oel flüſſig iſt.

Fließt Waſſer in einem offenen Bette mit Gefälle, ſo ſollte ſich ſeine Geſchwindigkeit eigentlich beſchleunigen, weil die Schwere fortwährend bewegend auf daſſelbe einwirkt; aber die Geſchwindigkeit iſt nicht nur kleiner, als es das Gefälle verlangt, ſondern ſie kann ſelbſt eine ziemlich gleichmäßige werden, weil es ſich an dem Boden und den Seitenwänden des Bettes reibt und die Kohäſion der Waſſertheilchen im Innern des Gewäſſers, ſo wie ſelbſt die Reibung an der Luft hindernd einwirkt. Daher iſt auch in einem Flußbette die Geſchwindigkeit des Waſſers am größten gegen die Mitte unterhalb ſeines Spiegels und es ſteht in der Mitte wegen des geringern Widerſtandes etwas höher, als an den Ufern. Bei einem graden Kanale iſt die mittlere Geſchwindigkeit des Querſchnittes 0,8 von der größten Geſchwindigkeit. Es iſt alſo auch natürlich, daß bei einer beſtimmten Waſſermenge und einem beſtimmten Gefälle die Geſchwindigkeit mit der Breite des Bettes oder des Gerinnes abnehmen muß. Will man ſich des Waſſers als einer bewegenden Kraft bedienen, ſo muß man darauf bedacht ſein, ihm eine möglichſt große Geſchwindigkeit zu geben, unmittelbar ehe es zur Wirkſamkeit gelangt. Je kleiner der Umfang des benetzten Querſchnittes im Vergleiche zu ſeinem Flächeninhalte iſt, deſto vortheilhafter iſt das Gerinne: ein Halbkreis iſt vortheilhafter, als ein halbes Quadrat, dieſes beſſer, als ein halbes regelmäßiges Sechsſeit u. dergl.

Die Reibung des Waſſers am Flußbette iſt auch der Grund von der Erweiterung deſſelben; je ſchneller das Waſſer fließt, deſto mehr ſpült es von dieſem ab, und ſetzt den Sand und Schlamm an den langſamer fließenden Stellen ab. Machen alſo Flüſſe Biegungen, ſo iſt das Ufer von der äußeren (oder konvexen) Seite derſelben ſteiler, als

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

an der inneren. Es ist natürlich, daß Verengungen der Flußbette die Geschwindigkeit des Wassers vergrößern und auf diese Weise bewirken, daß das Bett mehr ausgetieft wird. Wenn daher ein Fluß für die Schiffahrt nicht mehr das nöthige Fahrwasser darbieten will, so baut man vom Ufer aus Wuhnen, d. h. Dämme aus Strauchwerk, Erdboden und Steinen ins Bett. Die Wuhnen dienen zugleich dem Ufer zum Schutze gegen das weitere Ausspülen desselben, weil sich das Wasser an ihnen stößt und nur sehr abgeschwächt ans Ufer selbst gelangen kann. Wuhnen, die gegen die Verbreiterung des Flusses gerichtet sind, hindern natürlich auch die Verflachung. Bisweilen wird es nothwendig, die Flüsse vollständig einzudämmen, um die nöthige Tiefe, unter Umständen auch Geschwindigkeit (bei Mühlen z. B.) zu erhalten und Ueberschwemmungen zu erschweren oder zu verhindern.

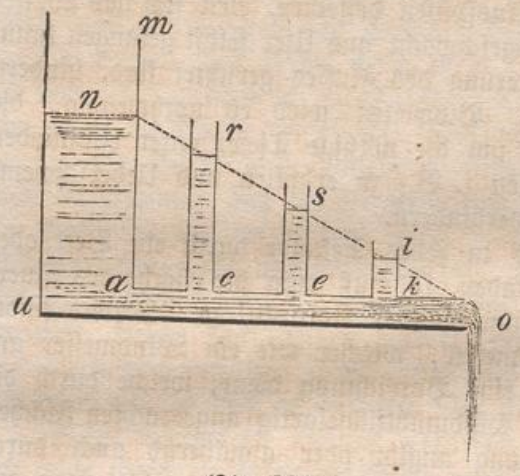
Will man die Menge des in jeder Sekunde durch ein Bett oder Gerinne abfließenden Wassers finden, so muß man die Fläche des Querschnittes mit der mittleren Geschwindigkeit multipliziren. Letztere findet man durch einen sogen. Strommesser, welcher wie ein Windmesser angefertigt sein kann, wozu auch eine Vorrichtung dient, welche durch die Schnelligkeit der Drehung von windmühlflügelartig angebrachten Flächen die Geschwindigkeit der Strömung angibt oder annähernd auch durch die Bestimmung der Geschwindigkeit von Gegenständen, welche man auf der Wasseroberfläche schwimmen läßt.

Ist Wasser in Röhren einem Drucke ausgesetzt, indem es mit einem höher gelegenen Wasserbehälter verbunden ist, so ist dieser Druck im Ruhezustande auf gleich große Stellen, welche in derselben horizontalen Richtung liegen, gleich groß; wenn aber das Wasser durch solche Röhren fließt, so wird der Druck auf die Röhrenwand um so kleiner, je näher man der Ausflußstelle kommt, oder je weiter das Wasser in der Röhre bereits geflossen ist, und in demselben Verhältnisse wird auch die Geschwindigkeit des fließenden Wassers kleiner, bis sie endlich bei einer gewissen Länge der Röhre Null wird, so daß das Wasser nicht mehr in einem bogenförmigen Strahle herausströmt, sondern an der Röhrenmündung lothrecht herabfällt. Die Länge der Röhre aber, bei welcher dieses stattfindet, ist noch von der Weite derselben abhängig; denn das Wasser wird sich an den Wänden einer engen Röhre mehr reiben, als an denen einer weiten, indem die Wassermenge in der engen Röhre im Verhältnisse zur Reibungsfläche kleiner ist, als in der weiten, und somit der Widerstand in jenem Falle größer, als in diesem. Endlich aber wird eine glatte Porzellanröhre einen kleineren Reibungswiderstand darbieten, als eine unglasirte Thonröhre oder als eine rauhe Eisengußröhre.

Wenn für den letzteren Fall, wie er bei Wasserleitungen in Städten meistens vorkommt, die Länge der Röhre l, ihr Durchmesser d und die drückende Kraft k heißt, so gibt Prony für die in Metern

ausgedrückte Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers den Ausdruck $g = 26{,}79 \sqrt{\frac{dk}{l}}$ an.

In welcher Weise der Druck des Wassers auf die Röhrenwände durch die Ueberwindung des Reibungswiderstandes und der Adhäsion geschwächt wird, kann man leicht erkennen, wenn man vom Boden eines Gefäßes m u (Fig. 205) aus eine so lange Röhre a o gehen läßt, daß an ihrer Mündung das Wasser ohne Seitendruck ausfließt und auf dieser Röhre an verschiedenen Stellen lothrechte Ansatzröhren, wie c r, e s, k i anbringt; so wird das Wasser in ihnen um so weniger hoch steigen, je näher sie der Mündung o sind. Die Steighöhen bekommt man, wenn man von dem Niveau n des Druckwassers im Gefäße lothrecht über dem Anfangspunkte a der Röhre a o die grade Verbindungslinie nach der Mündung o zieht: das Wasser steigt nur bis zu dieser Linie.



(Fig. 205.)

Fließt aber das Wasser bei o noch mit einer gewissen Geschwindigkeit aus, so kann es in den Röhren nicht so hoch steigen. Je größer die Geschwindigkeit des Wassers in der Röhre ist, desto geringer ist sein Druck auf die Röhrenwände, und wir sehen auch hier die früher schon bei der Bewegung der festen Körper aufgestellte Behauptung bestätigt, daß die Kraft eines bewegten Körpers sich um so mehr in der Richtung seiner Bewegung geltend macht und die Schwere (hier den Druck) überwindet, je größer die Geschwindigkeit ist. Ist die Ausflußgeschwindigkeit bei o z. B. noch $\frac{1}{4}$ von der theoretischen, d. h. von der, wie sie ohne Reibung stattfinden würde, so muß die Röhre dicht am Boden des Gefäßes als Seitendruck noch $\frac{3}{4}$ aushalten und in der dort befindlichen Auffatzröhre c r muß dann das Wasser noch bis auf $\frac{3}{4}$ der Druckhöhe steigen. Wenn die Röhre e s im Halbirungspunkte der a o aufgesetzt ist, so ist von e bis o nur noch die Hälfte der Reibung zu überwinden und das Wasser kann in e s nur halb so hoch, als in c r steigen.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, wie in den zum häuslichen Gebrauche vorhandenen Wasserleitungen die Kraft und Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers verschieden ist, je nach dem anderwärts in Anspruch genommenen Gebrauche der Leitung.

Um bei Sprin,strahlen die Höhe möglichst zu vergrößern, muß

man den Leitungen so wenig als möglich Biegungen geben, weil das Wasser durch den an ihnen erlittenen Stoß seine Geschwindigkeit vermindert, namentlich, wenn die Wendungen unter kleinen Winkeln geschehen; sind sie nicht zu vermeiden, so muß man sie so flach als möglich machen, wenn auch der Weg dadurch etwas länger ist. Ferner ist es zur Verminderung der Reibung gut, an dem Ende der Leitung, wo die eigentliche Springröhre aufgesetzt wird, nur eine dünne Platte aufzulegen.

Wenn Wasserleitungen nicht grade fortgehen, sondern abwechselnd steigen und fallen, so bringt man an den höchsten Stellen sogenannte Windstöcke an und an den tiefsten Wechselhäuschen, um durch jene die etwa sich ansammelnde Luft, durch diese den Schmutz abzulassen.

Wie das Wasser, erleidet auch die Luft bei ihrer Bewegung in Röhren, wie z. B. in Leuchtgasleitungen, und überhaupt an anderen Körpern einen Reibungswiderstand. Um ihn zu überwinden, wird ein Theil der Spannung des zusammengedrückten Gases verwendet und dieser Theil geht dann für die Geschwindigkeit verloren. Der Reibungswiderstand nimmt um so mehr ab, je mehr man sich dem Ende der Röhre nähert, je geringer die Geschwindigkeit und je größer der Durchmesser der Röhre ist, so daß er mit der ganzen Länge der Röhre und dem Quadrate der Geschwindigkeit in gradem und mit dem Durchmesser der Röhre im umgekehrten Verhältnisse steht.

Die Ausflußgeschwindigkeit ist um so kleiner, je dichter das Gas ist. Wenn die Geschwindigkeit für atmosphärische Luft gleich 1 gesetzt wird, so ist sie nach genauen Versuchen bei einem gleichen Drucke für Sauerstoff 0,950, Kohlensäure 0,812, Kohlenwasserstoffgas 0,1332, Wasserstoffgas 3,613. Durch enge Oeffnungen geht Wasserstoff am leichtesten, Sauerstoff am schwersten. Ueberhaupt aber verhalten sich die Ausflußgeschwindigkeiten unter übrigens gleichen Umständen wie umgekehrt die Quadratwurzeln der spezifischen Gewichte: verhalten sich die letzteren z. B. wie 9 : 4, so verhalten sich die Geschwindigkeiten wie 2 : 3. Wenn die Luft in einen luftleeren Raum strömt, so ist ihre Geschwindigkeit unabhängig von dem Drucke, welchen sie erleidet, weil dieser mit der Dichtigkeit in gradem Verhältnisse steht, und sie beträgt 1217,4 Fuß. Strömt aber Luft in einen Raum mit Luft von geringerer Spannung, so ist die Ausflußgeschwindigkeit von dem Unterschiede beider Spannungen abhängig. Der Unterschied der Spannungen wird gewöhnlich (z. B. bei den Gasometern) durch die Höhe einer Wassersäule angegeben. Um der Luft eine Geschwindigeeit von 50 Metern oder 158 Fuß, also eine größere, als sie die heftigsten Orkane besitzen, zu geben, ist eine Druckdifferenz von 18 Centimetern oder 82,6 Linien erforderlich.

Die Ausflußmenge nimmt unter übrigens gleichen Umständen, d. h.

bei einer gewissen Röhrenweite und einem gewissen Drucke auf die Luft in der Art mit der Länge der Röhren zu, daß die Menge des Gases bei 4, 9, 16, 25 . . . mal längeren Röhren 2, 3, 4, 5 . . . mal geringer ist. (Die Mengen des ausfließenden Gases verhalten sich wie umgekehrt die Quadratwurzeln aus den Röhrenlängen.) —

Sollen Schornsteine oder sogen. russische Röhren bei übrigens richtiger Anlage und Weite, wozu bei Schornsteinen, wie wir in der Lehre von der Wärme noch näher entwickeln werden, eine angemessene Verengung nach oben gehört, einen recht guten Zug haben, so ist es nothwendig, daß ihre Innenflächen möglich glatt seien, was immer noch zu wenig beachtet zu werden scheint, aber aus der oben angegebenen, ziemlich schnellen Abnahme der Ausflußmenge, also auch der Geschwindigkeit, einer Berücksichtigung werth sein dürfte.

Ein unter einem gewissen Drucke aus einer Oeffnung fließender Luftstrahl behält nicht die Weite der Oeffnung bei, sondern verengt sich oder zieht sich wegen des Stoßes an den Wänden der Mündung ganz in ähnlicher Weise zusammen, wie es bei tropfbaren Flüssigkeiten der Fall war. Daher ist die wirkliche Ausflußmenge aus einem Luftbehälter stets kleiner, als das Produkt aus der Weite der Oeffnung und der Geschwindigkeit: sie beträgt bei atmosphärischer Luft nur 0,52 davon, steigert sich bei einer kurzen, kegelförmigen Ansatzröhre bis auf 0,6 und ist am größten, wenn bei einer sich erweiternden der äußere Durchmesser das Doppelte des inneren und die Länge 5 bis 10 mal so groß ist, als der letztere.

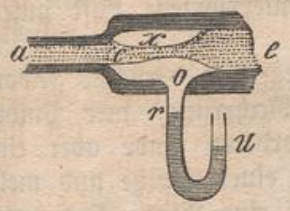
Die Stärke der Zusammenziehung des Luftstrahles richtet sich nach dem Unterschiede des Druckes, welcher zwischen dem abgesperrten ausströmenden Gase und dem äußeren stattfindet: ist jener um 0,003 oder 0,010 oder 0,50 oder um 1 größer, so ist der Durchmesser des engsten Theiles des Strahles von dem der Mündung des Gefäßes nach der Reihe 0,71, 0,65, 0,58, 0,55.

Eine recht auffallende Erscheinung ist es, daß der durch einen engen Spalt oder ein Röhrchen dringende Luftstrahl einen vorgehaltenen breiteren Gegenstand nicht wegbläst, sondern daß dieser Gegenstand in einzelnen, schnell auf einander folgenden Schlägen sogar an die Mündung angedrückt wird. Man erkennt dieses schon, wenn man die eine Hand horizontal mit der inneren Seite nach unten hält, durch einen Spalt zwischen zwei Fingern mit dem Munde heftig bläst und ein Stückchen Papier unter den Spalt hält. Das Papier wird während des Blasens nicht herabfallen, sondern frei getragen. Man kann auch durch den Spalt ein Röhrchen bis zur Gränze der Handfläche stecken und ein Kartenblatt unterhalten. Kommt ein hinreichend starker Strahl aus einem Rohre durch eine Fläche, so kann sogar eine Metallscheibe

schon in einiger Entfernung angedrückt werden und bewegt sich dann abwechselnd mit einem brausenden Tone hin und her.

Der Grund zu dieser sonderbaren Erscheinung liegt theils darin, daß sich wegen der Zusammenziehung des Luftstrahles an seiner engsten Stelle, wo er die größte Geschwindigkeit hat, die Neigung zur Bildung eines luftleeren Raumes zeigt, in welchen die Scheibe durch den Druck der äußeren Luft gepreßt wird, theils darin, daß die auf die Scheibe schnell geblasene Luft ebenso schnell auf der Innenfläche derselben seitwärts zu entweichen sucht, weshalb ihr Druck auf diese Innenfläche geringer wird, als der von der Atmosphäre auf die Außenfläche ausgeübte.

Man kann es an dem ausströmenden Luftstrahle selbst sehr leicht erkennnen, wie sein Seitendruck nach außen mit zunehmender Geschwindigkeit, also gegen die engste Stelle hin, abnimmt, wenn man die Luft aus der engeren Röhre a c (Fig. 206) in eine weitere c e gelangen läßt. Geht nämlich von o aus in der Nähe der engsten Stelle x des zusammengezogenen Strahles nach unten eine zweischenkliche offene Glasröhre o u n, worin sich etwas Wasser befindet, so steht dasselbe in beiden Schenkeln gleich hoch, wenn durch das Rohr die Luft nicht geblasen wird. Geht aber ein Luftstrahl hindurch, so steigt das Wasser sofort in dem mit dem Rohre verbundenen Schenkel, zum Zeichen, daß jetzt der Druck auf die Mündung o im Rohre geringer ist, als auf den äußeren offenen Schenkel u, auf welchen die freie Atmosphäre drückt.



(Fig. 206.)

Zum Theil hierher gehörig ist auch die Erscheinung, daß bei und vor Stürmen das Barometer oft bedeutend fällt, denn die über die Erdoberfläche hinweg stürmende Luft legt ihre ganze Kraft in die Richtung ihrer Bewegung und somit wird ihr Druck nach unten auf alle Körper, also auch auf das Quecksilber im offenen Schenkel des Barometers, geringer Wenn das Barometer schon vor dem Sturme fällt, so ist derselbe eneweder bereits in höheren Schichten der Atmosphäre vorhanden oder es findet an dem Beobachtungsorte eine bedeutende Auflockerung der Luft statt. Auch Wirbelstürme müssen außerhalb des Wirbels das Barometer fallen machen.

Reaktion.

Wenn Gase unter einem gewissen Drucke einseitig aus geschlossenen und leicht beweglichen Röhren strömen, so zeigt sich, wie bei tropfbaren Flüssigkeiten, die Erscheinung der Reaktion oder Rückwirkung, indem sich dergleichen Röhren nach der Richtung bewegen, namentlich drehen, in welcher der Druck geblieben ist. Wenn also z. B. das Gas, welches

auch angezündetes Leuchtgas sein kann, aus der Mündung einer nach rechts gekrümmten und drehbaren Röhre unter einem Drucke strömt, so wird die Röhre nach links gedreht, weil nach der rechts liegenden Oeffnung der innere Druck auf die fehlende Röhrenwand verschwunden, nach der links liegenden Wand aber geblieben ist. Diese Rückwirkung ist es auch, welche bei Feuerwerken durch die bei der Entzündung des Pulvers in Röhren an drehbaren Rädern einseitig ausströmenden, oft buntfarbigen Pulvergase die interessantesten Erscheinungen zeigen, besonders wenn bunte Räder hintereinander gleichzeitig und entgegengesetzt sich drehen.

Auch das Steigen der Leuchtkugelgranaten und Raketen, manchmal bis zu einer Höhe von 4000 Fußen, ist eine Folge jener Rückwirkung. Die Mündung der Rakete muß durch Verlegung des Schwerpunktes unter sie mittelst eines langen Stabes stets unten erhalten werden, damit bei der Ausströmung des Gases von unten der Druck nach oben bleibt. Der Stoß des ausströmenden Gases auf die unterhalb in Ruhe befindliche und dem Beharrungsgesetze unterworfene Luft unterstützt die Bewegung nach oben.

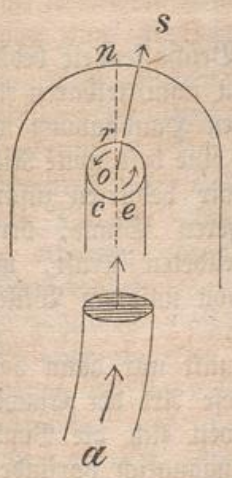
Hierher gehören auch die in manchen Kriegen so berühmt gewordenen kongrevschen Raketen, welche aus blechernen, mit Pulver vollgeschlagenen Röhren bestehen, an deren vorderen Ende aber eine mit einem Brandsatze gefüllte eiserne Kugel mit einer Spitze und mehren Löchern sich befindet. Die Rakete wird in eine Rinne horizontal auf ein Gestell gelegt, hinten angezündet, fährt mit gewaltigem Rauschen weite Strecken vorwärts, ehe sich die Füllung der Kugel entzündet, welche dann nach allen Richtungen hin Feuer sprüht, welches sich überall anhängt und nicht zu löschen ist, bis endlich die Kugel selbst wie eine Granate zerplatzt.

Die Bahn von Geschossen.

Wir haben schon früher (S. 345) erwähnt, daß abgeschossene Kugeln wegen der Axendrehung der Erde in der nördlichen Halbkugel immer rechts vom Ziele einschlagen müssen. Eine andere Abweichung der Richtung einer abgeschossenen Kugel von der Axe des Rohres wird aber nicht blos durch die Erdanziehung gegen sie hervorgebracht, sondern beruht noch auf dem Widerstande der Luft gegen die Kugel, wenn sie sich um eine Axe dreht, welche nicht in der Richtung der Axe des Rohres liegt. Solche Drehungen werden erzeugt, wenn der Schwerpunkt der Kugel nicht ihr Mittelpunkt ist, wenn die Kugel zu lose im Laufe vorwärts geht und sich an einzelnen Stellen der Innenwand stößt, wenn der Lauf nicht vollkommen grade ist und wenn das entzündete Pulver auf verschiedene Stellen der Hinterfläche der Kugel verschieden stark stößt. Um solche Drehungen der Kugel zu vermeiden, müssen die Kugeln sehr gut in den Lauf eingepaßt sein, so daß sie nur mit einiger Gewalt können eingetrieben werden, wobei man sie auf ein mit Talg bestrichenes Läppchen (Pflaster)

legt; ferner muß man sogenannte gezogene Läufe anwenden, d. h. Läufe, in dere Innerem drei, fünf oder selbst mehr Furchen spiralförmig eingeschnitten sind, welche im Ganzen ¾ bis höchstens 1¼ Windungen um die Axe machen und wegen der zunehmenden Geschwindigkeit der Kugel gegen das Ende weniger gekrümmt sind, als anfangs. Nur Bleikugeln oder Eisenkugeln mit einem Bleimantel sind für gezogene Läufe geeignet, weil nur ein so weiches Metall im Stande ist, bei der Bewegung im Laufe in die Rinnen gepreßt zu werden, und so der Kugel eine Drehungsbewegung um die durch ihren Schwerpunkt gehende und in der Bewegungsrichtung liegende Axe zu geben. Dreht sich die Kugel in dieser Weise, so bohrt sie sich gewissermaßen nach allen Richtungen hin gleichmäßig in die Luft ein und folgt übrigens nur noch der Schwere, welche aber auch dann nicht im Stande sein würde, die Kugel herabzuziehen, wenn sie mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 deutschen Meile in der Sekunde abgeschossen würde und die Luft ihr keinen Widerstand leistete, denn sie würde in 1 Stunde und 30 Minuten die Erde umkreisen.

Erfolgt aber bei einer abgeschossenen Kugel eine Drehung um eine anders liegende Axe, so weicht die Kugel stets in einer der Drehung entgegengesetzten Richtung ab. Hat die Kugel o (Fig. 207) durch ein etwas gebogenes Rohr a eine Drehung in der Richtung des Pfeiles auf ihr, also nach links bekommen, so weicht sie nach rechts in der Richtung des Pfeiles o s ab. Während die Kugel vorwärts geht, verdichtet sie vor sich die Luft, so daß sie in r n am dichtesten ist, und läßt hinter sich einen luftverdünnten, ja sogar luftleeren Raum, wenn nämlich ihre Geschwindigkeit mehr als 1217,4 Fuß beträgt, weil Luft unter dem Drucke einer Atmosphäre in einen luftleeren Raum mit dieser Geschwindigkeit einströmt. Wenn um die Kugel von dem leeren Raume e aus bei ihrem Vorwärtsgehen von rechts nach links auf die am meisten verdichtete Stelle r n sich stößt, so muß sie selbst durch den Widerstand der Luft nach rechts geworfen werden. Es ist klar, daß die Kugel je nach ihrer Drehungsrichtung nach allen Seiten hin abweichen kann.



(Fig. 207.)

Wenn Körper aneinander gerieben werden oder sich reiben, so entstehen noch eigenthümliche Molekularbewegungen in ihnen, welche wir mit dem Namen Wärme, Elektrizität und Licht bezeichnen, denen aber wegen ihrer Eigenthümlichkeit und außerordentlichen Wichtigkeit besondere Abschnitte später gewidmet werden müssen.

Sechste Abtheilung.

Von den Werkzeugen und Maschinen.

Die Natur liefert uns ohne unser Zuthun eine Menge von Stoffen, welche für uns in der dargebotenen Weise sehr oft wenig oder gar nicht brauchbar sind, und wir pflegen sie Rohstoffe zu nennen, weil sie für unsere Zwecke erst einer Bearbeitung oder Umarbeitung und Verwandlung bedürfen.

Zu dieser Umformung und Abänderung ihrer Beschaffenheit bedürfen wir entweder einfacher Werkzeuge, bei deren unmittelbaren Anwendung durch die menschliche Hand, d. h. bei deren Handhabung wir unserer Muskelkraft nach unserem jedesmaligen Willen eine bestimmte Richtung, Geschwindigkeit und Stärke ertheilen, oder wir bedürfen zusammengesetzter Werkzeuge oder Maschinen im engeren Sinne, deren Wirkungsart bei einer bestimmten, auf sie angewendeten Kraft, und wenn es auch unsere Muskelkraft ist, nicht mehr von unserem Willen, sondern von der Form des Werkzeuges abhängig ist.

Da eine Kraft auf einen materiell gedachten Punkt nur dann vollständig wirkt, wenn er in ihrer Richtung liegt, diese Art der Einwirkung aber in den meisten Fällen unmöglich ist, weil sich die Punkte außerhalb dieser Richtung und nicht unmittelbar zugänglich vorfinden; so bedarf man einer Vorrichtung zur Uebertragung der Kraft. Abgesehen von dem Widerstande dieser Vorrichtung gegen einen veränderten Zustand wird die durch sie vermittelte Wirkung nur die Größe der Kraft erreichen, niemals aber dieselbe übertreffen können.

Die Wirkungen bestehen nun darin, daß man gewissen Massen gewisse Bewegungen: gradlinige, krummlinige in offenen oder geschlossenen Bahnen, hin- und hergehende mit gewissen Geschwindigkeiten, ertheilen will. Durch eine gewisse Kraft kann man einer großen Masse eine kleine Geschwindigkeit und einer kleinen Masse eine große Geschwindigkeit ertheilen. Die Einrichtung der Maschine muß dem jedesmal vor-

liegenden Zwecke entsprechend gemacht werden, und sie wird diesem Zwecke um so besser entsprechen, je weniger sie von der ursprünglich wirkenden Kraft in sich selbst durch die Widerstände vernichtet. Eine Ersparniß von Kraft an sich wird niemals erzielt: wenn wir z. B. mit unserer Muskelkraft durch Benutzung eines Werkzeuges oder einer Maschine im Stande sind, eine große Last zu bewegen, so wird doch ihre Geschwindigkeit nur geringe sein, und wenn wir dieselbe Kraft auf eine kleine Last oder Masse anwenden, so wird ihre Geschwindigkeit eine größere sein, doch immer so, daß für einen gewissen Reibungswiderstand das Produkt aus der Masse und der Geschwindigkeit in allen Fällen dasselbe ist.

Wenn die uns inwohnende Muskelkraft uns befähigt, in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Masse zu tragen, so können wir diese Masse als das Maß jener Kraft ansehen und sagen: wenn wir unserer Muskelkraft eine große Geschwindigkeit geben und sie auf ein Werkzeug übertragen, was sie nicht vernichtet oder schwächt, sondern nur fortpflanzt, so wird dadurch einer großen Masse eine kleine Geschwindigkeit ertheilt, die große Masse wird bewältigt, ohne daß wir eine dieser Masse gleiche, sondern vielmehr eine kleinere Kraft angewendet haben, und in diesem Sinne pflegen wir zu sagen: wir haben durch Anwendung jenes Werkzeuges, jener Maschine, an Kraft gespart.

Der arbeitende Mensch soll immer mehr und mehr nur Leiter und Aufseher der ihm durch die Natur selbst dargebotenen Kräfte werden, er kann und soll sich auf diese Weise immer mehr geistig heben und zum Beherrscher dieser Kräfte machen. Wir brauchen wohl kaum an die von dem Dampfe schon jetzt erlangte ungeheure kulturhistorische Bedeutung zu erinnern, denn er hat bereits die industrielle Arbeitsfähigkeit des Menschengeschlechts auf eine unglaubliche Höhe gehoben und ist überdies zu zahllosen Zwischenarbeiten, z. B. in den Bergwerken, in den großen Maschinenfabriken, welche für unsere Handarbeit völlig unausführbar wären, bereits vollständig unentbehrlich geworden. Die von sämmtlichen Maschinen jetzt vollführte Arbeit hat schon die von sämmtlichen Menschen wirklich geleistete industrielle Arbeit überholt.

Das bei allen Werkzeugen und Maschinen der angewendeten Kraft entgegenstehende Hinderniß oder den zu bewältigenden Widerstand, wie er auch beschaffen sein mag, wollen wir immer Last nennen, so daß es überall auf die Bestimmungen von Kraft und Last mit den zu ihnen gehörigen Geschwindigkeiten ankommen wird.

Bei einfachen Maschinen kommen nur zwei einander nicht gradlinig entgegengesetzt wirkende Kräfte vor, nämlich Kraft und Last jedes entweder nur einmal, oder, wenn mehre Male, so doch stets in gleicher Anwendung; bei zusammengesetzten Maschinen sind die Bestandtheile selbst verschiedene einfache Maschinen, so daß mindestens zwei Paare

von Kräften, in verschiedener Weise angewendet, vorkommen. Welcher Natur hierbei die Kräfte sind, ist vollkommen gleichgiltig.

In jeder zusammengesetzten Maschine muß man nach den verschiedenen Vorrichtungen wesentlich drei Bestandtheile unterscheiden:

1) Die Kraftmaschine oder den Motor. Sie dient nicht etwa dazu, eine Kraft zu erzeugen, denn die Kraft als solche kann nicht geschaffen werden, sondern nur, um eine in der Natur vorhandene (die Kraft der Menschen und Thiere, des Wassers, des Dampfes, der Luftarten, der Wärme, Elektrizität und des Magnetismus) uns dienstbar zu machen, sie zu lenken und zu diesem Zwecke ihre Wirkungsweise so abzuändern, daß zunächst eine drehende Bewegung von gehöriger Kraft entsteht.

2) Die Zwischenmaschine oder die Uebertragungs-, Transmissionsmaschine, welche nicht nur eine Leitung nach anderen Orten, sondern auch eine Umwandlung der Bewegungsarten erzeugt und

3) Die Arbeitsmaschine, welche unmittelbar das erfüllt, was wir durch die ganze Maschine bezwecken und wobei die Bewegungsarten sehr verschieden sein können: bald hin und her, bald auf und abgehend, bald drehend und dabei bald langsam, bald schnell, bald stoßweise u. s. w.

Es ist so, als wenn der menschliche Wille als Kraftmaschine die Muskeln für eine Transmission zur Leistung einer äußerlichen Arbeit anregt. In der That müssen wir in den vorhandenen Maschinen die Verkörperung des menschlichen Verstandes bei ihrer verstandesmäßigen Thätigkeit oft anstaunen. Wir haben die Zeiten glücklicherweise hinter uns, in denen man feindlich gegen die Maschinen auftrat, in denen man eine Verarmung der Völker im großen Ganzen besorgte; denn man hat eingesehen, daß sie ein großer Segen für die Menschheit sind. Diejenigen Bevölkerungen setzen sich allerdings großen Nachtheilen aus, welche in ihrem Drange, an dem Althergebrachten zu hängen, der Maschinenarbeit es gleichthun möchten und sich von der Handarbeit nicht lossagen wollen. Sie sollten bei Zeiten lieber ihrer Thätigkeit eine andere Richtung geben, als einen für sie selbst nachtheiligen Kampf unternehmen.

Erster Abschnitt.

Von den Werkzeugen.

Bei einem bloßen Werkzeuge will man durch die auf es einwirkende Kraft unmittelbar an einem anderen Orte und nach einer anderen Richtung, als nach der, welche die Kraft hat, einen Erfolg oder eine Wirkung erzielen, mag es nun sein, daß man einer großen Masse eine kleine

Geschwindigkeit oder einer kleinen Masse eine große Geschwindigkeit ertheilen oder auch der Kraft zum Vortheile ihrer Wirkungsfähigkeit eine andere Richtung geben will. Diese unmittelbare Uebertragung kann nur durch einen festen Körper geschehen, welcher durch die auf ihn wirkende Kraft selbst nicht als Ganzes in eine fortschreitende Bewegung versetzt werden darf.

Der Hebel.

Eine grade oder auch irgendwie gebogene Stange oder auch ein beliebig geformter fester Körper, welcher um irgend einen Punkt, als einen festen, drehbar angebracht ist, heißt ein Hebel. Dabei ist es gleichgiltig, ob durch den Drehpunkt eine Axe geht, welche entweder an dem Hebel befestigt ist und auf einer Unterlage sich mit ihm drehen kann oder lose durch eine Oeffnung desselben geht, so daß der Hebel um die feste Axe sich dreht, oder ob eine außerhalb des Hebels befindliche Unterlage (ein Hypomochlium) vorhanden ist, um welche die Drehung erfolgen kann.

Außer dem Drehungspunkte sind beim Hebel noch zu bemerken die beiden Angriffspunkte für die auf ihn wirkenden Kräfte, von denen die eine ausschließlich Kraft und die andere Last heißt, obwohl letztere jeder beliebige Widerstand eines Körpers, z. B. die Kohäsion, sein kann. Die graden Linien zwischen dem Drehungspunkte und den Angriffspunkten der Kräfte heißen die Hebelarme.

Hierbei ist nicht nothwendig, daß diese Kräfte an der festen Masse des Hebels selbst unmittelbar angreifen, sondern sie können an Stangen, welche mit diesen Punkten in drehbarer Verbindung stehen, oder an daselbst befindlichen Schnuren, Stricken, Tauen oder Ketten wirken. Es sind unter allen Umständen diejenigen Punkte als die eigentlichen Angriffspunkte der Kräfte anzusehen, in welchen sich die Schnuren, Stangen u. s. w. von dem Hebel ablösen, weil es für die Wirkungsfähigkeit und den Grad der Wirkung einer Kraft vollkommen gleichgiltig ist, in welchem Punkte einer graden Linie sie angreift, wenn sie nur in der Richtung dieser Linie wirksam bleibt. Wenn man z. B. mit einer graden Stange einen Gegenstand fortschieben will, so ist es, abgesehen von dem Gewichte der Stange, gleichgiltig, ob man sie in geringer oder größerer Entfernung von dem Treffungspunkte anfaßt. Ebenso wenn man mittelst einer straffen, also graden Schnur zieht, ob man sie kurz oder lang anfaßt.

Die Eintheilung der Hebel geschieht nach der Lage des Drehungspunktes in Betreff der Lage der Angriffspunkte beider Kräfte.

1) Liegt der Drehungspunkt in grader Richtung zwischen den Angriffspunkten der beiden Kräfte, so ist der Hebel ein zweiarmiger und dabei entweder ein gleicharmiger oder ein ungleicharmiger, jenachdem die Arme einander gleich sind oder nicht.

2) Ist der Drehpunkt einer der beiden Endpunkte, so heißt der gradlinige Hebel ein einarmiger.

3) Liegt der Drehpunkt außerhalb der graden Verbindungslinie zwischen den Angriffspunkten der beiden Kräfte, so ist es ein Winkelhebel, bei welchem also die beiden Hebelarme einen Winkel bilden, wie z. B. die Haken der Klingelzüge.

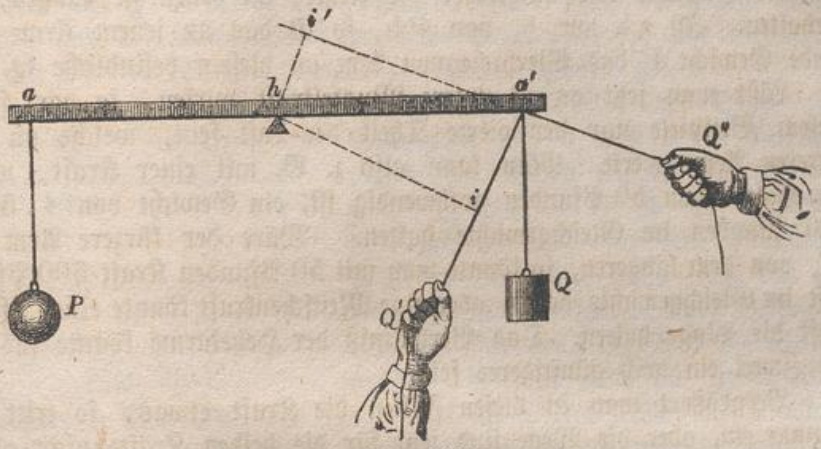
Bei allen Hebeln wirken die Kräfte nur dann vollständig und ungeschwächt, wenn die Richtung, in welcher sie wirken, auf den Hebelarmen lothrecht steht; in allen übrigen Fällen geht von den Kräften verloren und man kann den zur Wirkung kommenden Antheil von ihnen nur durch das Parallelogramm der Kräfte finden, wobei stets die Lothrechte vom Drehungspunkte des Hebels auf die Richtungslinie der Kräfte (d. h. auf die grade Linie, in deren Richtung die Kräfte wirken) als der in Betrachtung zu ziehende Hebelarm angesehen werden muß.

Als wir den Einfluß der Gravitation unserer Erde auf die an ihrer Oberfläche befindlichen festen Körper betrachteten, haben wir eigentlich schon von einer Art von Hebeln gesprochen, denn die dort angeführte Gleichwage ist ein gleicharmiger Hebel, die Schnellwage und Brückenwage sind ungleicharmige Hebel. Die beiden Kräfte sind die angehängten Gewichte, welche auf den horizontalen Wagebalken lothrecht wirken. Es ist aber klar, daß statt der Gewichte auch andere Kräfte genommen werden können, ohne die Bedingungen des Gleichgewichtes und das Gesetz, nach welchem es erfolgt, aufzuheben. Werden andere Kräfte genommen, z. B. die Muskelkraft eines Menschen und der Widerstand irgend eines Körpers, den er durch seine Kohäsion oder sein Gewicht entgegensetzt, so ist es für das Gleichgewicht nicht nothwendig, daß der Hebel eine horizontale Lage hat. Unter allen Umständen gilt als Gesetz:

> ein Hebel ist im Gleichgewichte, wenn die Produkte aus den Kräften und den Entfernungen des Drehungspunktes von den Richtungslinien der Kräfte einander gleich sind.

Statt dessen kann man auch sagen: ein Hebel ist im Gleichgewichte, wenn sich die Kräfte verhalten wie umgekehrt die Lothrechten vom Drehungspunkte auf ihre Richtungslinien. Jene Produkte nennt man übrigens die statischen Momente.

Ist Fig. 208 a a′ ein gradliniger gleicharmiger in h unterstützter Hebel, so werden gleich schwere Gewichte P und Q, welche an gleich schweren Schnuren hängen, einander im Gleichgewichte und den Hebel in horizontaler Lage erhalten. Statt des Gewichtes Q könnte man mit der Hand ebenso stark abwärts ziehen, als es das Gewicht thut, ohne den Erfolg zu stören. Wendete man aber eine etwas größere Kraft an, die überdies auch noch die Reibung bei h überwände, so

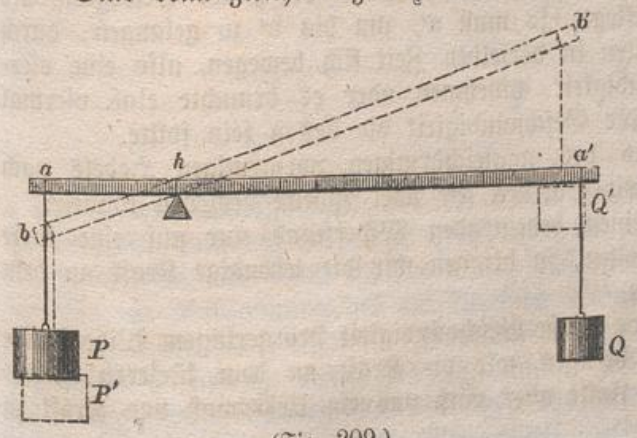


(Fig. 208.)

würde man das Gewicht P heben, woher wohl der Name Hebel entstanden ist. Es ist klar, daß dieses Heben bequemer und erfolgreicher geschieht, wenn man bei a' an einer Schnur abwärts zieht, als wenn man bei a aufwärts ziehen sollte; man kann nämlich in jenem Falle nöthigenfalls noch sein eigenes Gewicht wirken lassen, überdies aber ist die Verlegung des Angriffspunktes der Kraft von a nach a' unter Umständen erwünscht.

Zöge man bei a' nicht in lothrechter Richtung auf den Hebel, sondern in dem spitzen Winkel nach Q', so ist die auf a' Q' lothrecht gezogene h i, welche kürzer als h a' ist, als Hebelarm anzusehen; zöge man endlich bei a' von Q'' aus in der Richtung Q'' i', so ist die von h darauf lothrechte h i', welche noch kürzer als h i ist, der Hebelarm. Man bedürfte also im dritten Falle der größten, im ersten Falle der geringsten Kraft, um die Last P im Gleichgewichte zu erhalten oder ihr eine Bewegung zu ertheilen.

Sind beim gleicharmigen Hebel die beiden Kräfte in Bewegung, so sind die Wege einander gleich, und da sie dieselben in derselben Zeit zurücklegen, so besitzen sie auch gleiche Geschwindigkeiten.



(Fig. 209.)

Ist der Hebel ein gradliniger ungleicharmiger, wie Fig. 209, so halten nur ungleiche Gewichte einander im Gleichgewichte, und zwar so,

daß die Gewichte wie umgekehrt die Arme, an denen sie hängen, sich verhalten. Ist a h nur $\frac{1}{4}$ von a' h, so ist das an jenem Arme hängende Gewicht P das Vierfache von dem an diesem befindliche Q.

Läßt man jetzt an a' unsere Muskelkraft wirken, so darf sie in diesem Beispiele nur der vierte Theil der Last sein, welche an dem kürzeren Arme wirkt. Man kann also z. B. mit einer Kraft, welche zum Halten von 50 Pfunden nothwendig ist, ein Gewicht von $4 . 50 = 200$ Pfunden im Gleichgewichte halten. Wäre der kürzere Arm nur $\frac{1}{10}$ von dem längeren, so könnte man mit 50 Pfunden Kraft 500 Pfunde Last im Gleichgewichte halten oder eine Menschenkraft könnte einer Pferdekraft die Wage halten. Das Verhältniß der Hebelarme könnte für diesen Zweck ein noch günstigeres sein.

Vergrößert man in diesen Fällen die Kraft etwas, so tritt Bewegung ein, aber die Wege sind jetzt für die beiden Kräfte nicht gleich, sondern verhalten sich wie die zu ihnen gehörigen Hebelarme. Nimmt der obige Hebel die Lage b b' an, so hat der Punkt a' einen viermal größeren Weg bis b' zurückgelegt, als a bis b u. s. w. für jedes andere Verhältniß der Hebelarme. Daraus folgt natürlich, daß die Geschwindigkeit der Kraft das Sovielfache von der Geschwindigkeit der Last sein wird, als es das Verhältniß des kürzeren zum längeren Hebelarme anzeigt.

Bleiben für den Fall, daß sich der Hebel bewegt, die Richtungslinien der Kräfte auf den Hebelarmen nicht lothrecht, so tritt auch eine Störung des Gleichgewichtes ein und die Kräfte müssen zu dessen Herstellung um so mehr vergrößert werden, je kleiner der Winkel wird, unter welchem sie wirken.

Wenn man demnach beim ungleicharmigen Hebel dann an Kraft, z. B. an Muskelkraft spart, wenn man sie an dem längeren Arme anbringt, so muß man einen der Krafterspariß verhältnißmäßigen Aufwand an Zeit für eine gewisse Geschwindigkeit oder an Raum für eine gewisse Zeit sich gefallen lassen. Während a bei seiner Bewegung bis b z. B. 1 Zoll zurücklegt, so muß a', um bis b' zu gelangen, durch einen Weg von 4 Zollen in derselben Zeit sich bewegen, also eine viermal größere Geschwindigkeit annehmen oder es brauchte eine viermal längere Zeit, wenn seine Geschwindigkeit die des a sein sollte.

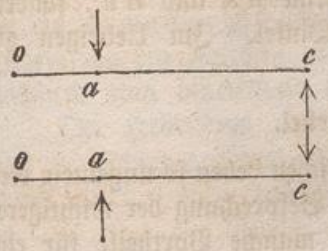
Wir werden uns des ungleicharmigen zweiarmigen Hebels nach diesen Darstellungen mit Vortheil für zwei Zwecke bedienen können:

1) Wenn wir einen bedeutenden Widerstand nur auf eine kurze Strecke überwinden wollen, so bringen wir die lebendige Kraft an dem längeren Hebelarme an.

2) Wenn wir eine große Geschwindigkeit bei geringem Widerstande erreichen wollen, so bringen wir die Kraft an dem kürzeren Hebelarme an. In diesem Falle aber muß uns ein Uebermaß von Kraft zu Gebote stehen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Für den gradlinig einarmigen Hebel gelten bei seinem Gleichgewichte und bei seiner Bewegung keine anderen Gesetze und Bedingungen, als wir sie für den zweiarmigen kennen gelernt haben.

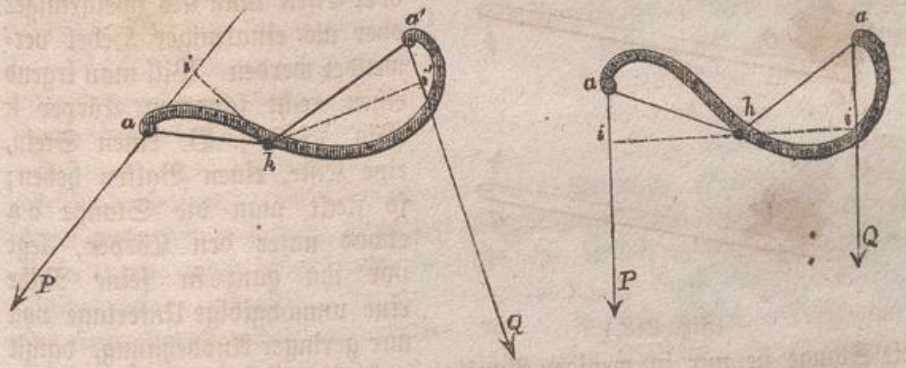


(Fig. 210.)

Wenn Fig. 210 o der Dreh- oder Stützpunkt ist, a und c die Angriffspunkte der beiden Kräfte sind und o a z. B. $\frac{1}{3}$ von o c ist, so darf die Kraft in c von der Last oder dem Widerstande in a nur der dritte Theil sein, um das Gleichgewicht zu erhalten. Soll Bewegung eintreten oder der Widerstand überwunden werden, so muß man die Kraft etwas vergrößern. Der Weg der Kraft wird in diesem Falle das Dreifache von dem Wege der Last sein. Ebenso ist es für ein anderes Verhältniß der Hebelarme.

Bei dem zweiarmigen Hebel mußten die beiden Kräfte nach derselben Richtung hinwirken, wenn Gleichgewicht oder, bei dem Uebergewichte der einen, Drehung erfolgen sollte; bei dem einarmigen Hebel müssen für diese Fälle die beiden Kräfte nach entgegengesetzten Seiten auf den Hebel wirken, wie es die Pfeile in der Zeichnung angeben.

Bei einem Winkelhebel ist es nicht durchaus nothwendig, daß die Hebelarme gradlinig sind, sondern sie können in verschiedener Weise gebogen sein, wie es Fig. 211 zeigt. Ist h der Drehungspunkt, sind



(Fig. 211.)

a und a' die Angriffspunkte für die beiden Kräfte P und Q und wirken dieselben lothrecht nach dem Horizonte, so sind zwar h a und h a' die Hebelarme, aber weil die Kräfte auf dieselben schief wirken, so müssen wir zur Bestimmung des zur Wirkung kommenden Antheiles auf die Richtungslinien der Kräfte die Perpendikel h i und h i' ziehen. Sollen die Kräfte P und Q, welche jetzt in i und i' bei dem gradlinigen Hebel i h i' angreifen, einander das Gleichgewicht halten, so müssen sie sich verhalten wie umgekehrt diese Perpendikel, also wie h i' zu h i. —

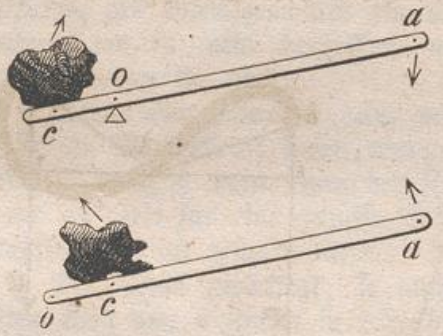
Wirken die Kräfte nicht lothrecht nach dem Horizonte, sondern unter irgend einem anderen Winkel, so bleibt die Bestimmung der Hebelarme und der Lothrechten auf die Richtungslinie der beiden Kräfte zwar dieselbe, aber hier bilden nicht blos die Hebelarme h a und h a', sondern auch diese Lothrechten h i und h i' einen Winkel. Im Uebrigen gilt dieselbe Proportion.

Anwendungen der Hebel.

Schon der einfache Hebel findet im praktischen Leben so ungemein vielfache Anwendung, daß eine, wenn auch kurze, Besprechung der wichtigeren Fälle geboten erscheint, um schon hier auf manche Vortheile für eine angemessene, namentlich Muskelkraft sparende Anwendung zu machen.

Einzelne Hebel haben wir gelegentlich schon erwähnen müssen, wie den Hebelregulator bei den Gasometern, welcher trotz des Tiefersinkens des Gasbehälters ins Wasser nicht duldete, daß der Druck auf das noch vorhandene Gas ein anderer wurde, weil das angehängte Gewicht während des Sinkens dem Drehungspunkte des Hebels immer näher kam. Es ist dies ein zweiarmiger Hebel.

Unter den Sicherheitsventilen für Gase mit starkem Drucke wurde ein Hebelventil erwähnt, welches zu den einarmigen Hebeln gehörte. Ein anderer und sehr häufig angewendeter Hebel ist der Hebebaum, dessen Einrichtung und Gebrauch verschieden ist.

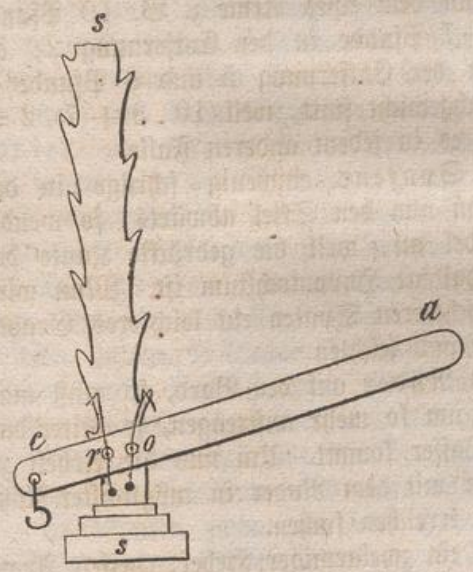


(Fig. 212.)

Eine bloße Stange aus Holz oder Eisen kann als zweiarmiger oder als einarmiger Hebel verwendet werden. Will man irgend einen recht schweren Körper k (Fig. 212) z. B. einen Stein, eine Kiste, einen Balken heben; so steckt man die Stange c a etwas unter den Körper, legt vor ihn ganz in seine Nähe eine unnachgibige Unterlage von nur geringer Ausdehnung, damit die Stange sie nur in wenigen Punkten berühre und drückt nun am anderen En e der Stange abwärts. Hier ist also die Stange ein zweiarmiger Hebel und sie wird um so wirksamer sein, je länger und gewichtiger sie ist und je näher k dem Drehungspunkte o liegt. — Will man aber den Körper k (2) vorwärts schieben, so steckt man die Stange zwar auch unter ihn, bedarf aber nicht eines anderen Stützpunktes, als den Endpunkt o der Stange. Drückt man die Stange aufwärts, indem man sich dieselbe etwa auf die Schultern legt, so geht der Körper vorwärts. Die Bedingungungen für die Krafterſparung sind dieselben. Dieser Hebel ist ein einarmiger.

Die Hebelade ist wesentlich der erste von diesen beiden Hebeln, nur daß sie stets für bestimmte Zwecke verwendet wird, wie z. B. um die Axe von Wagenrädern behufs des Einschmierens zu heben. Deshalb ist der Drehungspunkt oder vielmehr die Drehungsaxe des Hebels oben an einem zweibeinigen Gestelle angebracht und an dem herabzudrückenden Hebelarme ein Kettchen, welches in das Gestelle eingehakt werden kann, nachdem man hinreichend gehoben hat.

Der Hebebaum und die angeführte Hebelade gestatten nicht, eine Last zu etwas größerer Höhe zu erheben, was doch auch bisweilen bezweckt wird, ohne daß man sich zusammengesetzter Werkzeuge bedient.



(Fig. 213.)

Zu diesem Zwecke ist die Hebelade mit gezahnter Stange (Fig. 213) geeignet. s s ist ein Eisenständer von 6 Zoll Breite und 1 bis 2 Zoll Dicke, an den beiden Seiten hat er stufenförmig abwechselnd nach abwärts gehende Einschnitte. Außerdem ist eine Hebelstange c a mit einem Ausschnitte, in welchen s s bequem paßt; gegen das eine Ende sind an ihr bei r und o zwei Haken drehbar angebracht, welche unten zwei Gegengewichte haben, damit sie nicht nur nach oben, sondern auch nach der Mittellinie des Ständers gerichtet bleiben. Sitzt der Haken bei r in einem Zahne links fest, so kann man bei c den zu hebenden Körper anbringen und die Stange bei a so lange noch oben bewegen, bis der Haken bei o in den nächsten Zahn rechts eingreift. Ist dieses geschehen, so drückt man die Stange so weit herab, daß der Haken bei r in den nächst höheren Zahn faßt u. s. w.

Zu den zweiarmigen Hebeln gehören noch folgende Werkzeuge:

Die Brechstange ist eine eiserne Stange von etwa 4 Fuß Länge, welche gegen das eine Ende hin eine stumpfe Kante auslauft, indem eine von den beiden breiteren Seiten dort sich abrundet. Man stößt bei ihrem Gebrauche diese Kante in den Spalt eines harten Gegenstandes oder zwischen zwei Gegenständen (Brettern, Mauersteinen, Pflastersteinen u. s. w.) und drückt dann auf das andere Ende der Stange so, daß eine Stelle der gerundeten Fläche gestützt ist oder den Drehpunkt bildet. Weil letzterer dem Ende, wo der Widerstand sich findet, sehr nahe liegt, so

sind diese Stangen sehr wirksam, weshalb Diebe sich leider derselben sehr gern bedienen. Es ist wohl selten, daß sie als einarmiger Hebel gebraucht wird.

Der Balancier bei den Dampfmaschinen dient nicht blos um die Kraft der Kolbenstange des Dampfzylinders auf die Triebstange des Schwungrades überzutragen, sondern dient auch zu den Angriffspunkten für die zu Nebenvorrichtungen gebrauchten Kräfte.

Wenn übrigens bei einem Hebel mehre Kräfte an verschiedenen Punkten angreifen, so findet das Gleichgewicht nur dann statt, wenn die Summe der statischen Momente der beiden Arme einander gleich sind. Hingen an dem einen Arme z. B. 10 Pfunde in der Entfernung 3 (Zoll) und 7 Pfunde in der Entfernung 2, an dem anderen Arme 4 Pfunde in der Entfernuug 5 und 6 Pfunde in der Entfernung 4, so fände Gleichgewicht statt, weil $10 . 3 + 7 . 2 = 4 . 5 + 6 . 4 = 44$ ist. So ist es in jedem anderen Falle.

Hat man das Eisen eines Spatens einwenig schräge in den Erdboden gestochen und drückt man nun den Stiel abwärts, so wendet man auch einen zweiarmigen Hebel an, weil die gedrückte Kante des Erdbodens das freilich etwas nachgibige Hypomochlium ist. Man wird mit einem länger gestielten und schweren Spaten ein leichteres Graben haben, als mit einem kurzstieligen und leichten.

Legt man beim Schiffen das Ruder auf den Bord, so muß man sich bei diesem zweiarmigen Hebel um so mehr anstrengen, je weiter das Ruder hinausreicht, ehe es ins Wasser kommt. Um uns die Arbeit zu erleichtern, müssen wir das Wasser mit dem Ruder in möglichster Nähe vom Drehpunkte (vom Borde) zu erreichen suchen.

Auch das Steuerruder ist ein zweiarmiger Hebel, dessen Arme sich in zwei verschiedenen horizontalen Ebenen um eine lothrechte Axe drehen. Der eine Arm ist auf dem Schiffe in der Hand des Steuermanns, der andere im Wasser.

Der über eine Schulter gelegte Tragstab wird uns um so bessere Dienste leisten, je näher die auf dem hinteren Arme angehängte Last dem Stützpunkte des Stabes, also der Schulter liegt, und das lange Vorderende eines etwas schweren Stabes ist oft schon allein hinreichend, eine ziemliche Last an dem kurzen Ende im Gleichgewichte zu erhalten.

In Amerika bedienen sich die Ziegelträger, um die Mauersteine und den Mörtel in die Höhe zu tragen, einer ganz angemessenen, hierher gehörigen Vorrichtung. Zwei etwa 2 Fuß lange und kaum 1 Fuß breite Brettchen sind der Länge nach unter einem rechten Winkel zusammengefügt; das eine Ende dieser Rinne ist mit einem Brettchen von der Form eines Viertelkreises geschlossen und an der Kante der Rinne ist in der Mitte ein Stiel von etwa 3 Fuß Länge angebracht, um dadurch beim Einpacken der Steine ein besonderes Gestelle entbehrlich zu machen und die Rinne beim Tragen auf der Schulter am Stiele mit der größ-

ten Bequemlichkeit im Gleichgewichte zu halten. Wo die Rinne auf die Schulter gelegt wird, ist sie gepolstert oder mit etwas Pelzwerk versehen.

Bei den Ziehbrunnen ist auf einem hohen Ständer eine lange dickere Stange in ihrer Mitte unterstützt, trägt an dem einen Ende beweglich eine dünne Stange unten mit einem Wassereimer und an dem anderen Ende ein aufgelegtes Gegengewicht (Stein), welches, um angemessen zu sein, dem Hebel auf dieser Seite ein kleines Uebergewicht über den mit Wasser gefüllten Eimer gibt.

Die Scheeren sind aus zwei Hebeln mit gemeinschaftlichem Drehungspunkte zusammengesetzt; der Widerstand ist hier die Kohäsion des zu zertheilenden Gegenstandes. Ihre sonstige Einrichtung richtet sich nach den vorliegenden Zwecken. Eine Metallscheere muß einen langen Griff und kurze Schneiden haben, um Muskelkraft zu sparen; eine Papier- oder Zeugscheere hat einen kurzen Griff und lange Schneiden, indem hier der Widerstand gering und dagegen ein Uebermaß von Kraft vorhanden ist, um mit einem Drucke eine ganze Strecke in grader Richtung zu zerschneiden, was meistens bezweckt wird.

Die Zangen sind in ihrer Zusammensetzung den Scheeren mit kurzen Schneiden ähnlich. Man wird mit ihnen einen Gegenstand um so fester halten, je länger die Griffe sind, und deshalb haben die Metallarbeiter häufig solche Zangen. Zieht man mit einer Zangeeinen am Kopfe gefaßten Nagel aus, indem man den einen Theil derselben in der Nähe des Drehpunktes auf eine feste Unterlage stützt, so wirkt sie außerdem noch wie ein Hebebaum und zwar außerordentlich kräftig.

Es könnten zwar noch viele Hebelvorrichtungen dieser Art, z. B. die Klappen der Blaseinstrumente, die Klaves der Klaviere, die Schaukelbretter, erwähnt werden; aber die gegebenen Erläuterungen sind wohl auch für die anderen Fälle hinreichend.

Zu den einarmigen Hebeln gehören die Schub- und Schiebekarren. Beide haben zwei Holme zum Anfassen mit den beiden Händen und ein kleines Rad unterhalb und vor dem Gestelle, welches durch die beiden Holme getragen wird; die einen haben vor dem Rade einen Kasten zum Aufnehmen von losen Gegenständen, die anderen blos eine offene und über das Rad hinaus geführte Lagerstätte für die Aufnahme der fortzuschaffenden Sachen. Die Radaxe ist der Drehungspunkt des Hebels, die Enden der Holme sind die Angriffspunkte der Kraft. Man wird die aufgelegte Last um so weniger zu tragen haben, je näher sie dem Rade liegt, und kann sie etwas sogar noch darüber hinaus gelegt werden, so ist es auf einem horizontalen Wege am besten, weil dann ein Theil der diesseits des Rades liegenden Last von der jenseits liegenden im Gleichgewichte gehalten wird, und man, um den Karren vorwärts zu schieben, nur den Reibungswiderstand an der Radaxe und am Erdboden zu überwinden hat. Will man auf einer schiefen

Ebene aufwärts fahren, so ist diese Vertheilung der Last nicht so angemessen.

Die Tragbahren bestehen aus zwei mit einander durch Querhölzer verbundenen Stangen, an deren beiden Enden Menschen anfassen. Die Stellen, an denen die Hände des einen anfassen, sind die Stützpunkte für die Kraft des anderen. Sollen beide gleich viel tragen, so muß die Last genau in der Mitte liegen; ist der eine schwächer, so wird man vernünftigerweise die Last näher an den anderen bringen.

Das Handruder, welches man beim Gebrauche nicht auf den Bord des Kahnes legt, gehört auch hierher, denn die Stelle gegen das obere Ende, wo die eine Hand angreift, ist der feste Stützpunkt; da der Angriffspunkt der anderen Hand ihm näher liegt, als der zu überwindende Widerstand im Wasser, so wird man hier eines größeren Kraftaufwandes bedürfen, der nur dadurch etwas vermindert werden kann, daß man die zweite Hand von dem Stützpunkte möglichst entfernt.

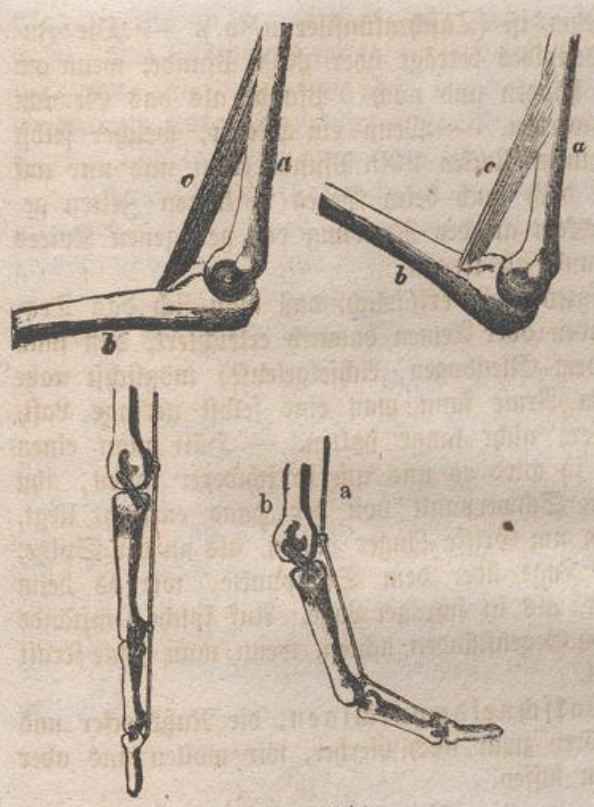
Aehnlich ist es bei der Wurfschaufel, d. h. einer Schaufel, mit welcher man einen Gegenstand, Getreidekörner, Sand, Erdboden u. s. w. wirft. Der Angriffspunkt der in der einen Hand liegenden Kraft ist dem Drehungspunkte, welcher sich in der anderen Hand befindet, näher, als die Last oder der zu werfende Körper.

Die Schafscheeren bestehen aus zwei Scheerenschneiden, welche durch einen elastischen Metallbügel in einiger Entfernung von einander gehalten und beim Gebrauche durch den Druck mit der einen Hand zusammengebracht werden. Auch hier ist überflüssige Kraft vorhanden, weshalb sie dem in der Mitte des Bügels liegenden Drehungspunkte näher angebracht sein kann, als der Widerstand.

Bei den Pressen zur Herstellung eines Siegels, eines Abdruckes von einem Münzstempel (Prägemaschine), von einem Bilde oder von Typen (Buchdruckerpresse) oder einem Briefe (Kopiermaschine) u. s. w. kann entweder ein bloßer einarmiger Hebel angewendet werden, bei welchem aber die Kraft wegen des größeren Widerstandes an dem längeren Hebelarme angreift oder es können damit noch Schrauben, Walzen, Bohrer u. dergl. gedreht werden.

Die Glieder unseres Körpers und auch die der Thiere sind ebenfalls als einarmige Hebel anzusehen, bei welchen die Knochen die festen Hebelstangen vertreten, deren Drehungspunkte die Stellen sind, an denen die Gelenkknochen zusammentreffen und auf welche die in der Nähe dieser Stellen an sie gewachsenen Muskelbänder als Kräfte wirken, indem dieselben sich zufolge unserer Willenskraft verkürzen.

In Fig. 214 stellen die beiden ersten Zeichnungen einen Theil des Ober- und Unterarmknochens mit dem Ellenbogengelenke und die an sie in dessen Nähe befestigten parallelen Muskelfasern c dar. Verkürzen sich nun die letzteren auch nur wenig, wie es die zweite Zeichnung zeigt, und behält der Oberarmknochen a seine Lage, so macht das



(Fig. 214.)

Ende des Unterarmknochens b schon einen großen Weg und einen noch größeren die daran zu denkende Hand. In gleicher Weise geschieht die Krümmung der Finger, wovon die dritte und vierte Zeichnung eine Vorstellung geben. b ist ein Theil des Mittelhandknochens, daran schließen sich die drei Glieder des Fingers, welche untereinander durch Bänder beweglich verbunden sind, aber auch noch durch eine Sehne a, welche von einem Muskel des Unterarmes ausgeht und durch die Hohlhand fortläuft, ein gemeinschaftliches Band haben. Wird diese Sehne auch nur einwenig verkürzt, so krümmt sich der ganze Finger schon bedeutend. Man kann diese Verbindung und die damit verknüpfte Erscheinung an einem Fuße eines jeden geschlachteten Vogels (Huhn, Gans) erkennen.

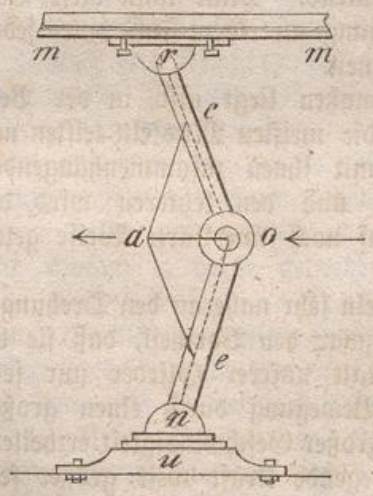
Die ganze Thätigkeit unserer Gliedmaßen liegt also in der Verkürzungsfähigkeit der Muskelfasern; aber die meisten Muskeln leisten nur dann eine Arbeit, wenn sie von den mit ihnen zusammenhängenden Nervenpartien dazu aufgefordert werden und den letzteren wird der Befehl von dem durch unseren Willen auf noch unerklärte Weise geleiteten Zentralorgane ertheilt.

Der Umstand, daß die thätigen Muskeln sehr nahe an den Drehungspunkten der Knochen befestigt sind, bietet zwar den Vortheil, daß sie bei ihrer unbedeutenden Verkürzung die Gestalt unserer Glieder nur sehr wenig verändern und ihnen dabei eine Bewegung durch einen großen Raum und, wenn erforderlich, auch mit großer Geschwindigkeit ertheilen; aber auch den Uebelstand, daß ihre bewegende Kraft weit größer sein muß, als die Last, zumal sie auf die Knochen nicht lothrecht, sondern schief wirken. Bei der Verkürzung des großen Muskels am Oberarme, des Deltoides, nur um 2 Zoll bewegt sich der Arm durch einen Halbkreis von 3 Fuß, so daß die Hand bei der Schnelligkeit der Verkürzung des Muskels eine große Geschwindigkeit erlangt, welche für viele Zwecke

sehr erwünscht und angenehm ist (Taschenkünstler u. a.). — Die Zusammenziehungskraft des Deltoides beträgt über 2000 Pfunde, wenn am Ellenbogen nur 50 Pfunde hängen und noch 5 Pfunde als das Gewicht des Armes hinzugerechnet werden. — Wenn ein Mann, welcher selbst 120 Pfunde wiegt, auf seinem Nacken 200 Pfunde trägt und nur auf einem Fuße steht, wie es doch auch beim Gehen in kurzen Zeiten geschieht, so haben die Muskeln an der Rundung des gebogenen Kniees gegen 6 . 320 = 1920 Pfunde zu tragen.

Es ist aus dem Gesagten leicht erklärlich, daß man sich das Tragen einer Last auf den Händen oder Armen dadurch erleichtert, daß man sie dem Drehungspunkte (dem Ellenbogen, Achselgelenke) möglichst nahe bringt. Mit ausgestrecktem Arme kann man eine selbst geringe Last, z. B. ein Glas mit Wasser, nicht lange halten. — Hält man einen Gegenstand in der Hand, so wird es uns um so schwerer fallen, ihn zu erhalten, je weiter sein Schwerpunkt von der Hand entfernt liegt, also kann man einen Degen am Griffe länger halten, als an der Spitze, eine Stange in lothrechter Lage über dem Stützpunkte, wie es beim Balanciren geschieht, länger, als in schräger Lage. Auf solche Umstände muß man beim Tragen von Gegenständen achten, wenn man seine Kraft nicht unnütz verwenden will.

Die Brot- und Tabakschneidemaschinen, die Nußknacker und viele andere Werkzeuge gehören zwar noch hierher, wir wollen uns aber an den angeführten genügen lassen.



(Fig. 215.)

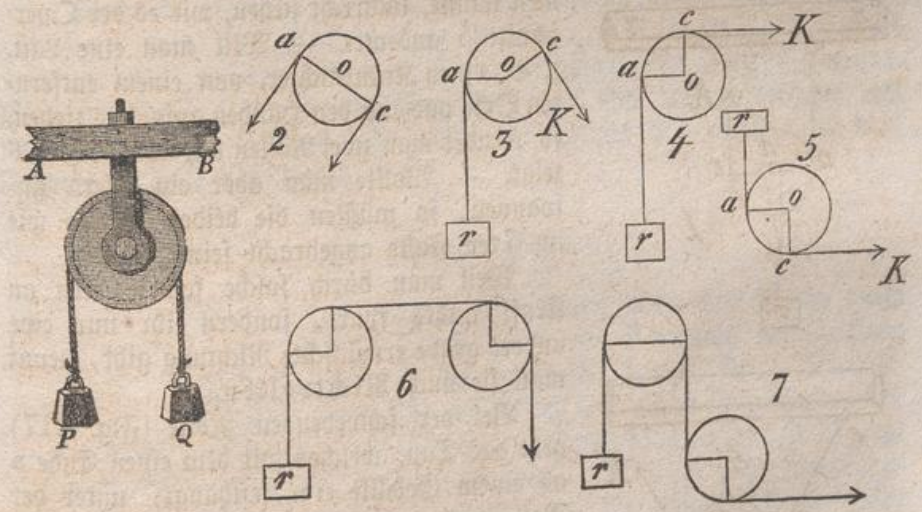
Zu den Winkelhebeln gehört die Kniepresse oder das Knie Fig. 215, welche auch als Siegel- und Prägepresse verwendet wird. o r und o n sind zwei bei o, r und n drehbare Metallstangen, die Stange o r stemmt sich bei r gegen die feste Wand m m, die Stange o n gegen einen auf der festen Unterlage u befindlichen Stempel; in horizontaler Richtung läßt man in o eine durch a o dargestellte Kraft so wirken, daß sie den Winkel der beiden Preßstangen vergrößert, also die Stange o n gegen den Stempel drückt. Die Kraft o a kann zerlegt werden in die beiden Seitenkräfte o e und o c, welche in der Richtung der beiden Stangen wirken. Je mehr nun beim Anziehen der Stange a o, oder statt dessen auch beim Stoßen auf o von der entgegengesetzten Seite, der Winkel vergrößert wird, welchen die beiden Stangen mit einander

bilden, desto größer werden auch die beiden Seitenkräfte und da o c einen festen Widerstand findet, so verdoppelt sich die Kraft der Stange o n. Es kann also durch das Knie ein sehr großer Druck auf eine geringe Entfernung ausgeübt werden. Die Amerikaner haben diese Presse zuerst für die Buchdruckerei eingerichtet.

Die Wiegemesser bestehen aus zwei oder mehren parallelen bogenförmigen Messern mit zwei gemeinschaftlichen Griffen für die beiden Hände und dienen zum schnellen Zerkleinern von verschiedenen Gegenständen, z. B. Fleisch zu Würsten. Sie gehören zu den Winkelhebeln, wie auch die Klingelzüge, Thürklinken u. a.

Die Rolle.

Geht durch die Mitte einer kreisförmigen Scheibe aus einem festen Körper (Holz, Eisen, Messing) lothrecht eine fest mit der Scheibe verbundene Axe und ist sie um ihren Umfang zwischen den Begränzungskreisen so ausgetieft, daß man eine Schnur, ein Seil, ein Tau, einen Riemen oder eine Kette legen kann, ohne daß sie abgleiten; so heißt die Vorrichtung eine Rolle. Ist die Rolle nur um ihre Axe auf einer festen Unterlage drehbar, so heißt sie eine feste; hat sie aber sammt ihrer Axe eine fortschreitende Bewegung, so heißt sie schwebend oder beweglich.



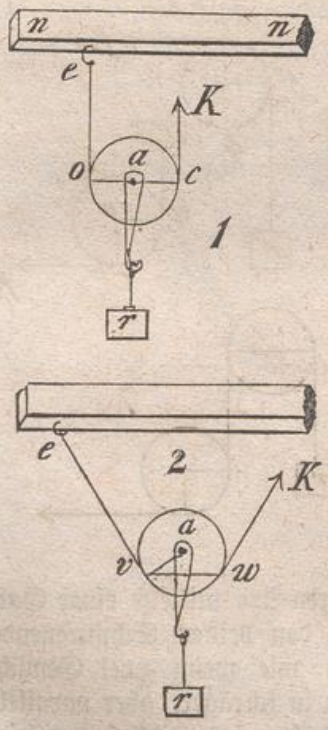
(Fig. 216.)

Wenn Fig. 216 bei der festen Rolle, deren Axe mittelst einer Gabel an einem festen Gebälk A B hängt (1), an den beiden Schnurenenden zwei Kräfte in parallelen Richtungen wirken, wie wenn zwei Gewichte P und Q angehängt sind, oder zwei Menschen in schräger, aber paralleler Richtung ziehen (2), so ist die Vorrichtung als ein gradliniger gleicharmiger Hebel anzusehen. Der Mittelpunkt der Scheibe ist der Drehungs-

punkt und die beiden Radien nach den Stellen, in welchen sich die Schnur von der Scheibe ablöst, sind die beiden Hebelarme, welche für den angenommenen Fall in einer graden Linie liegen; die Schnuren, in deren Richtungen die Kräfte wirken, sind als Tangenten anzusehen, welche auf den Hebelarmen lothrecht stehen, so daß die beiden Kräfte vollständig zur Wirkung kommen. Soll hier Gleichgewicht stattfinden, so müssen die Kräfte einander gleich sein.

Sind die Schnurentheile nicht parallel (3), so bilden die Hebelarme, welches stets Radien sind, einen Winkel und die Rolle ist ein Winkelhebel; aber auch hier wirken die Kräfte auf sie lothrecht, so daß auch jetzt nur gleiche Kräfte einander das Gleichgewicht halten und somit nichts an Muskelkraft gespart, wohl aber der Vortheil erreicht wird, daß man die Kräfte nach beliebigen Richtungen kann wirken lassen, wie es die zu Gebote stehenden Kräfte (Menschen, Thiere) oder die Oertlichkeit grade wünschenswerth machen.

Will man eine Last aus der Tiefe ziehen, z. B. aus einem Schacht an die Erdoberfläche und etwa ein Pferd dazu gebrauchen, so ist Fall 4 anwendbar, wobei die Axe der Rolle horizontal liegt. — Sollte aber das Pferd eine Last auf dem Erdboden um eine Ecke ziehen, z. B. aus einem vielleicht engen Gange auf die Straße, so müßte die Axe der Rolle, statt deren man auch eine Walze nehmen könnte, lothrecht stehen, wie es der Querschnitt 5 andeutet. — Will man eine Last, z. B. einen Kronleuchter, von einem entfernten Orte aus mit den Händen aufwärts ziehen, so wendet man zwei Rollen an, wie es Fall 6 zeigt. — Wollte man aber ein Pferd anspannen, so müßten die beiden Rollen wie im 7ten Falle angebracht sein.



(Fig. 217.)

Weil man durch solche feste Rollen an Kraft nichts spart, sondern ihr nur eine andere grade erwünschte Richtung gibt, nennt man sie auch Richtrollen.

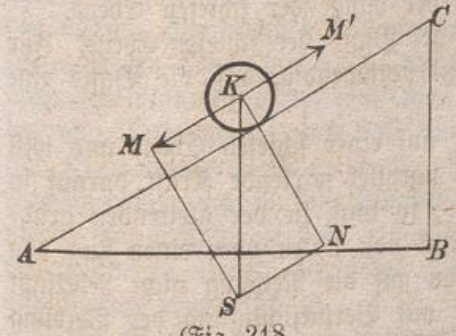
Bei der schwebenden Rolle (Fig. 217) geht das Tau, welches mit dem einen Ende a an einem Gebälke n n festhängt, unter der Rolle fort und dann nach oben, wo eine Kraft nach oben ziehend angreift. Die bloße Rolle würde nur im labilen Gleichgewichte sein und sehr leicht aus der Schnur fallen; ihre Axe aber ruht auf eine Scheere oder Gabel a, welche unten einen Haken hat, um an ihn eine Last r zu hängen. Wenn dadurch der Schwerpunkt des Ganzen unter-

halb des tiefsten Punktes der Rolle gelegt worden ist, so ist stabiles Gleichgewicht vorhanden oder die Last mit der Rolle hängt im Taue.

Gehen zunächst die beiden Tauenden parallel (1), so liegen die beiden nach ihren Ablösungspunkten o und c gezogenen Radien ao und ac in einer graden Linie und die Vorrichtung ist als ein gradliniger einarmiger Hebel anzusehen, denn o ist, wie weit auch K aufwärts zieht, stets der Stützpunkt des Durchmessers co; ao ist der Hebelarm der Last, co der Hebelarm der Kraft. Da der Hebelarm der Kraft als Durchmesser das Doppelte von dem der Last, nämlich vom Radius ist, so braucht die Kraft nur die Hälfte von der Last zu sein, um das Gleichgewicht zu erhalten, und soll die Last gehoben werden, so braucht die Kraft nur etwas vermehrt zu werden. Mit 1 Zentner Kraft kann man 2 Zentner Last erhalten. Die 2 Zentner Last vertheilen sich auf die beiden Theile des Taues gleichmäßig, so daß jedes nur 1 Zentner trägt. Wenn man nun auch hier die Hälfte der Kraft spart, so muß man mit dem freien Ende des Taues dagegen einen Weg zurücklegen, welcher das Doppelte von dem Wege der Last ist. Soll die Last 1 Fuß aufwärts gehen, so muß jedes der beiden Tautheile um 1 Fuß verkürzt und von K hinauf gezogen werden. — Statt das freie Ende des Taues unmittelbar aufwärts zu ziehen, kann es auch über eine oben angebrachte feste Rolle geleitet und dann nach unten gezogen werden

Sind die beiden Taue nicht parallel (2), so verhält sich die Kraft zur Last wie der Halbmesser av der Rolle zu der Sehne vw, welche zu dem von dem Taue umspannten Bogen gehört. Man wird also jetzt mit derselben Kraft nur eine um so kleinere Last im Gleichgewichte erhalten, je größer der Winkel ist, welchen die verlängerten Theile des Taues bilden.

Die schiefe Ebene.



(Fig. 218.

Eine Ebene heißt eine schiefe, wenn sie mit dem Horizonte irgend einen spitzen Winkel bildet. Wenn Fig. 218 ABC den senkrechten Querschnitt einer schiefen Ebene bedeutet und AB liegt horizontal, so ist A ihr Neigungswinkel, AC die Länge, CB die Höhe und AB ihre Basis oder Grundlinie. Das Verhältniß der Höhe zur Länge nennt man die Steigung der schiefen Ebene.

Aus dem Verhältnisse zweier von diesen drei Linien ist auch das Verhältniß der dritten zu jeder von ihnen, so wie der Neigungswinkel bestimmt; aber aus dem Neigungswinkel und einer von ihnen ist auch

die absolute Größe von jeder der beiden anderen bestimmt; der Neigungswinkel allein gibt nur ihr Verhältniß an.

Wir haben bereits bei der Betrachtung des Schwerpunktes erkannt, daß ein fester Körper auf einer schiefen Ebene zwar im Gleichgewichte sein, d. h. auf ihr ruhen kann, daß er aber nicht mit seinem ganzen absoluten Gewichte auf sie drückt, und daß er das Bestreben hat auch nur mit einem Theile der in seinem absoluten Gewichte liegenden Kraft herab zu gehen, selbst wenn er auf ihr ruht.

Liegt auf der schiefen Ebene ein Körper K, dessen absolutes Gewicht durch die Linie K S ausgedrückt sein mag, so werden wir zur Bestimmung der Größe der drückenden und gleitenden Kraft diese K S, welche auf die Ebene A C schief wirkt, in zwei Seitenkräfte K N und K M auflösen müssen, von denen die eine K N lothrecht auf die schiefe Ebene wirkt und, sie drückend, durch deren Widerstand aufgehoben wird, die andere K M aber parallel mit ihr und somit als gleitende Kraft vollständig zur Geltung kommt, wenn man von der Reibung absieht, wie es bei einer polirten Kugel auf einer polirten Ebene wohl geschehen kann.

Je steiler die Ebene A C, oder je größer ihr Neigungswinkel wird, desto größer wird ihre Höhe und desto kleiner ihre Basis und in gleichem Verhältnisse wird für eine bestimmte absolute Kraft die gleitende größer und die drückende kleiner. Ist der Neigungswinkel ein rechter geworden, so ist die gleitende gleich der absoluten geworden und die drückende Null; ist aber der Neigungswinkel Null oder die Ebene horizontal, so ist die drückende Kraft gleich der absoluten und die gleitende Null.

Die schiefen Ebenen werden angewendet, um Kraft zu sparen, wenn man Körper auf- und abwärts bewegen will. Es sind in Beziehung auf die Richtung der zu diesem Zwecke angewendeten Kraft vorzüglich zwei Fälle praktisch wichtig:

1) die Kraft wirkt parallel mit der Länge der schiefen Ebene,

2) die Kraft wirkt parallel mit der Basis der schiefen Ebene. Für den zweiten Fall ist es nicht unbedingt nothwendig, daß die Basis eine horizontale Lage habe.

Erster Fall. Liegt ein Körper auf einer schiefen Ebene und will man ihn durch eine mit der Länge parallel wirkende Kraft darauf in Ruhe oder im Gleichgewichte erhalten, so muß sie der gleitenden gradlinig entgegen wirken (durch einen Druck von unten oder einen Zug von oben) und ihr gleich sein, wenn man auf die Reibung nicht Rücksicht nimmt. Diese Kraft wird man aber mit Berücksichtigung der Reibung um so mehr verkleinern können, je größer die Reibung ist, welche den Körper festhält

Will man aber den Körper aufwärts bewegen, so muß die Kraft größer sein, als die Summe der gleitenden Kraft und der Reibung;

will man ihn abwärts gehen lassen, so wird die anzuwendende Kraft, vermehrt um die sie unterstützende Reibung, geringer sein müssen, als die gleitende Kraft.

In allen Fällen verhält sich die respektive Kraft einschließlich der Reibung zur absoluten Kraft wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge. Wächst daher für eine bestimmte schiefe Ebene die absolute Kraft, so wächst auch die respektive in demselben Verhältnisse. Wenn also auf demselben schiefen Wege zwei Wagen sich befinden, von denen der eine mit 20, der andere nur mit 10 Zentnern belastet ist, so werden die Pferde bei jenem die doppelte Kraft anwenden müssen, um ihn in Ruhe zu erhalten. Es fällt den Pferden demnach auch schwerer, einen schweren Wagen beim Herabfahren zu steuern, als einen leichten, und man ist bei jenem eher genöthigt, ihnen durch einen die Reibung vermehrenden Hemmschuh zu Hilfe zu kommen, als bei diesem.

Daraus ergibt sich auch, daß ein schwerer Wagen auf einem Wege von gewisser Steigung die Reibung eher überwindet, als ein leichter. Da nun bei Eisenbahnen die Reibung so geringe ist und die Bewegung eines Wagenzuges nur durch die an den Triebrädern der Lokomotive stattfindende Reibung möglich ist, so folgt, daß bei der bedeutenden Last derselben die Eisenbahnen nur eine geringe Steigung haben dürfen.

In Frankreich dürfen die Chausseen eine Neigung von höchstens nur 4° 46′ haben, also auf 13 Fuß Länge 1 Fuß Erhebung. Eine Erhebung von 5° oder von 1 Fuß auf 11,5 Länge verlangt für ein Pferd bei voller Ladung eine Zugkraft von 310 Pfunden, welche es auf eine lange Zeit mit Sicherheit nicht besitzt, während bei dem vorigen Winkel die Zugkraft auf 282 Pfunde herabsinkt. Rechnet man bei völlig ebenem und horizontalem Wege etwa 31 Zentner als volle Last, d. h. Wagen mit Belastung, welche ein Pferd zu ziehen vermag, so darf der Weg auf 25 Fuß Länge nur 1 Fuß Steigung haben, oder der Neigungswinkel darf nur 2° 18′ sein, wenn es ohne übertriebene Anstrengung den Wagen hinaufziehen soll, wobei die Reibung $\frac{1}{18}$ der Last gerechnet ist. — Einen Berg mit 15° Neigung kann man bei voller Ladung nicht mehr herabfahren, denn wenn man auch auf die durch einen Hemmschuh bewirkte Reibung $\frac{1}{12}$ der Last rechnet, so ist die noch wirksame respektive Kraft immer noch zu groß. Nimmt man das Gewicht eines vierspännigen Wagens zu 800 Pfunden an, so würde auf jedes der Stangenpferde eine Schubkraft von 313 Pfunden und bei einem mit 1600 Pfunden beladenen Wagen für jedes Pferd gar 2819 Pfunde kommen, was auszuhalten unmöglich ist.

Es ist also durchaus nothwendig, daß man steile Wege nach Möglichkeit vermeidet. Um auf hohe Berge, wie z. B. in der Schweiz, zu gelangen, legt man den Weg im Zickzack an, d. h. in Schlangenlinien mit ziemlich raschen Wendungen nach einer möglichst lange in schräger, aber grader Richtung fortlaufenden Strecke.

Wollen wir selbst bergauf steigen, so wird uns dies nur so lange möglich sein, als wir durch das Vorwärtslegen des Oberkörpers unseren Schwerpunkt durch die nach oben gerichteten Fußsohlen noch unterstützen können und als dieselben durch die Reibung noch festgehalten werden. Da hierbei das Schienbein mit der Fußsohle einen um so kleineren Winkel macht, je steiler der Berg ist, und da wir diesen Winkel nicht gut kleiner, als etwa 53° machen können, so darf eine glatte Bergfläche, die etwa mit kurzem Rasen oder mit nackten Felsen ohne Hervorragungen bedeckt ist, keinen größeren Neigungswinkel, als 37° (90°—53°) bilden, wenn wir noch aufwärts steigen wollen. Kann man mit den Füßen Stufen in den Boden machen oder sind Hervorragungen vorhanden, so kann der Winkel wohl bis 42° wachsen. Wäre die Reibung an den Füßen nicht größer, als ⅓ der Last, so müßte man schon bei 20° Neigung ausgleiten und herabfallen.

Wenn wir heute noch die ungeheuren Massen anstaunen, welche die Egyptier bei ihren Pyramiden auf so bedeutende Höhen gebracht haben, ohne daß sie so wirksame Maschinen besaßen, wie wir sie jetzt gebrauchen; so konnten sie diesen Erfolg wohl nur durch Anwendung der schiefen Ebene und Rolle erreichen. Auch jetzt werden bei größeren Bauwerken noch die sogenannten Laufbrücken (Rampen) angewendet, um die Materialien hinauf zu schaffen.

In den Bergwerken legt man in den Stollen schiefe Fahrbahnen an, die man auch außerhalb weiter fortführt und benutzt die herabgehenden gefüllten Wagen, um immer einen leeren wieder herauf zu ziehen, indem sie an den Enden eines oben um eine Rolle gehenden Taues befestigt sind.

Auf gleiche Weise lassen sich zwei solche Wagen benutzen, um Hügel oder Berge abzutragen.

Die sogenannten Rollwagen haben hinten eine herabzuklappende schiefe Ebene, welche aus zwei parallelen und durch Querhölzer zusammengefügten starken Stangen besteht, um die Lasten mit Kraftersparniß entweder von dem Wagen herabzulassen oder sie hinaufzuschaffen. Solche Schrotleitern mit Widerhaken werden aber auch nach dem Bedürfnisse frei aufgelegt. Will man durch sie runde Fässer in Keller hinablassen, so umschlingt man das Faß mit einem an dem oberen Querholze der Leiter oder der Rutschbalken angebundenen Taue und läßt das andere Ende desselben nach und nach los.

Eine der interessantesten Anwendungen der schiefen Ebene ist bei den sogenannten trockenen Schleusen gemacht worden, um Schiffe über Anhöhen zu bringen. Um die bei Worsley in England gegrabenen Steinkohlen bis an den Fluß Merisey zu schaffen, müssen die Schiffe den Unterschied des Wasserstandes von 106 englische Fuß zwischen den Theilen des 52 englische Meilen langen Kanals auf einer schiefen Ebene von 453 Fuß Länge, bei 1 Fuß Steigung auf

4 Fuß Länge, überschreiten. Noch im Wasser werden die Schiffe auf Rollwagen gefahren, auf denen sie die Fahrt außerhalb des Wassers fortsetzen. — In neuester Zeit ist auch in Preußen ein ähnlicher Bau vollendet worden.

An Großartigkeit aber übertrifft wohl keine schiefe Ebene die, welche im Jahre 1816 in der Schweiz vom Pilatusberge herab gebaut worden ist, um auf ihr die Baumstämme des Urwaldes herabzulassen. Sie wurde aus 25000 geschälten Stämmen muldenförmig, 6 Fuß breit und 3 bis 6 Fuß tief, ohne Eisen zusammengefügt und ließ die oben losgelassenen Stämme einen Weg von 3 Stunden in 2½ Minuten zurücklegen. In die Rinne lief von vielen Seiten stets Wasser, um Feuersgefahr zu vermeiden.

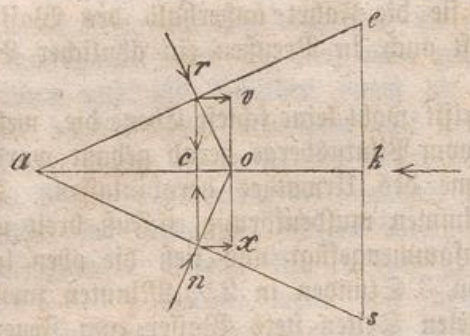
Wenn man mit Anwendung einer schiefen Ebene eine Last hinauf oder herab schaffen will, so verhält sich zwar die Kraft zur Last nur wie die Höhe zur Länge der Ebene und man spart somit an Kraft, aber diese Krafterspariß wird erkauft durch einen verhältnißmäßig ebenso großen Aufwand an Weg oder an Geschwindigkeit bei einer gewissen Zeit, denn man muß die ganze Länge der schiefen Ebene zurücklegen, um nur den höchsten Punkt ihrer kleineren Höhe zu erreichen oder es verhält sich die Geschwindigkeit der Kraft zu der der Last, wie die Länge der schiefen Ebene zu ihrer Höhe.

Zweiter Fall. In dem zweiten oben angegebenen Falle wirkt auf einen die schiefe Ebene belastenden Körper die Kraft parallel mit der Basis und dann verhält sich dieselbe zu dem Widerstande nur wie die Höhe der schiefen Ebene zur Basis.

Wenn bei einer schiefen Ebene die Höhe 3, die Basis 4 und die Länge 5 Ellen lang wäre und es läge auf ihr eine Last von 120 Pfunden, so würden dieselben, abgesehen von der Reibung, durch eine mit der Länge parallel wirkende Kraft von 72 und durch eine mit der Basis parallele Kraft erst von 90 Pfunden im Gleichgewichte gehalten. (Im ersten Falle steht k : 120 Pfunde = 3 : 5, im zweiten Falle k : 120 Pfunde = 3 : 4). Obwohl also die Krafterspariß im zweiten Falle eine geringere ist, so wird derselbe doch, wie wir bei der Schraube sehen werden, für die Praxis sehr wichtig.

Der Keil.

Wenn man zwei schiefe Ebenen mit vollkommen gleichen Abmessungen, deren lothrechte Querschnitte durch eak und sak (Fig. 219) dargestellt sein mögen, mit ihrer Basis aneinander so legt, daß diese einander decken, so hat man einen Keil erhalten. Der Keil ist also ein Körper, welcher begrenzt wird von drei rechtwinkligen Vierseiten und zwei gleichschenkligen Dreiseiten. es, welches die doppelte Höhe der schiefen Ebene ist, heißt der Rücken des Keiles, ae und as, die



(Fig. 219.)

früheren Längen der schiefen Ebenen, sind seine Seiten, und die Treffungslinie dieser Seiten, von welcher a der Durchschnittspunkt mit dem Querschnitte ist, heißt die Schneide des Keiles.

Man wendet dieses sehr wirksame Instrument zu verschiedenen Zwecken an, namentlich um einen Körper zu spalten oder seinen Zusammenhang in einer gewissen Richtung zu vernichten, um zwei Gegenstände zusammen zu pressen und um Gegenstände zu heben.

In allen Fällen wird die Schneide des Keiles so in einen Spalt gesteckt, daß seine Seiten in zwei Punkten r und n, welche von der Schneide gleiche Entfernungen haben, von dem widerstehenden Gegenstande getroffen werden, und dann läßt man stets, wenigstens am vortheilhaftesten, eine Kraft lothrecht auf den Rücken, also in der Richtung k a oder in der Richtung der Basis der schiefen Ebenen wirken. Da nun die Widerstände in r und n lothrecht auf die Seiten des Keiles wirken, so sind ihre Richtungen r o und n o schief gegen die a k. Wollen wir den zur Wirkung kommenden Antheil der Widerstände finden, so müssen diese schief wirkenden Kräfte aufgelöst werden in zwei Seitenkräfte, von denen die eine lothrecht auf a k, die andere mit ihr parallel wirkt. Sind r o und n o die Maße der gleichen Widerstände, so ist der erste aufgelöst in r c und c v, der zweite in n c und n x. Die beiden Seitenkräfte r c und n c wirken einander gradlinig entgegen und sind gleich, heben also einander auf, und es bleiben nur noch die beiden anderen Seitenkräfte r v und n x, welche der c o gleich sind, als Widerstände übrig, denen die auf den Rücken des Keiles wirkende Kraft gradlinig zusammengesetzt wirkt. Wenn jeder dieser Widerstände W und die auf den Rücken wirkende Kraft K heißt, so wird Gleichgewicht der Kräfte vorhanden sein, wenn $K = 2 . W$ ist, und ist K etwas größer, so wird, abgesehen von der Reibung, der Widerstand überwunden und der Zweck erreicht, welchen man durch Anwendung des Keiles bezweckt.

Es entsteht nur noch die Frage, in welchem Verhältnisse hier die anzuwendende Kraft mit dem ihr entgegen wirkenden Widerstande steht. In dem Dreiseite c o r stehen c o und o r genau in demselben Verhältnisse, wie k e und e a von dem Dreiseite k e a, d. h. es verhält sich in Beziehung auf die eine Hälfte des Keiles die zur Wirksamkeit gelangende Kraft zu dem vorhandenen Widerstande, wie die halbe Breite des Rückens zu einer Seitenlinie. Was von den Hälften des Keiles gilt, hat auch für den ganzen seine Richtigkeit, und da man für das

Verhältniß der Breite des Rückens zu einer Seitenlinie das der Fläche des Rückens zur Seitenfläche nehmen kann, so heißt das Gesetz:

> die lothrecht auf den Rücken des Keiles wirkende Kraft verhält sich zu dem ganzen Widerstande, wie die Fläche des Rückens zu den beiden Seiten.

Daraus ergibt sich, daß man bei der Anwendung eines Keiles um so mehr an Kraft sparen wird, je schmaler der Rücken ist im Verhältnisse zur Seitenlinie, oder: schmale Keile sind bei einer gewissen zugebote stehenden Kraft wirksamer, als breite. Je breiter der Rücken bei gewissen Seiten ist, desto größer ist auch der Winkel, welchen die letzteren bilden. Schmale Keile haben also unter diesem Umstande auch eine scharfe Schneide, so daß die Keile mit scharfen Schneiden wirksamer sind, als die mit stumpfen.

Es ist nicht nothwendig, daß der senkrechte Querschnitt eines Keiles ein gleichschenkliges Dreieck ist; es kann auch ein rechtwinkliges oder ein schiefwinkliges ungleichseitiges sein. Für den letzten Fall müssen die drei Linien, welche die auf die drei Flächen lothrecht wirkenden Kräfte darstellen, einander auch in einem Punkte schneiden, wenn Gleichgewicht vorhanden sein soll, weil sonst eine Drehung erfolgen würde.

Bei der schiefen Ebene wurde die Last auf derselben bewegt, während die Ebene ruhete; beim Keile wird diese schiefe Ebene gegen die zu bewältigende Last bewegt, was aber in der Theorie keinen Unterschied macht.

Bedient man sich des Keiles zum Spalten des Holzes, der Steine u. dergl. oder zum Hinauftreiben einer Last, so steckt man ihn in einen Spalt und in diesem muß er durch die Reibung festgehalten werden und darf nicht bei jedem, auf seinen Kopf ausgeübten Schlage zurückspringen, wenn er nicht seine Wirksamkeit verlieren soll. Diese für seine Anwendbarkeit nothwendige Reibung ist also gewiß sehr bedeutend und läßt einen Theil der auf ihn verwendeten Kraft verloren gehen. Die Reibung ist mindestens so groß, als der gegen ihn ausgeübte Druck des widerstehenden Körpers. Der durch ihn erzielte Erfolg ist aber wesentlich durch die auf ihn ausgeübten Schläge oder Stöße (nicht Drucke), z. B. eines Hammers, bedingt, indem hier die Kraft im graden Verhältnisse von der stoßenden Masse und der Quadratzahl ihrer Geschwindigkeit abhängt.

Eine Masse von 1 Pfund gibt bei 1 Fuß Geschwindigkeit in 1 Sekunde einen Erfolg von 0,47 Pfunden. Da man aber der Hand in 1 Sekunde eine Geschwindigkeit von 50 Fuß zu geben vermag, so läßt sich dem Hammer von 1 Pfunde Gewicht an einem Stiele wohl eine Geschwindigkeit von 100 Fuß ertheilen und seine Stoßkraft beträgt dann $100^2 \times 0{,}47 = 4700$ Pfunde, bei 50 Fuß Geschwindigkeit aber nur 1175 Pfunde.

Nehmen wir für diese Fälle einen Keil, dessen Seitenflächen einen Winkel von 15 Graden bilden und daß die Hälfte der Kraft durch die Reibung verloren geht; so ist die Wirkung für den ersten Fall 9079,7 und für den zweiten noch 2270 Pfunde.

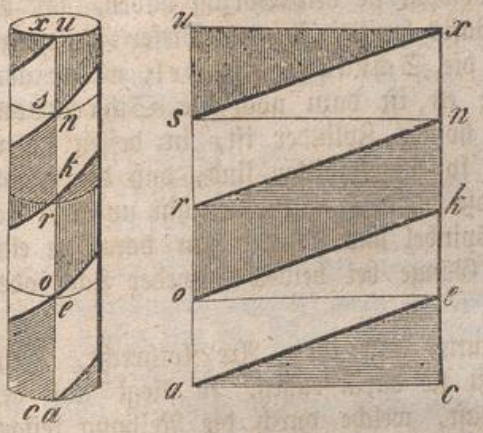
Wendet man zum Schlagen Hämmer an, welche bedeutend schwerer sind, z. B. 10 bis 12 Pfunde und noch schwerer, so läßt sich leicht entnehmen, daß man durch Keile ungemein große Erfolge zu erreichen im Stande ist, z. B. bedeutende Schiffe u. a. zu heben.

Zu den Keilen sind zu rechnen: alle Arten von Messern, die Schneiden der verschiedenen Scheren, die Meißel oder Stemmeisen, die Hobeleisen, die Beile und Aexte, von denen die sogen. Schelläxte zum Spalten ganzer Holzkloben einen breiten Rücken und eine stumpfe Schneide haben; ferner die Zähne, namentlich Schneide- und Nagezähne, von Menschen und Thieren, die Pflugscharen, Grabstichel, die Säbel, Degen und Spieße, die Nägel, die Nadeln. Bei den letzteren ist die bei den früheren Gegenständen linienförmige Schneide mehr zu einem Punkte geworden und die bei jenen ebenen Seiten sind schmaler und abgerundet.

Bei den Gewölben sind die einzelnen Bogenausschnitte auch Keile, nur daß diese Keile durch eine mit dem Rücken parallel gelegte Schnittfläche verkürzt sind. Je flacher die Wölbung, desto größer ist der Winkel, welchen die Seiten eines jeden Keiles bilden und desto geringer ist bei einer gewissen Belastung der Druck, welchen die Seiten ausüben und erleiden und daher kann ein flaches Gewölbe weniger tragen, als ein hohes; dagegen ist der Druck auf und gegen die Widerlager oder Strebepfeiler bei dem flachen Gewölbe geringer, als bei den steilen. Die Berechnung des Druckes unterliegt keinen anderen als den oben angeführten Gesetzen.

Die Schraube.

Um von der Entstehung der Schraube, dieses in der Praxis so häufig vorkommenden, äußerst wirksamen und sonst noch wichtigen Instrumentes, einen möglichst klaren Begriff zu bekommen, wollen wir uns einen graden Zylinder aus irgend einem festen Körper, z. B. Holz oder Metall denken und außerdem ein rechtwinkliges Dreiseit aus Papier, dessen eine Kathete (ein Schenkel des rechten Winkels) genau gleich dem Umfange des Zylinders ist. Stellen wir nun den Zylinder (Fig. 220) lothrecht und kleben das Dreiseit ace so um den Zylinder, daß die Kathete ac, welche gleich dem Umfange des Zylinders angenommen wurde, horizontal liegt; so steigt die Hypothenuse ae als wie eine schiefe Ebene rings um den Zylinder empor. Nimmt man nun ein zweites, mit dem ersten vollkommen übereinstimmendes Dreiseit, dreht es um in die Lage von rok, so daß jetzt die Basis oben und auch horizontal liegt, und klebt es so auf den Zylinder, daß o in e zu liegen kommt, so wird die jetzige Hypothenuse als Fortsetzung der vorigen

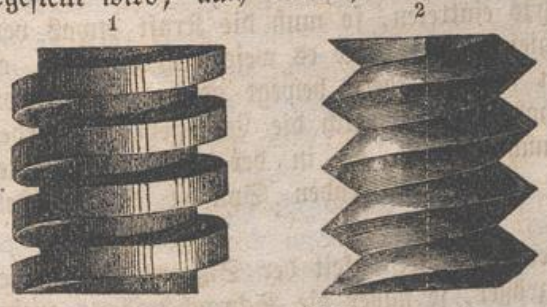


(Fig. 220.)

erscheinen. Nun nimmt man ein drittes Dreiseit rkn und klebt es wie das erste, ein viertes usx wie das zweite, und man erhält durch die Hypothenusen eine ununterbrochene, sich um den Zylinder windende Schraubenlinie; die einmalige Hypothenuse heißt ein Schraubengang, die Entfernung des Anfanges und des Endes eines Schraubenganges, welche durch die zweite Kathete des umgewickelten Dreiseites, also durch ce, angegeben wird, heißt die Höhe eines Schraubenganges.

Es ist wohl leicht einzusehen, daß man die Schraubenlinie auch dadurch erhält, daß man sich ein Papier in der Form eines rechtwinkligen Parallelogrammes wie uxca schneidet, dessen Basis ac dem Umfange und dessen Höhe au der Höhe des Zylinders gleich ist; daß man die Höhe in gleiche Theile us, sr, ro und oa zerlegt, durch die Theilungspunkte Linien parallel mit der Basis zeichnet, wodurch man lauter kleinere Parallelogramme erhält und in diesen endlich die Diagonalen sx, rn, ok und ae zeichnet. Wickelt man nun die so erhaltene Figur um den Zylinder, so bilden die Diagonalen die ununterbrochene Schraubenlinie.

Wollen wir nun ein brauchbares Instrument haben, so müssen wir dafür sorgen, daß die schiefe Ebene, deren Lage durch die schiefe Linie dargestellt wird, auch wirklich vorhanden ist. Man muß zu diesem Zwecke (Fig. 221) in der Richtung dieser Schraubenlinie noch eine zweite, also mit ihr gleichlaufende zeichnen und den zwischen ihnen befindlichen Streifen des massiven Zylinders bis auf eine gewisse Tiefe ausschneiden, wobei die Schnittflächen untereinander parallel und gegen die Zylinderfläche lothrecht sind, wie es Fig. 1 andeutet. Dadurch bekommt man die sogen. flachen Schraubengänge. Statt dessen kann man auch von der Schraubenlinie aus schräge zu beiden Seiten unter gleichen



(Fig. 221.)

Winkeln gegen die Zylinderoberfläche einschneiden und bekommt so scharfe Schraubengänge, wie es Fig. 2 zeigt, deren Kante aber bei großen Widerständen leichter ausbricht, obwohl sie den Vorzug haben, daß bei derselben Höhe der Gänge die Basis breiter ist. — Dieser so ausgeschnittene massive Zylinder heißt die Schraubenspindel, welche aber für sich noch nicht brauchbar ist; es ist dazu noch die Schraubenmutter erforderlich, welche ein hohler Zylinder ist, in dessen innere Fläche ebensolche Schraubengänge so eingeschnitten sind, daß die Spindel mit den ihrigen sich ohne große Reibung auf ihnen hin und her bewegen läßt. Es ist klar, daß Spindel und Mutter nur dann zu einander passen werden, wenn die Gänge bei beiden entweder flach oder scharf sind.

Stellt man die Schraubenmutter mit ihrer Axe lothrecht, dreht man die Spindel hinein und läßt sie darin ruhen, so liegt auf der schiefen Ebene der Mutter eine Last, welche durch die Reibung festgehalten wird. Diese Last wird natürlich vergrößert, wenn man die Spindel beschwert oder auf sie einen Druck ausübt. Wenn man nun die Spindel dreht, indem man sie an ihrem Umfange angreift, so schiebt man auf der schiefen Ebene eine Kraft, welche horizontal, also parallel mit der Basis der schiefen Ebene wirkt. Aus dem bei der schiefen Ebene Angeführten wissen wir aber, daß für das Gleichgewicht in diesem Falle sich die Kraft zur Last (dem Widerstande) verhält wie die Höhe der schiefen Ebene zu ihrer Basis. Hier ist nun die Höhe der schiefen Ebene auch die Höhe eines Schraubenganges, die Basis von jener ist der Umfang der Spindel (oder der innere Umfang der Mutter, gerechnet von der Mitte der schiefen Fläche). Also heißt hier das Gesetz für das Gleichgewicht, wenn die Kraft am Umfange der Spindel angreift:

> die Kraft verhält sich zum Widerstande wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfange der Spindel.

Soll Bewegung aufwärts eintreten, so muß die Kraft etwas vermehrt werden. Bei der schiefen Ebene war es wesentlich einerlei, ob die Last auf einer ruhenden schiefen Ebene bewegt oder ob unter die ruhende Last die Ebene geschoben und dadurch die Last gehoben werden sollte. Hier also ist es auch einerlei, ob in der ruhenden Mutter die belastete Spindel oder auf der ruhenden Spindel die belastete Mutter bewegt werden soll.

Die Krafterspariß oder die Wirksamkeit der Schraube bei einer gewissen Kraft ist um so größer, je näher die Schraubengänge aneinander liegen oder je geringer die Höhe jedes einzelnen und je größer der Umfang der Spindel oder Mutter ist. Da aber Spindeln von sehr großem Durchmesser sehr unbequem sein und solche Schrauben sich auch nicht leicht anfertigen lassen würden, so steckt man, wenn die

Spindel gedreht werden soll, lothrecht zu ihrer Axe zwei oder mehre Stäbe als Hebelarme durch sie und wenn die Mutter gedreht wird, versieht man sie mit zwei verlängerten Griffen, welches auch die Arme von einarmigen Hebeln sind, deren Drehungspunkt in der Axe der Schraube liegt. Es verhält sich nun mit Berücksichtigung eines angewendeten Hebels

die Kraft zur Last wie die Höhe eines Schraubenganges zu der vom Angriffspunkte der Kraft durchlaufenen Peripherie.

Um zur Erzeugung sehr großer Wirkungen nicht allzulange Hebelarme anzubringen, befestigt man an dem mäßig langen Arme ein Seil, schlingt dieses um die Welle einer Winde und dreht diese mittelst eines langen Hebelarmes. Die Wirkung kann hierdurch so gesteigert werden, daß selbst 6zöllige eiserne Schrauben zerdreht oder ihre Gänge zerbrochen werden können.

Ist z. B. die Höhe eines Schraubenganges nur 1 Zoll oder $\frac{1}{12}$ Fuß, der an der Spindel angebrachte Hebelarm aber 10 Fuß, folglich der ganze von seinem Endpunkte beschriebene Kreisumfang $10 . 2 . 3{,}1415 = 62{,}83$ Fuß und läßt man am Ende des Hebelarmes noch eine Winde wirken, welche die Kraft um das 10fache vermehrt; so ist also die Kraft eines mit 50 Pfunden wirkenden Menschen gleich $50 \times 62{,}83 \times 10 \times 12 = 376980$ Pfunde, wenn auf die Reibung keine Rücksicht genommen wird. Wirkte ein Mensch nur mit 30 Pfunden Kraft, so wäre der Erfolg 226,118 Pfunde.

Wenn man in Amerika Häuser sammt ihren Bewohnern, ja ganze Städte hebt, wie es früher mit Shikago geschehen ist, welches den Ueberschwemmungen ausgesetzt war; so erscheint dieses bei den so bedeutenden Erfolgen, welche man schon durch Anwendung einer einzigen Schraube erreichen kann, gar nicht mehr so sehr wunderbar, ja fabelhaft. Man wendet aber für solche Zwecke etwa 150 gleichmäßig wirkende Schrauben an, stellt zu jeder einen Arbeiter, läßt alle auf ein gegebenes Zeichen ihre Schrauben in eine gleichmäßige Bewegung versetzen und kann dann den so gewonnenen Raum, welcher in dem angeführten Beispiele im Ganzen eine Höhe von 9 Fuß hatte, untermauern. Die hydraulischen Pressen sind indeß noch wirksamer.

Wenn auch durch Benutzung einer Schraube mit niedrigen, aber immer noch hinreichend widerstandsfähigen Gängen und langen Hebelarmen bedeutend an Muskelkraft gespart wird; so steht mit dieser Ersparniß der Aufwand an Zeit in gleichem Verhältnisse, weil der Widerstand nur um die Höhe eines Schraubenganges in derselben Zeit überwunden wird, während welcher die Kraft den ganzen Kreisumfang beschreibt, dessen Radius die Entfernung ihres Angriffspunktes von der Axe der Schraube ist.

Es verhalten sich also die Geschwindigkeiten von Kraft und Last zu einander, wie die von der Kraft durchlaufene Kreislinie zur Höhe eines Schraubenganges.

Da man häufig selbst mit Aufwand an Zeit große Widerstände auf kurze Strecken zu beseitigen und dabei recht sanfte Bewegungen ohne Ruck und Stoß zu erreichen wünscht, so gehören die Schrauben auch in dieser Beziehung zu den nützlichsten Werkzeugen.

Es ist übrigens wohl klar, daß man bei der Anwendung die Axe der Schraube nicht grade lothrecht auf den Horizont zu stellen braucht; wir haben dieses anfänglich nur angenommen, um die Zurückführung des hier geltenden Gesetzes auf das bei der schiefen Ebene zu erleichtern.

Die Wirkung einer Schraube kann ohne Verlängerung der Hebelarme vergrößert werden, wenn man an dieselbe Spindel zwei Gewinde von verschiedenem Durchmesser einschneidet und jedes in einer Mutter gehen läßt, so daß beide Muttern einander sich nähern oder von einander entfernen lassen. Es ist hier eine Wirkung ähnlich der von Differenzialrollen und der Gegenwinde und man könnte die Vorrichtung eine Differenzialschraube nennen.

Die Kraft verhält sich bei ihr zum Widerstande, wie der Unterschied der Höhen der Gänge zum Umfange des von der Kraft beschriebenen Kreises.

Hätte z. B. die Spindel an dem einen Theile 10 Gänge auf einen Zoll, an dem anderen aber 12, so würde der zu bewegende Körper nach einer Umdrehung um $\frac{1}{10}$ Zoll gehoben und zugleich um $\frac{1}{12}$ Zoll herabgedrückt, also im Ganzen um $\frac{1}{10} - \frac{1}{12} = \frac{2}{120} = \frac{1}{60}$ Zoll gehoben und durch entgegengesetzte Drehung herabgedrückt. Es ist also klar, daß man durch solche Schrauben außerordentlich kleine Bewegungen hervorbringen und auf diese Weise zur Abmessung sehr kleiner Entfernungen benutzen kann. Eine zu diesem Zwecke eingerichtete Schraube wird eine Mikrometerschraube genannt.

Man erhält eine Mikrometerschraube auch dann, wenn man den Schraubengängen eine sehr geringe Höhe gibt Gesetzt, ein Schraubengang auf einer Spindel, welche sich in einer festen Mutter bewegt, habe eine Höhe von $\frac{1}{2}$ Millimeter; so wird ihr Endpunkt oder ein am Ende befindliches Stiftchen nach einer einmaligen ganzen Umdrehung um $\frac{1}{2}$ Millimeter, nach einer Drehung von 180 Graden, um $\frac{1}{4}$, nach 90 Gr. Drehung, um $\frac{1}{8}$ Millimeter u. s. w. sich verschoben haben. Ist nun senkrecht zur Schraube eine in Grade und Theile derselben (mittelst Nonius) eingetheilte Kreisscheibe und an der Axe ein mit ihr zugleich drehbarer Zeiger angebracht, so lassen sich leicht sehr kleine Drehungen ablesen und hervorbringen. Eine Drehung um 1 Grad oder den 360sten Theil des Umfanges schiebt die Spindel auch um den ebensovielten Theil der Höhe eines Schraubenganges, d. i. um $\frac{1}{720}$ Millimeter fort; hätte

man also nur $\frac{1}{20}$ Grad gedreht, so würde die Verschiebung nur $\frac{1}{20} \cdot \frac{1}{720} = \frac{1}{14400}$ Millimeter betragen.

Die Millimeterschrauben sind daher zu genauen Eintheilungen, namentlich in sehr kleine Theile, überhaupt zu Theilungsmaschinen und zu mikroskopischen Messungen unentbehrlich.

Wird bei einer Schraube nicht blos ein Gang berücksichtigt, auf dessen schiefer Ebene der Widerstand wirkt, sondern sind n Schraubengänge, auf denen die Last L sich befindet, so ist der auf jeden einzelnen wirkende Antheil von ihr nur $\frac{1}{n} \cdot L$, so daß sie nicht übermäßig stark zu sein brauchen, um haltbar zu sein; der Gesammtwiderstand bleibt aber derselbe.

Die bisher betrachteten Schrauben hatten nur ein einfaches Gewinde; aber es gibt auch solche, welche 2 bis 3, höchstens 4 mit einander parallel laufende, also überhaupt mehrfache Gewinde haben. Um sie zu erhalten, theilt man den Umfang der Spindel in so viele gleiche Theile, als Gewinde gemacht werden sollen, und gibt von den Theilungspunkten an jedem Schraubengange als Höhe das Sovielfache der Höhe eines einzelnen Ganges, als Gewinde zu machen sind. Die einzelnen Theilungspunkte am Umfange der Spindel sind die Anfangspunkte für die einzelnen Schraubengänge. Hier soll die Last gleichzeitig auf zwei oder mehren geneigten Ebenen bewegt werden und daher muß die Kraft in gradem Verhältnisse mit der Anzahl der Schraubengänge vermehrt werden, so daß sich bei n Schraubengängen die Kraft zur Last verhält, wie das nfache der Höhe eines Ganges zum Umfange der Spindel, wenn an ihr die Kraft angreift. Der Vortheil besteht darin, daß die Geschwindigkeit der Bewegung vermehrt wird. Man gebraucht sie namentlich bei solchen Pressen, welche beim Aufhören der wirkenden Kraft von selbst wieder zurückgehen sollen, wozu einfache Gewinde nicht geeignet sind, weil auf ihnen der ganze Reibungswiderstand wirksam, also dem Zurückgleiten hinderlich ist. Da diese Reibung mehr als die doppelte Kraft erfordert, so ist ihre Vertheilung auf zwei Gewinde noch nicht hinreichend, sondern es müssen mindestens drei sein.

Es dürfen für solche Fälle, wie bei Münz-, Siegel-, Papierpressen, die Schraubenflächen überhaupt keine große Reibung darbieten. Hierher gehören auch die Ziegel- und Drainröhrenpressen.

In vielen Fällen aber soll durch Schrauben eine dauernde Pressung bewirkt werden und dann darf nach dem Aufhören der wirkenden Kraft die Schraube nicht zurückgehen, sondern es muß in solchen Fällen der Reibungswiderstand größer sein, als die Last. Dies gilt z. B. für die Schraubenzwingen der Tischler, für die Schraubstöcke der Schlosser u. A., für die Buchbinderpressen, Pflanzenpressen, Wein-, Oel-, Kopir-, Drucker- u. a. Pressen. — Statt Flintenkugeln zu gießen, werden sie auch durch Schraubenpressen hergestellt, wodurch die richtige Lage ihres Schwer-

punktes gesichert wird. — Außerdem wendet man Schrauben an, um Instrumente (Meßtische, Nivellirapparate, Fernröhre) angemessen einzustellen, um Reißfedern und Haar- oder Federzirkel für den Gebrauch einzurichten, um Geschütze zu richten, um Wagen während des Fahrens zu hemmen und zu bremsen u. s. w. — Von wesentlichem Nutzen sind die Schrauben beim Baue artesischer Brunnen, denn die Metallröhren können in die gebohrten Löcher nicht durch Rammen eingetrieben werden, weil sie bei einem etwas größeren Reibungswiderstande an der äußeren Röhrenwand bald zertrümmert werden würden, sondern sie müssen durch kräftig, aber langsam wirkende Schraubenpressen herabgedrückt werden.

Hat man an einer Spindel mit fester Axe nur einige Schraubengänge, greifen dieselben aber in die Zähne eines Stirnrades ein; so kann man durch ununterbrochene Drehung der Spindel auch das Rad in fortwährender Drehung erhalten. Diese Vorrichtung heißt eine Schraube ohne Ende. Ist hierbei an der Axe der Schraube eine Kurbel, deren Radius R heißen mag, und an der Axe des Rades mit dem Radius R' eine Welle, deren Radius r sei; so läßt sich durch eine geringe an der Kurbel wirkende Kraft K ein bedeutender Widerstand W am Umfange der Welle überwinden, denn das Verhältniß der Kraft zur Last ist aus zwei Verhältnissen zusammengesetzt, nämlich aus dem der Höhe h eines Schraubenganges zur Peripherie 6,283 R der Kurbel und aus dem der Radien der Welle und des Rades, also

$$K : W = hr : 6{,}283\,R\,R'.$$

Wäre z. B. die Höhe eines Schraubenganges 1 Zoll, der Radius der Welle 3 Zoll, der des Rades 3 Fuß und der der Kurbel 1 Fuß; so verhielte sich die Kraft zur Last wie $\frac{1}{12} \cdot \frac{1}{4} : 6{,}283 \cdot 3 \cdot 1$ oder wie 1 : 904,752, oder man könnte mit 1 Pfunde Kraft schon fast 905 Pfund Last im Gleichgewichte halten. Weil die Welle ungeachtet eines schnellen Umlaufes der Kurbel sich nur sehr langsam dreht, so kann man durch eine solche Vorrichtung sehr kleine Bewegungen messen.

Zweiter Abschnitt.

Von den einfachen Maschinen und Transmissionen.

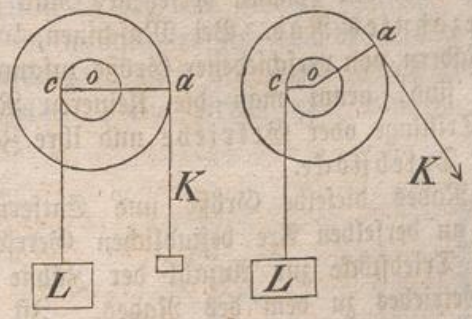
Wir haben fünf Werkzeuge kennen gelernt, nämlich den Hebel, die Rolle, die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube. Aus den angeführten Darstellungen ergibt sich aber, daß wir dieselben ihrer Wirksamkeit nach auf nur zwei: den Hebel und die schiefe Ebene zurückführen

können, denn die Rolle ist ihrem Wirkungsgesetze nach nicht von dem Hebel und der Keil und die Schraube sind von der schiefen Ebene nicht verschieden; es ist blos in der Art ihrer Anwendung und Handhabung eine Verschiedenheit. Werden diese Werkzeuge jedes einzeln angewendet, so ist es vorzüglich die menschliche Hand, deren Kraft durch sie geleitet und unmittelbar auf einen zweiten Punkt übergetragen wird.

Werden aber von den obigen Werkzeugen zwei oder mehre gleichartige oder auch ungleichartige so verbunden, daß eine Uebertragung der Kraft von einem Theile auf einen anderen, ohne oder mit Umwandlung der Bewegungsart, stattfindet; so entstehen Maschinen. Wenn durch eine Maschine nur eine einmalige Umwandlung der Bewegungsart geschieht, so ist die Maschine eine einfache Sie kann dabei entweder aus mehren gleichartigen Werkzeugen bestehen oder aus zwei verschiedenartigen. In allen Fällen hängt die Wirkungsart von der Form der angewendeten Werkzeuge, welche jetzt Maschinentheile heißen, aber nicht mehr von der unmittelbaren Leitung durch unsere Hand ab.

Die zusammengesetzte Rolle.

Bilden zwei aneinander liegende Rollen mit ungleichen Radien und derselben Drehungsaxe ein Ganzes, so haben wir eine zusammengesetzte Rolle. Fig. 222 zeigt die Vorrichtung im Durchschnitt: o ist ein Punkt der Drehungsaxe beider Rollen, oc der Radius der kleineren, oa der Radius der daran befestigten größeren Rolle. Beide haben einen Schnurlauf; um die kleinere ist die Schnur nach links, um die größere nach rechts gelegt und jede Schnur in der ersten Zeichnung mit einem Gewichte als Kraft beschwert. In der zweiten Zeichnung trägt aber nur die Schnur an der kleineren Rolle ein Gewicht, während an der Schnur der größeren irgend eine Kraft K in beliebiger Richtung wirkt.



(Fig. 222.)

In beiden Fällen sind die Radien der Rollen als Arme von Hebeln anzusehen, deren Drehungspunkt in der Axe o liegt; in beiden Fällen wirken die Kräfte lothrecht auf die Arme; im ersten Falle aber ist der Hebel ein gradliniger, im zweiten ein Winkelhebel. In beiden Fällen gilt als Gesetz für das Gleichgewicht:

Die Kraft K, welche am Umfange der größeren Rolle angreift, verhält sich zur Last L, deren Angriffspunkt am Umfange der kleineren

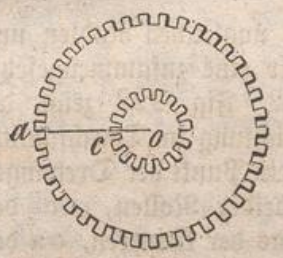
Rolle sich befindet, wie der Radius oc der kleineren zum Radius oa der größeren Rolle.

Ist z. B. oc der zehnte Theil von oa, so können mit 1 Zentner Kraft 10 Zentner Last im Gleichgewichte erhalten und mit einem kleinen Ueber- oder Untergewichte eine Bewegung jener erzeugen. In diesem Falle verhält sich die Geschwindigkeit der Kraft zur Geschwindigkeit der Last wie 10 zu 1.

Will man mit einem hinreichend zugebote stehenden Uebermaße von Kraft eine größere Geschwindigkeit hervorbringen, so muß man sie am Umfange der kleineren Rolle wirken lassen, weil sich in diesem Falle die Geschwindigkeit der Kraft zur Geschwindigkeit der Last verhält wie der Radius der kleineren Rolle zu dem der größeren.

Rad mit Getriebe.

Die Reibung an den Umfängen zweier Scheiben oder Räder, die entweder einander unmittelbar berühren oder durch umgelegte Schnuren und Riemen verbunden sind, ist oft nicht hinreichend, um Bewegungen überzutragen, wenn die Widerstände zu groß sind. Zu diesem Zwecke bringt man (Fig. 223) an den Umfängen der Räder gleichgeformte, gleichgroße und in gleichen Abständen von einander entfernte Hervorragungen mit etwas breiterer Basis an, die man Zähne nennt. Ein mit Zähnen versehenes Rad heißt ein gezahntes Rad. Bei Maschinen, welche aus Rädern von verschiedener Größe zusammengesetzt sind, nennt man die kleineren Räder auch Trillinge oder Getriebe und ihre Zähne heißen Triebstöcke.



(Fig. 223.)

Wenn die Zähne eines Rades dieselbe Größe und Entfernung haben wie die Triebstöcke des an derselben Axe befindlichen Getriebes, so verhält sich die Anzahl der Triebstöcke zur Anzahl der Zähne des Rades, wie der Radius des Getriebes zu dem des Rades. Ist das Verhältniß der letzteren z. B. 1 zu 10, so gehören zu 10 Triebstöcken 100 Zähne, und wenn sich beide gleichzeitig um ihre Axe drehen, so gehen an einem gewissen Punkte 10mal mehr Zähne, als Triebstöcke vorüber.

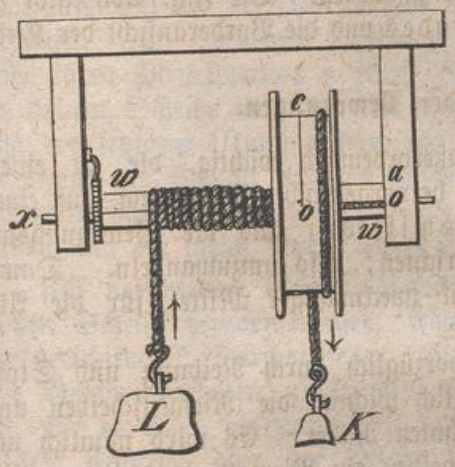
Die beiden an den Zähnen (und Triebstöcken) angreifenden Kräfte verhalten sich wie umgehrt die Anzahl der Zähne beider Räder, ihre Geschwindigkeiten aber grade so.

Das Wellrad.

Man kann sich bei einer zusammengesetzten Rolle die kleinere Rolle zu einem Zylinder oder einer Walze erweitert und statt der größeren

Rolle ein Rad an derselben Axe drehbar befestigt denken und man hat dann ein Rad an der Welle oder ein Wellrad. Die Größe der Durchmesser ist je nach den Zwecken verschieden und er schwankt für das Rad von 5 bis zu 20 Fuß und für die Welle von 6 bis zu 18 Zollen und mehr.

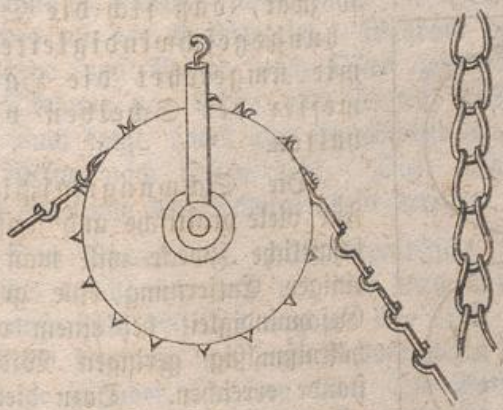
Die Leistungsfähigkeit des Wellrades ist ganz auf die der zusammengesetzten Rolle zurückzuführen. Ist in Fig. 224 ww die Welle, oa ihr Radius, ox ihre Axe und zugleich die Drehungsaxe eines daran befestigten Rades, von welchem oc ein Radius sein mag; ist ferner um den Umfang der Welle ein Seil gewunden, an welchem sich ein Widerstand L befindet und wirkt an dem Umfange des Rades z. B. bei c, vielleicht auch mittelst eines Seiles eine Kraft K; so verhält sich K : L = oa : oc, d. h.:



(Fig. 224.)

die Kraft verhält sich zum Widerstande wie der Radius der Welle zum Radius des Rades.

Die Kräfte wirken auf diese Radien lothrecht; denn das angezogene Seil steht auf dem Radius senkrecht, welcher nach dem Punkte gezogen ist, in welchem es sich von der Welle ablöst. Das aber bringt in der Wirkungsfähigkeit der Kräfte keinen Unterschied hervor, daß sie nicht in derselben Ebene wirken, weil man ja den Angriffspunkt einer Kraft in einen beliebigen Punkt einer starren Linie, hier der Axe verlegen kann, ohne den Erfolg zu ändern. Für die obige Voraussetzung verhält sich:


(Fig. 225.)

die Geschwindigkeit der Kraft zur Geschwindigkeit der Last, wie der Radius des Rades zum Radius der Welle.

Für die genauere Berechnung des Verhältnisses der Kräfte ist es nothwendig, daß die halbe Dicke des Seiles oder

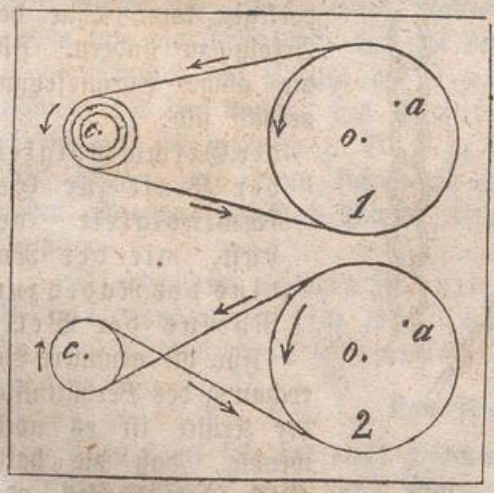
Taues zu dem Halbmesser der Welle gerechnet wird und daß die Windungen desselben nebeneinander zu liegen kommen.

Einen Uebergang vom Rade an der Welle zum Rade mit Getriebe machen diejenigen Vorrichtungen, bei welchen die Räder an ihrem Umfange statt der Zähne zackenartige grade oder gekrümmte Spitzen haben, um dadurch bei ihrer Umdrehung eine gegliederte Kette fortzuziehen oder sich auch durch ihr Anziehen drehen zu lassen. Die Fig. 225 gibt die Seitenansicht eines solchen Kettenrades und die Vorderansicht der Kette.

Uebertragung der Bewegungen.

Bei den Maschinen ist es außerordentlich wichtig, die an einem bestimmten Orte stattfindende oder hervorgebrachte Bewegung auf einen anderen Ort überzutragen (Transmission) und die Bewegungsart für einen vorliegenden Zweck einzurichten, also umzuwandeln. Damit im Zusammenhange steht die Wahl zweckmäßiger Mittel für die Angriffspunkte der verschiedenen Kräfte.

Die Uebertragung geschieht vorzüglich durch Reibung und Stoß. In ersterer Beziehung sind vorzüglich wichtig die Riemenscheiben und Friktionsrollen, in letzterer die gezahnten Räder. Es wird nämlich um die Umfänge zweier kreisrunden Scheiben ein Riemen (aus Leder oder Guttapercha) oder eine Schnur grade mit einer solchen Spannung umgelegt, daß bei der Drehung der einen Scheibe der Riemen von ihr sich ab- und auf die andere Scheibe aufwickelt, so daß dadurch auch die letztere in Drehung versetzt wird. Sind die Radien der Scheiben einander gleich, so haben sie eine gleiche Drehungsgeschwindigkeit, d. h. die Anzahl der Umläufe ist für beide in einer bestimmten Zeit dieselbe; sind sie aber ungleich, so hat die kleinere eine größere Geschwindigkeit so zwar, daß sich die Drehungsgeschwindigkeiten wie umgekehrt die Halbmesser der Scheiben verhalten.



(Fig. 226.)

Die Schwungmaschine. Für viele praktische und wissenschaftliche Zwecke will man in einiger Entfernung eine große Geschwindigkeit bei einem verhältnißmäßig geringen Widerstande erreichen. Dazu dienen also (Fig. 226) zwei kreisrunde Scheiben mit Schnurläufen und sehr ungleichen Durchmessern, welche um eine durch ihren

Mittelpunkt gehende Axe leicht drehbar sind. Soll die Drehung beider Scheiben in demselben Sinne geschehen, so legt man die Schnur wie in der ersten Zeichnung; sollen aber die Scheiben sich in entgegengesetzter Richtung drehen, so müssen die Schnurentheile zwischen ihnen einander kreuzen, wie in der zweiten Zeichnung.

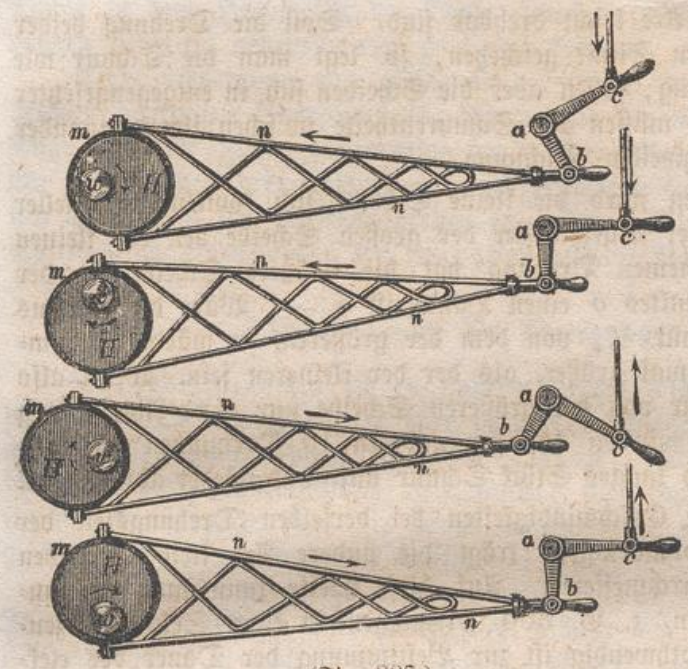
In beiden Fällen wird die kleine Scheibe sich sovielmal schneller drehen, wievielmal der Durchmesser der großen Scheibe den der kleinen übertrifft. Zur bequemen Drehung hat die größere Scheibe in der Nähe ihres Mittelpunktes o einen Handgriff a. — Wäre der Radius der kleinen Scheibe nur $\frac{1}{10}$ von dem der größeren, so würde der Umfang der letzteren 10mal größer, als der der kleineren sein. Wenn also ein Punkt der Schnur von der größeren Scheibe nur eine Abwickelung vollbracht hätte, so würden auf der anderen 10 Drehungen geschehen müssen, um ein gleich langes Stück Schnur auf- und wieder abzuwickeln.

Um verschiedene Geschwindigkeiten bei derselben Drehungszeit der großen Scheibe hervorzubringen, trägt die andere Axe kleine Scheiben von verschiedenen Durchmessern. Auf diese Weise kann man erstaunliche Geschwindigkeiten, z. B. 800 Drehungen in einer Sekunde erzeugen, wie es u. a. nothwendig ist zur Bestimmung der Dauer des elektrischen Funkens oder der Geschwindigkeit der Elektrizität in Metalldrähten oder um die Menge der Schwingungen bei Erzeugung eines gewissen Tones zu erkennen.

Geringere, aber immer noch sehr gesteigerte Geschwindigkeiten sind für verschiedene praktische Zwecke erforderlich, z. B. beim Spinnen, Schleifen, Drechseln, Polieren, Sägen (Kreissägen zu Fourniren u. a.).

Entgegengesetzte Drehungen braucht man nicht nur bei verschiedenen Maschinen, sondern auch bei Herstellung eines Lunariums, d. h. einer Vorrichtung, welche naturgemäß die Bewegungen der Erde und des Mondes um die Sonne zeigt. Während der wirklichen Axenbewegung der Erde von Westen nach Osten zeigt die scheinbare Himmelskugel eine Drehung von Osten nach Westen, welcher der Mond im Ganzen zwar auch folgt, dabei aber fortwährend langsam (täglich über 12 Grade) von Westen nach Osten geht. Diese entgegengesetzte Bewegung wird durch Kreuzung der Schnurentheile erreicht.

Das Excentric. Die excentrische Scheibe ist eine kreisrunde Scheibe, welche sich nicht um eine durch ihren Mittelpunkt gehende, sondern außerhalb desselben liegende Axe dreht und statt mit einem Taue an ihrem Umfange mit einer kreisförmigen Fassung, an welcher sich ein Gestänge befindet, umgeben ist. Die Vorrichtung ist namentlich für Dampfmaschinen höchst wichtig, weil sie dazu dient, ähnlich wie die schon früher erwähnte unrunde Scheibe, aus der drehenden Bewegung eine hin- und hergehende zu machen, um dadurch Räume zu öffnen oder abzuschließen.



(Fig. 227.)

In Fig. 227 ist w der Durchschnitt der Welle des Schwungrades einer Maschine; auf ihr sitzt die kreisförmige Scheibe H so fest, daß der Mittelpunkt der Welle seitwärts von ihrem Mittelpunkte liegt; den Umfang der Scheibe umgibt ein Ring m lose, so daß H in ihm sich ohne große Reibung drehen läßt; an diesem Ringe ist in zwei diametral gegenüber liegenden Punkten ein Gestänge nn befestigt, welches bei b drehbar einen Winkelhebel bac, dessen fester Drehungspunkt a ist, angreift; der zweite Arm des Hebels ist bei c mit einer Stange, welche hin und her geschoben werden soll, drehbar verbunden.

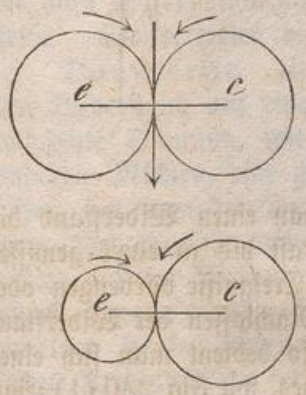
Gehen wir von der Stellung I. aus, so hat der Mittelpunkt des H die größte Entfernung nach rechts von dem feststehenden Mittelpunkte der Welle w, also liegt auch b am weitesten nach rechts und c am weitesten nach oben. Beginnt die Drehung der Welle und somit auch der Scheibe in der Richtung des Pfeiles auf ihr; so geht ihr Mittelpunkt, also auch das Gestänge und der Punkt b nach links und c wird herabgezogen. Nach einer Vierteldrehung erscheint die Stellung II., aber dieselbe Art der Bewegung bleibt noch bis zu Ende der zweiten Vierteldrehung, wo in der Stellung III. der Mittelpunkt der Scheibe und b am weitesten nach links und c am weitesten nach unten gekommen ist. Im dritten Viertel der Drehung, deren Ende durch IV. dargestellt ist, und im vierten, deren Gränze I. ist, geht der Mittelpunkt der Scheibe sowie Punkt b nach rechts und c mit seiner Stange nach oben.

Man hat es bei einer bestimmten Lage des Gestänges durch die Stelle, an welcher die Scheibe auf der Axe des Schwungrades befestigt wird, in seiner Gewalt, die hin- und hergehende Bewegung der Stange bei c in dem richtigen Augenblicke stattfinden zu lassen.

Bei der Drehung unrunder Scheiben werden durch einzelne Theile ihres Umfanges zeitweise Stöße ausgeübt und die Bewegung eines be-

nachbarten Maschinentheiles abwechselnd unterbrochen und hergestellt, wie z. B. bei den Schlitten in den Buchdruckereien.

Friktionsscheiben. Wenn zwei kreisrunde Scheiben (Fig. 228) in derselben Ebene liegen, wenn sie dabei an ihren Umfängen einander berühren und um ihre Axen c und e leicht drehbar sind, so setzt die Drehung der einen auch die andere in Bewegung, falls die Reibung an den Umfängen größer, als an den Axen ist, wobei die Drehung beider nach entgegengesetzten Richtungen geschieht. Befindet sich zwischen beiden ein dünner Streifen eines Körpers, z. B. von Papier, wie beim Telegraphiren, so wird er mit fortgeschoben und hat die Geschwindigkeit, welche an dem Berührungspunkte der Scheiben vorhanden ist. Bringt man flächenförmige Körper aus einem nachgibigen Stoffe zwischen die beiden Scheiben, deren Zwischenraum sich allmählich bis zu einer gewissen Gränze verengt, so wird der Körper, z. B. ein Metallblech, dadurch dünner gedrückt oder gewalzt, wobei er dichter wird. Statt der Scheiben wendet man für solche Zwecke Walzen an, welche durch Kräfte selbstständig gegeneinander gedreht werden.



(Fig. 228.)

Die Drehungsgeschwindigkeit beider Scheiben ist nur dann dieselbe, wenn ihre Durchmesser gleich sind (1); sind sie aber ungleich (2), so macht die kleinere sovielmal mehr Umläufe, wievielmal ihr Radius in dem der größeren enthalten ist, oder allgemein:

die Zahlen der Umläufe der beiden Scheiben verhalten sich wie umgekehrt ihre Radien oder Umfänge.

Verschiedene Räder, Scheiben und Wellen.

Die Räder von einer Maschine können eine sehr verschiedene Lage gegen einander haben: sie können parallel nebeneinander an derselben Axe befestigt sein; parallel neben einander an verschiedenen Axen; in derselben Ebene so, daß sie einander an ihren Umfängen treffen; in zwei aufeinander lothrechten Ebenen so, daß sie einander an ihren Umfängen treffen.

Für die verschiedenen Zwecke sind bei gezahnten Rädern (Fig. 229) die Zähne entweder auf der Außenfläche des Radkranzes in der Richtung der verlängerten Radien angebracht und dann heißen die Räder Stern- oder Stirnräder (1) oder sie stehen seitwärts am Randkranze lothrecht auf der Radfläche nnd solche Räder heißen Kron- oder Kammräder (2 Vorderansicht, 3 Seitenansicht).



(Fig. 229.)

Sperrwerk und Hemmung. Hat man einen Widerstand bis zu einem gewissen Orte beseitigt, z. B. eine Last bis zu einer gewissen Höhe gehoben und will man einem ungewissen Ereignisse vorbeugen oder die wirkende Kraft schonen, wofern bei ihrem Nachlassen der Widerstand eine rückgängige Bewegung annehmen würde; so bedient man sich eines Sperrwerkes, welches, wie Fig. 230 (1) zeigt, ein gezahntes Rad mit schrägen Zähnen und Einschnitten (ein Sperrrad) ist, in welche von der entgegengesetzten Seite ein um einen festen Punkt c beweglicher gebogener Sperrhaken s eingreift. Das an der Triebwelle befindliche Rad dreht sich bei der Arbeit in demselben Sinne und in der Richtung des inneren Pfeiles. Hört die Arbeit auf und will sich das Rad in der Richtung des äußeren Pfeiles zurückdrehen, so hindert es der Widerstand des jetzt eingreifenden Hakens, der vorhin über die Zähne wegschleifte.



(Fig. 230.)

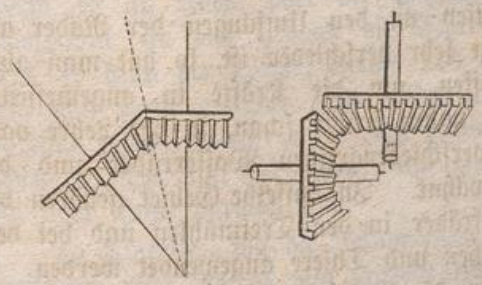
Dieser Vorrichtung ähnlich ist die Hemmung (das Echappement) bei den Pendeluhren, um bei jeder halben Schwingung des Pendels je einen Zahn des sogenannten Steigrades der Uhr, welches von dem Gewichte oder überhaupt der bewegenden Kraft zu einer fortwährenden Drehung veranlaßt wird, weitergehen zu lassen und dadurch einen gleichmäßigen Gang zu erhalten. In der Zeichnung (2) bedeutet c in der horizontalen Axe den Drehungspunkt des Pendels ca und zugleich den des daran befestigten Doppelhakens. Jenachdem das Pendel nach rechts oder links schlägt, greift der Haken r vor einen Zahn ein oder läßt ihn los, um den Haken n beziehungsweise frei zu erhalten oder eingreifen zu lassen.

In gewissen Fällen hat man Wellen, auf deren Oberfläche der Länge nach, also parallel mit ihrer Axe in gleichen Abständen gleiche

streifenförmige Erhöhungen mit ebensolchen Vertiefungen abwechseln und dieses sind die kanelirten Wellen. Statt der gefurchten Säulen wendet man auch zwei parallele Kreisscheiben oder Räder an, zwischen deren Umfängen lothrecht in gleichen Abständen Stäbe eingefügt sind, die man Spillen nennt, während die ganze Einrichtung ein Trilling heißt. Sie vertreten die Stellen von Getrieben.

Daumwelle. Um den an dem Umfange einer Welle vorhandenen Widerstand auf eine nur kurze Zeit zu überwinden, z. B. um eine lothrechte Stampfe, wie in den Oel-, Papier-, Knochen-, Pulver- und anderen Mühlen, eine gewisse Strecke zu heben und sie dann fallen zu lassen, hat man die Daumwellen. Die Daumen sind abgerundete mehr oder weniger aus der Oberfläche der Welle hervorragende Zapfen, welche auf der Wellenaxe lothrecht stehen. Soll eine einzelne Stampfe schnell bewegt werden, so muß sich entweder eine dünne Welle mit einem einzelnen Zapfen schnell drehen oder es muß eine dickere Welle in demselben Kreisumfange der Welle mehre Zapfen haben und sich langsamer drehen. Soll aber eine ganze Reihe von Stampfen, welche in derselben Ebene liegen, durch dieselbe Welle in Bewegung gesetzt werden, so müssen die Daumen in einer Spirallinie rings um die Welle in gleichen Entfernungen so angebracht sein, daß nach einmaliger Umdrehung alle Stampfen hintereinander in gleichen, aber ganz kurzen Zwischenzeiten in Bewegung gesetzt worden sind, damit der Widerstand möglichst gleichmäßig vertheilt sei.

Wenn die Zähne eines Kammrades in die eines Stirnrades eingreifen, so werden dadurch Drehungen in zwei lothrecht auf einander stehenden Ebenen bewirkt. Da aber hierzu ziemlich viel Platz verbraucht wird, so wendet man zur Erreichung dieses Zweckes oder, um überhaupt die Drehung nach anderen Ebenen oder nach Rädern mit anders liegenden Axen zu vermitteln, Wellen von der Form abgekürzter Kegel, oder konische Wellen oder konische Räder an. Es sind bei ihnen (Fig. 231) in den Mantel eines kurzen abgekürzten Kegels wie bei den kanelirten Walzen streifenförmige Erhabenheiten und entsprechende Vertiefungen vorhanden, deren Verlängerungen in der Spitze des vollständig gedachten Kegels zusammentreffen würden.



(Fig. 231.)

Die Zähne der Räder dürfen niemals scharfe Kanten haben, sondern müssen mäßig abgerundet sein und die Zwischenräume für die Aufnahme der Zähne müssen eine angemessene Form und Weite besitzen, damit bei dem Ineinandergreifen der Zähne zweier Räder möglichst

wenig Reibung und ein ruhiger Gang erreicht werde. Die Zähne müssen also zwar einander ziemlich nahe sein, aber nicht so nahe, daß sie allzu dünn würden und ihre Widerstandsfähigkeit für einen vorliegenden Zweck zu gering würde. Bei allzu großer Entfernung der Zähne springt ein Zahn des einen Rades von Zahn zu Zahn des anderen Rades mit einem Schlage über und die Maschine nutzt sich allzu rasch ab, abgesehen von dem unerträglichen Geklapper. Es ist also sehr wichtig, daß man den Zähnen und den Zwischenräumen eine angemessene Gestalt und gleiche Größe gibt, so daß auch ihre Entfernungen genau gleich sind.

Wenn die Berührungspunkte der Zähne zweier Räder so liegen, daß ihre Verbindungslinie durch die Mittelpunkte der Zähne geht; so ist die Wirkung aufeinander am größten.

Für die Berechnung der Kräfte sind als Hebelarme die bis zur halben Höhe der Zähne reichenden Radien anzusehen.

Wenn nicht das ganze Rad oder der Radkranz, so sind doch die Zähne bei guten Maschinen von Metall, namentlich von Eisen, welches sich nicht leicht abnutzt. In allerdings nicht wenigen Fällen, z. B. bei Wind- und Wassermühlen, verwendet man auch recht hartes Holz, wie u. a. Weißbuchenholz.

Weil die Zähne von Rädern, welche ineinander greifen sollen, gleich sein und gleiche Zwischenräume haben müssen, so verhalten sich ihre Mengen wie die Radien oder Umfänge. Ist das Verhältniß der Radien 1 zu 10 und hat das erste Rad 8 Zähne, so sind auf dem anderen 80; dreht sich das erste einmal um seine Axe, so schieben seine Zähne nur 8 Zähne vom zweiten vorwärts, so daß es sich nur um $\frac{1}{8}$ seines Umfanges gedreht hat. Soll sich also letzteres einmal umdrehen, so muß es jenes 10mal thun und umgekehrt.

Die Umdrehungsgeschwindigkeiten der ineinander greifenden gezahnten Räder verhalten sich umgekehrt wie die Anzahl ihrer Zähne.

Die wirksamen Kräfte greifen an den Umfängen der Räder an. Da aber die Natur dieser Kräfte sehr verschieden ist, so hat man auch verschiedene Einrichtungen getroffen, um die Kräfte in angemessener Weise angreifen zu lassen. Wir haben früher schon, in der Lehre vom Stoße, die hierher gehörigen verschiedenartigen Wasserräder und die Fliegelräder der Windmühlen erwähnt. In dasselbe Gebiet gehören die Tretscheiben, die Treträder, Laufräder in den Tretmühlen und bei den Sägemaschinen, bei denen Menschen und Thiere angewendet werden.

Weil in solchen Tretmühlen die dazu verwendeten Menschen oder Thiere niemals stille stehen können, wenn sie auch wollten, verurtheilte man in England, Frankreich und Nordamerika manche Verbrecher zu dieser Arbeit, bei welcher die Sträflinge allerdings mehr leisten müssen, als bei jeder anderen Arbeit. Die *Treträder* sind zu diesen Zwecken

sehr breit, so daß gleichzeitig bis 16 Personen nebeneinander auf jedem Tritte an dem Umfange des Rades Platz finden. Die Leute müssen sich mit den Händen an eine feste Stange halten und wirken nur durch ihr Gewicht, natürlich am meisten horizontal der Radaxe gegenüber, also lothrecht auf dem horizontalen Radius. Die Arbeit war so anstrengend, daß die Verbrecher alle 8 Minuten abgelöst werden mußten.

Will man Thiere zu Tretarbeit verwenden, so müssen sie auf einer schiefen mit Leisten als Stützpunkten für die Füße versehenen Ebene tretend an derselben Stelle stehen (vielleicht vor einer Krippe mit Futter, um die Arbeitslust mit der Futtergier in Einklang zu setzen), während die Tretscheibe unter ihren Füßen fortwährend weggeschoben wird. Hier wirkt die Kraft wie auf einer schiefen Ebene, also nur theilweise, es ist aber der Vortheil erreicht, daß die wirkende Kraft dem Mittelpunkte der Welle näher oder entfernter wirken kann, wodurch die Geschwindigkeit in jenem Falle vergrößert, in diesem verkleinert wird, während mit dem statischen Momente der umgekehrte Fall eintritt. Der größte Nutzerfolg wird durch die mittlere Geschwindigkeit erreicht.

Da die in dem Gewichte des Thieres oder des Menschen liegende Kraft lothrecht wirkt und die Scheibe schief gegen den Horizont liegt, so wirkt jene Kraft gegen die Scheibe schief und muß in zwei Seitenkräfte zerlegt werden, von denen die eine lothrecht auf die Scheibe wirkt und verloren geht, die andere aber in ihrer Richtung liegt und ganz zur Wirkung kommt, weil sie auf dem betreffenden Radius der Scheibe senkrecht steht. Rechnet man das Gewicht eines Zugpferdes zu 7½ Zentner und seine mittlere Kraft zu 1 Zentner, so müßte der Neigungswinkel der Scheibe gegen den Horizont, wenn von dieser Kraft nichts mehr verloren gehen soll, 7° 40′ sein. Bei einem Menschen von 125 Pfunden Gewicht und 25 Pfunden mittlerer Kraft müßte jener Winkel gegen 11½° sein.

Wenn ein Pferd nicht blos durch sein Gewicht wirkt, sondern, indem es an einem über der Scheibe befindlichen feststehenden Balken angespannt ist und ziehend die Scheibe unter seinen Füßen rückwärts stößt, so kann der Winkel kleiner und die Scheibe selbst horizontal sein, ohne daß Kraft verloren geht. Das Thier wird übrigens am vortheilhaftesten ziehen, wenn unter allen Umständen die Seile oder Ketten, an denen es zieht, mit der Ebene, auf welcher es geht, mag sie horizontal sein oder nicht, parallel sind.

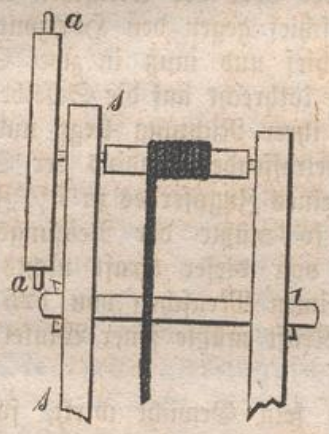
In Amerika, wo die Lokomotiven häufig mit Holz geheizt werden, verwendet man Pferde, um mittelst transportabler, ganz einfacher Tretmaschinen das nöthige Holz durch sehr schnell arbeitende Kreissägen zerschneiden zu lassen. Ein Pferd leistet soviel, daß zwei Menschen sehr eifrig arbeiten müssen, um der Maschine schnell genug das nöthige Holz in ganzen Kloben darzureichen und in zerschnittenen zu entziehen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

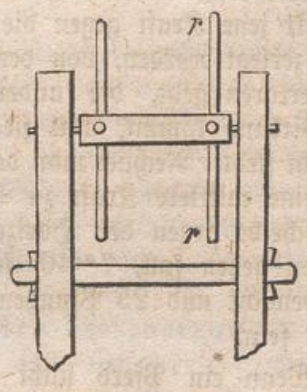
Die Räder zu Maschinen können entweder massive Scheiben oder durchbrochene mit einem Radkranze oder bloße Speichenräder sein, so daß die Kräfte am Ende der Speichen angreifen.

Haspeln und Winden.

In der Anwendung unterscheidet man wesentlich zwei Arten von Wellrädern, wenn um die Welle ein Tau oder eine Kette gelegt ist: bei den einen liegt die Welle horizontal, bei den anderen steht sie lothrecht auf dem Horizonte; die ersteren heißen Haspeln oder Grubenwinden, weil sie dazu dienen, aus Gruben, Schachten oder Brunnen eine Last heraufzuwinden, während gleichzeitig ein leeres Gefäß abwärts geht, was auch auf ein Haus geschehen könnte, wenn die Vorrichtung oben angebracht wäre; die letzteren heißen Gangspillen oder Erdwinden, weil die Lasten an der Erdoberfläche bewegt werden. Bei allen ist es angemessen, daß die Wellenaxe aus eisernen Zapfen besteht, welche sich auf eisernen oder messingnen Lagern bewegen.



(Fig. 232.)



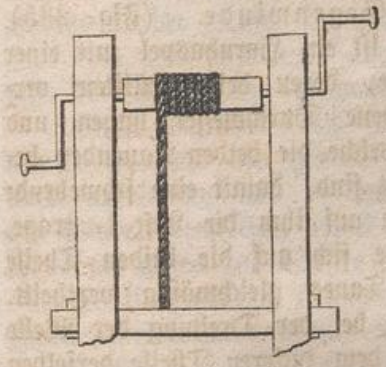
(Fig. 233.)

Fig. 232 stellt einen Radhaspel dar, bei welchem die eiserne Wellenaxe auf der einen Seite durch den Ständer ss des festen Gestelles geht, um außerhalb desselben das Rad zu tragen, an dessen Umfange sich Spillen aa befinden, um daran Menschenkräfte wirken zu lassen.

Fig. 233 ist die Darstellung eines Kreuzhaspels im lothrechten Querschnitte. Hier sind gegen die beiden Enden der Welle je zwei einander rechtwinklig kreuzende Bäume rr durch sie gesteckt, um daran 2 oder auch 4 Menschen angreifen zu lassen.

Fig. 234 ist ein Hornhaspel, bei welchem an den beiden Enden der Wellenaxe Kurbeln unter einem Winkel von 180° gegen einander

als Angriffspunkte für zwei Menschen vorhanden sind, wobei die größte Kraftäußerung des einen mit der geringsten des anderen zusammenfällt und so eine gleichmäßige hervorgeht. Sind die Handgriffe lang genug, so kann man in jede Kurbel zwei Menschen einander gegenüberstellen. Beim Kreuzhaspel mußte man jede der beiden Hände gleichzeitig an Anspruch nehmen, um mit der einen Hand noch zu stoßen, während man mit der anderen bereits zu ziehen anfing, um der Last nicht das Uebergewicht zu geben; hier aber kann man abwechselnd die eine Hand ruhen lassen. Allerdings gestattet die Kurbel nicht einen so großen Radius, wie die Speichen des Kreuzhaspels ihn darstellen und insofern ist ihre Handhabung anstrengender.



(Fig. 234.)

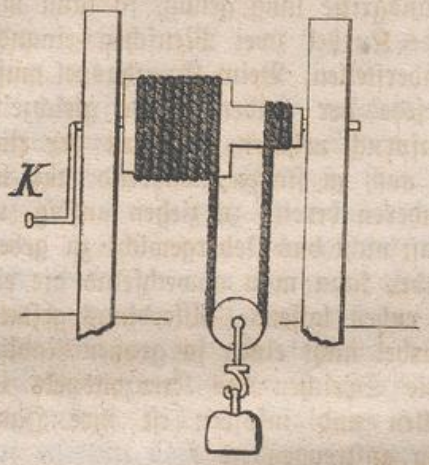
Windet man eine Last aus sehr bedeutenden Tiefen, so muß außer ihrem Gewichte noch das des abgewickelten Theiles des Taues in Rechnung kommen. Geht beim Heraufwinden gleichzeitig ein leeres Gefäß abwärts, indem es an einem umgekehrt gewundenen Seile hängt; so wird dadurch die anzuwendende Kraft um so mehr vermindert, je mehr sich sein Seil verlängert, und ist es bedeutend lang, so kann es mit dem leeren Gefäße der Last und ihrem kürzeren Seile das Gleichgewicht halten, so daß man beim weiteren Drehen sogar eine nach der entgegengesetzten Seite wirksame Kraft zu überwinden hat, damit die Welle nicht mit beschleunigter Bewegung von selbst umlaufe.

Wenn das Gewicht von je 8 Fuß eines Taues 10 Pfund betrüge und man in einem 800 Fuß tiefen Bergwerke eine Tonne mit 8 Zentnern Erz füllte, so müßte man $10 + 8 = 18$ Zentner heraufziehen, weil das Tau 10 Zentner wiegt. Ist nun die volle Tonne bis auf 160 Fuß heraufgezogen, so ist die leere 640 Fuß tiefer und da die beiden parallelen Taustücke von 160 Fuß und die beiden leeren Tonnen einander das Gleichgewicht halten, so kommen nur noch die 8 Zentner Erz und die 640 Fuß Tau, woran die leere Tonne hängt und welche auch 8 Zentner wiegen, in Anschlag und diese halten einander das Gleichgewicht. Beim weiteren Heraufwinden des Erzes ist das Uebergewicht der leeren Tonne mit ihrem Seile zu überwinden.

Sind Pferde zum Betriebe angespannt, so vermeidet man in solchen Fällen das freiwillige Umlaufen der Welle dadurch, daß man an den Kreuzbaum eine mit Steinen u. dergl. beschwerte Schleife, den sogen. Schlepphund anhängt.

Wendet man statt der Taue Ketten an, so gewähren sie den Vortheil, daß sie nicht überall gleich dick gemacht zu werden brauchen, son-

dern von unten nach oben hin in dem Verhältnisse dicker gemacht werden, in welchem ihre eigene Belastung zunimmt.



(Fig. 235.)

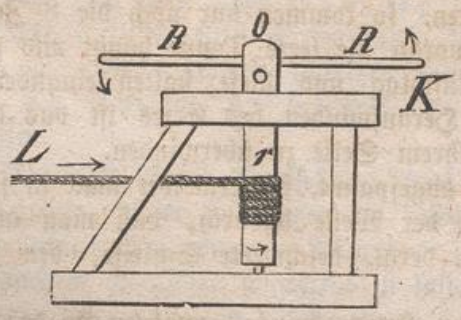
Eine dem Differenzialflaschenzuge entsprechende Vorrichtung ist die Gegenwinde. (Fig. 235). Sie ist ein Hornhaspel mit einer Welle, deren beide Hälften verschiedene Durchmesser haben und an welche die beiden Tauenden befestigt sind, damit eine schwebende Rolle auf ihm die Last L trage, welche sich auf die beiden Theile des Taues gleichmäßig vertheilt. Weil bei der Drehung der Welle von dem dickeren Theile derselben ein längeres Stück des Taues abgewickelt wird, als von dem dünneren, so ist jener, wenn auch ursprünglich gleiche Stücke auf beide Theile aufgewickelt werden, eher entblößt als dieser und das Tau muß bei der weiter fortgesetzten Drehung sich auf den dickeren Theil wieder aufwickeln, während es von dem dünneren sich abwickelt. Auf diese Weise geht die Last L bei fortgesetzter Drehung wiederholt auf und ab.

Ist der Radius der Kurbel R, der Radius des dickeren Theiles der Welle r, der des dünneren r', so steht die Proportion:

$$K : \frac{L}{2} = (r - r') : R, \text{ also}$$

$$KR = (r - r')\,\frac{L}{2}, \text{ und } K = \frac{(r - r')\,L}{2R},$$

woraus sich die Kraftersparniß für jeden besonderen Fall leicht berechnen läßt. Gegenwinden sind dann besonders von Nutzen, wenn große Lasten auf geringe Höhen zu heben sind.



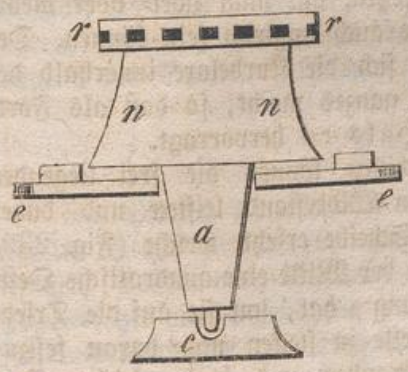
(Fig. 236).

Bei der Erdwinde (F. 236) ist die Welle lothrecht und das Seil horizontal um dieselbe gewunden, um eine Last L mit einer Kraft K heranzuziehen, welche an horizontal oben durch die Welle gesteckten Stangen R angebracht ist. Das versetzbare Gerüst mit der Winde muß an dem Orte, nach welchem

die Last geschafft werden soll, entweder angemessen belastet oder an den Erdboden befestigt werden. Ist die Länge der Stange vom Angriffspunkte der Kraft bis an die Axe der Welle R, der Radius der letzteren r, so verhält sich die Kraft zur Last, wie der Radius r der Welle zum Radius R der Kraft. Je länger die Stangen sind, desto leichter fällt zwar eine gewisse Arbeit, aber desto größer ist in demselben Verhältnisse der Verlust an Geschwindigkeit der Last.

Papst Sixtus V. ließ im Jahre 1586 durch den Baumeister Domenico Fontana den großen Obelisk auf dem Platze vor der Peterskirche aufrichten, und es wurde seine Last von 9600 Pfunden durch 40 Winden bewältigt, wobei in der letzten Nacht die Kapillaranziehung der Taue gegen das Wasser noch das ihrige that.

Es ist natürlich, daß die besonderen Einrichtungen dem jedesmaligen Zwecke entsprechen müssen. Man kann z. B. das Seil über den Arbeitern sich auf die Welle winden und dasselbe dann um verschiedene Richtrollen gehen lassen, um auch Lasten, welche in größerer Höhe sind, in Bewegung zu setzen.

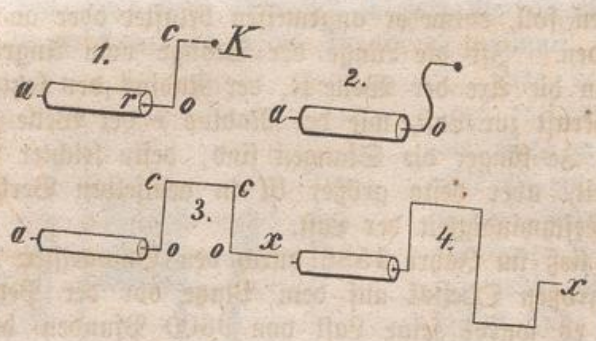


(Fig. 237.)

Eine besondere Einrichtung haben u. a. die Schiffswinden (Fig 237), welche auf Schiffen zum Heben sehr großer Lasten, z. B. großer Schiffsanker dienen. a ist ein unterhalb des Verdeckes ee befindlicher eiserner Kegel, welcher unten einen Zapfen c auf einer Unterlage und oben einen stärkeren, nur etwas nach oben sich verjüngenden abgekürzten Kegel nn statt eines Zylinders trägt; oben hat derselbe einen Kranz rr mit Löchern, um zur Drehung dieser Winde kräftige Stangen hineinzustecken, welche man zur Ersparung des Raumes nach dem Gebrauche wieder herausnimmt. Weil die Schiffstaue und Ketten meist sehr dick sind und sich nur wenig davon aufwinden läßt, so schlägt man sie nur etwa dreimal herum und wickelt sie von dem Ende an gleichzeitig wieder ab, indem sie dabei scharf von der Winde abgezogen werden.

Kurbel und Krummzapfen.

Zu den Speichenrädern gehört auch die Kurbel und der Krummzapfen, welche wesentlich dasselbe sind. Wenn am Ende der etwas verlängerten Axe oa (Fig. 238) einer Welle lothrecht eine Speiche oc aufgesetzt ist, welche auch gebogen sein kann und Arm heißt, und an dem Ende c der letzteren ein Griff als Anhaltspunkt für eine Kraft K sich befindet; so ist dies eine einfache Kurbel, wie sie z. B. bei Dreh-

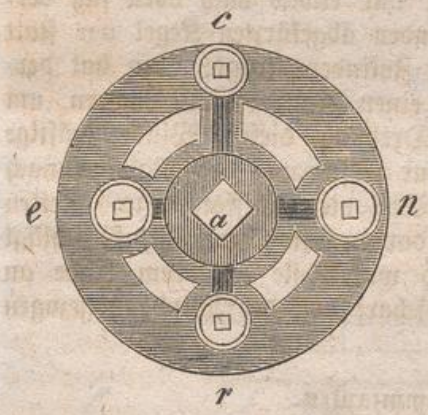


(Fig. 238.)

orgeln, Kaffeemühlen, Elektrisirmaschinen, Schleifsteinen fest angebracht ist. Eine Kurbel ist also ein Hebel mit Handhabe zur Umdrehung von Wellen ohne oder mit Rädern.

Sollen an einer Kurbel mehre Angriffspunkte sein oder, wie bei manchen Bohrern, zur Sicherung der Lage der Axe ein Stützpunkt x (3) für die Verlängerung der Axe gewonnen werden; so wendet man eine gekröpfte Kurbel an, bei welcher ox die Verlängerung der Axe oa, oc der Hebelarm und der Griff cc zwischen zwei Speichen oc befindlich ist. Um durch dieselbe Welle bei hinreichendem Vorrathe an Kraft mehre Maschinentheile zugleich in Bewegung zu setzen, hat man zwei- oder mehrfach gekröpfte Kurbeln (4), deren Arme auch ungleich sein können. Der größeren Haltbarkeit wegen verbreitert sich die Kurbelaxe innerhalb der Welle zu einer Platte, mit der sie ein ganzes macht, so daß als Fortsetzung der Wellenaxe nur ein kurzer Hals ro hervorragt.

Bei sehr kräftig wirkenden Maschinen können die frei liegenden Theile einer Kurbel nicht den gehörigen Widerstand leisten und daher hat man den Arm durch eine massive Scheibe ersetzt, welche (Fig. 239) in der Mitte eine quadratische Oeffnung a hat, um sie auf die Triebwelle zu stecken und daran festzuschrauben und in ungleichen Entfernungen von der Mitte sind mehre Löcher c, n, r, e, um in sie die sogen. Warzen zu stecken, welche auf der Rückseite der Scheibe angeschraubt werden und als Angriffspunkt für Kräfte dienen. Diese Vorrichtung nennt man einen Krummzapfen.



(Fig. 239.)

Befindet sich an dem Griffe einer Kurbel oder an der Warze eines Krummzapfens ein drehbares Gestänge, so muß dieses bei der drehenden Bewegung jener eine hin- und hergehende erhalten und soll dieselbe an einer entfernteren Stelle eine gradlinige sein, so muß das Gestänge nicht steif aus dem Ganzen gemacht, sondern gegliedert sein. Umgekehrt kann natürlich auch die durch eine Kraft erzeugte hin- und

hergehende Bewegung mittelst eines außerhalb der Radaxe (also exzentrisch) drehbar befestigten und gegliederten Gestänges, der Leitstange, in eine drehende Bewegung verwandelt werden. Diese gegenseitige Umwandlung der beiden Bewegungsarten kommt bei den Maschinen außerordentlich häufig vor.

Mag nun eine vorhandene Kraft auf die Welle oder auf den Griff bei der Kurbel oder die Warze bei dem Krummzapfen wirken, so wird während einer einmaligen Drehung der Erfolg in zwei Punkten der für den grade vorliegenden Fall der möglichst größte, und in zwei anderen der kleinste sein: jenes ist der Fall, wenn die Leitstange senkrecht steht auf dem Durchmesser des Kreises, welchen ihr Endpunkt beschreibt; dieses aber, wenn sie in der Richtung des Durchmessers liegt. Jeder von den vier Punkten ist von dem benachbarten um den vierten Theil des Kreisumfanges entfernt Die beiden letzten Punkte, deren Verbindungslinie die Wellenaxe trifft, heißen auch die todten Punkte, weil, wenn die Kräfte genau nur in ihnen auf die Maschine wirkten, sie einander wegen des Widerstandes der Maschinentheile aufheben würden Es ist das Geschäft der Schwungräder, die Bewegung über diese Punkte fortzuführen, wie es früher bereits bei der Betrachtung des Beharrungsvermögens zur Sprache gekommen ist.

Die Rammen.

Um Pfähle, Röhren oder Steine in den nachgibigen Boden durch einzelne Stöße zu schlagen und sie darin zufolge der Reibung zu befestigen, wendet man Rammen an. Die Handrammen, deren sich die Pflastersetzer zur Befestigung der Steinpflaster oder die Erdarbeiter zum Zusammenstampfen des Erdbodens bedienen, gehören nicht zu den Maschinen, welche entweder Lauf- oder sogenannte Kunstrammen sind. In beiden Fällen wird ein schwerer Klotz von Eichenholz (etwa 5 Fuß lang und 1,5 Fuß im Durchmesser, mit starken eisernen Bändern umgeben) oder von Gußeisen (von 500 bis 2000 Pfunden) bis zu einer gewissen Höhe, etwa 3,5 Fuß, gehoben und auf den einzurammenden Pfahl fallen gelassen. Dieser Rammbär hängt an einem Taue, welches über eine feste Rolle geht, die oben an einem pyramidalen Gerüste angebracht ist. Bei leichter Arbeit genügen drei oben mit einander zusammengebundene Tragbäume; bei größeren Bauten wendet man ein festes und verschiebbares Gerüst an, indem auf Schwellen eine vierkantige Pyramide aus fünf Balken aufgebaut wird, wobei zwei Balken fast lothrecht stehen, damit an der zwischen ihnen befindlichen Laufruthe der Bär ohne Reibung herabgleitet, wobei er durch umschlingende Arme verhindert wird, sie zu verlassen.

Wird der Bär durch Handarbeit unmittelbar aufwärts gezogen, so sind an einer bestimmten Stelle des Haupttaues für die Arbeiter dün-

nere Seile mit Handgriffen zum Festhalten beim Ziehen gebunden. Wenn 12 Arbeiter angestellt sind, so geht $\frac{1}{7}$ der Kraft verloren, selbst wenn dieselben einander möglichst nahe stehen; bei mehr Arbeitern noch mehr, weil die Winkel der äußersten Seile gegen das Haupttau schon ziemlich groß sind. Ueberhaupt aber können die Arbeiter beim Ziehen der Ramme nur etwa halb so viel leisten, als bei anderen Maschinen. Indeß wird, wenn man mit starken Arbeitern abwechselt, der Vortheil erreicht, daß die Arbeit stark gefördert wird, indem man durch 12 Arbeiter einen 400 Pfund schweren Bär in einem Tage im Ganzen auf 49140 Fuß Höhe heben kann (3,5 Fuß Hubhöhe in jeder Sekunde bei 3,9 Stunden Arbeitszeit und 30 Pfund Arbeitskraft). Man rechnet auf 3 Zentner Gewicht des Rammklotzes meist 10 Arbeiter.

Bei den Kunstrammen wird das Seil entweder um eine horizontale Walze gewunden, welche man durch Haspeln um ihre Axe dreht oder um eine lothrecht stehende Trommel, nachdem es vorher von oben nach unten gehend, noch um eine ihr gegenüber liegende Leitrolle geführt worden ist. Diese Trommel hat als Axe einen ziemlich dicken Baum, durch welchen eine Menge, 12 bis 24 horizontale Stangen gehen, an deren Enden die Arbeiter angreifen. Zur Kontrolle der Arbeiter können diese Stangen mit Druckfedern versehen werden, welche mit 25 bis 30 Pfund Kraft gedrückt werden müssen, wenn der folgende Arbeiter den vorangehenden nicht auf die Fersen treten soll. Aus dem Verhältnisse des Radius der Trommel zu der Länge der Stangen läßt sich die Krafterspariß beurtheilen.

Um den zu der bestimmten Höhe gehobenen Bär fallen zu machen, löst man ihn entweder durch einen mittelst einer Schnur zu bewegenden Hebel ab, während die Arbeiter einen Augenblick ruhen, oder der von einer Gabel erfaßte Bär wird von dieser losgelassen, wenn ihre Griffe bei ihrer Ankunft oben zusammengedrückt werden. — Dampframmen.

Schöpfmaschinen.

Es liegt sehr häufig das Bedürfniß vor, Wasser bis auf eine gewisse Höhe zu schaffen, um es von da aus zu häuslichen oder technischen Zwecken zu benutzen, oder um es überhaupt von da fortzuschaffen, wo es hinderlich oder nachtheilig ist, wie in Niederungen, welche bebaut werden sollen, oder in den Fundamenten zu Bauwerken u. dergl. Außer den früher erwähnten Saughebe- oder Saugdruckpumpen, welche durch verschiedene Kräfte in Bewegung gesetzt werden konnten, hat man noch die Schöpfmaschinen.

1) Die spanische Noria ist ein lothrecht stehendes Rad mit Kästen an seinem Umfange, welche sich bei der durch Maulthiere bewirkten Drehung unten mit Wasser füllen, das sie oben in eine Rinne ausschütten.

2) Bei den persischen Schöpfrädern, welche unterschlächtige Wasserräder sind, hängen am Radkranze seitwärts vierkantige Kasten oder Eimer so, daß sie bei der Drehung des Rades ihre Oeffnungen stets nach oben gerichtet behalten und, nachdem sie sich unten gefüllt haben, das Wasser erst dann oben in ein Gerinne ausschütten, wenn ihren unteren Theil ein außerhalb des Rades befestigtes Holzstück erfaßt.

In Holland und in anderen Niederungen treiben Windmühlen solche Räder, durch welche man nicht blos entwässert, sondern unter Umständen auch bewässert.

3) Das Paternosterwerk. Eine Kette ohne Ende geht um zwei lothrecht oder schräge übereinander liegende Trommeln mit horizontalen Axen, von denen die obere durch Kurbeln gedreht wird und so die Kette mit sich fortführt. An der Kette befinden sich in gleichen Abständen lothrecht zu ihr befestigte Bretter, welche sich an die Wände eines Kastens ziemlich dicht anschließen. Will man Wasser senkrecht fördern, so muß der Kasten auf allen vier Seiten geschlossen sein; will man es aber auf einer schiefen Ebene zu einer geringen Höhe herauf bringen, so kann die obere Seite des Kastens offen sein. Steht sein unterster Theil in Wasser, so füllen sich die dort befindlichen Räume zwischen zwei benachbarten Brettern und da diese durch die Kette bei deren Ab- und Aufwickelung auf die obere Trommel fortgezogen werden, so schieben sie auch das Wasser empor, so daß es dann oben abgelassen werden kann.

4) Bei den Kastenwerken sind die lothrecht übereinander liegenden Trommeln regelmäßig sechsseitig, die Kettenglieder der zwei parallel nebeneinander liegenden Ketten ohne Ende haben grade die Länge, daß sie sich bei der Drehung nacheinander auf die Seiten legen und die frei schwebenden Ketten tragen an jedem ihrer Gliederpaare frei einen Kasten, welcher nach oben etwas breiter ist und so eine Art Ausgußschnabel besitzt. Bei genauer Ausführung sind diese Maschinen ganz vortheilhaft

Die Berechnung der für alle diese Fälle nothwendigen Kraft hat keine Schwierigkeiten, wenn man den grade vorhandenen Widerstand kennt. —

Bei allen oben genannten einfachen Maschinen kommt das vom Hebel angeführte Gesetz in Anwendung, denn es sind lauter ungleicharmige, theils zwei-, theils einarmige Hebel, bei welchen der Drehungspunkt in der Axe der Welle liegt und die Kräfte an den Umfängen zweier Räder, oder die eine an dem Umfange eines Rades, die andere an dem Umfange einer kanelirten oder mit einem Taue umschlungenen Welle angreifen. Der einzige Unterschied, welcher aber auf das Kräftegesetz keinen Einfluß hat, ist der, daß die drei Punkte, nämlich der Drehungspunkt und die Angriffspunkte für die beiden Kräfte fast nie-

mals in derselben graden Linie, ja meist auch nicht in derselben Ebene liegen. Da aber diese drei Punkte, also auch der mittelste mit den beiden anderen, durch feste unnachgibige Körper verbunden sind, in denen wir uns die graden Verbindungslinien denken können und da es gleichgiltig ist, in welchem Punkte einer graden Linie eine in bestimmter Richtung wirkende Kraft angreift; so können wir durch Verlegung der Angriffspunkte stets auf einen gradlinigen Hebel kommen. Diese Betrachtung ist auch für alle zusammengesetzten Maschinen in aller Strenge giltig.

Dritter Abschnitt.

Zusammengesetzte Maschinen.

Eine eigentliche Maschinenlehre oder die Mechanik in ihrer Anwendung auf das Maschinenwesen (technologische Mechanik) liegt außerhalb der Gränzen der Physik; aber wir können nicht umhin, wenigstens für eine Reihe der am häufigsten vorkommenden Fälle zu zeigen, wie die bisher entwickelten einfachen Gesetze auch bei den zusammengesetztesten Maschinen ihre Anwendung finden, so daß es nur einer eingehenden Betrachtung in ihre einzelnen Theile bedarf, um ihre Wirksamkeit zu erkennen. Was den Grad der Wirksamkeit der Kräfte, wie z B. der Druckkraft luftiger Körper (der erwärmten Luft, des entzündeten Leuchtgases, der heißen Dämpfe) anlangt, so versparen wir uns das Nöthige für die betreffenden Abschnitte und nehmen hier solche Kräfte, wie Menschen- und Thierkräfte wirkend an. Je zusammengesetzter die Leistung der Maschine ist, desto mannigfaltiger sind ihre Bestandtheile und desto sorgfältiger müssen sie gearbeitet sein, um rechtzeitig ineinander einzugreifen und die richtigen Bewegungen in dem verlangten Augenblicke hervorzubringen. Ist eine Maschine ohne Fehler gebaut, so leistet sie auch unfehlbar und immerfort das Verlangte fehlerfrei. Die Arbeit einer guten Maschine wird demnach den ungeheuren Vorzug vor der Arbeit eines Menschen haben, daß sie fehlerfrei in einer Menge von Gegenständen derselben Art dargestellt ist, welche alle in gleicher Weise ihre Verwendung finden können.

Dieses ist durch Menschenarbeit gar nicht oder nur sehr schwierig und unter großem Zeitaufwande zu erreichen. Um auch hier eine größere Vollkommenheit zu erreichen und an Arbeitszeit zu sparen, hat man die Theilung der Arbeit eingeführt, so daß ein bestimmter Arbeiter nur bestimmte Bestandtheile eines Gegenstandes anfertigt, und daß dann

andere Arbeiter aus den Theilen das Ganze zusammensetzen. Die Handarbeit ist dann eine Fabrikarbeit, welche unstreitig billiger hergestellt werden kann, als wenn ein Einzelner das Ganze herstellen wollte, die aber den Arbeiter der einzelnen Stücke zu einer gewissen Einseitigkeit herabsinken läßt, welche nur durch eine erhöhte Löhnung, die hier keine Schwierigkeit hat, einigermaßen aufgewogen werden kann. Hier wird der Mensch mehr Maschine und daher läßt man auch solche Arbeiten lieber durch Maschinen machen.

Abgesehen davon, daß Maschinen uns schwere und wohl für uns oft unausführbare Muskelarbeit abnehmen, verrichten sie mit einer wunderbaren Gleichmäßigkeit ihre Arbeit, weil man ihre Kraftäußerungen genauer regeln kann, als es bei thierischen Kräften der Fall ist. Wir wollen nur beispielsweise die so äußerst zarten und gleichmäßigen Maschinengewebe im Vergleich zu den Geweben durch Menschenhand anführen. Die Maschinen leisten nicht nur mehr, als Menschenhände, sondern sie arbeiten auch billiger und besser. Hier noch weiter über den großen Segen des Maschinenwesens im Dienste der Menschheit zu sprechen, wäre wohl ungehörig und unnütz.

Wir können an jeder zusammengesetzten Maschine bekanntlich drei Haupttheile unterscheiden: die Kraftmaschine, die Zwischenmaschine und die Arbeitsmaschine. Von jener wird die uns durch die Natur dargebotene Kraft (der Muskeln, des Wassers, des Dampfes u. s. w.) zunächst zur Erzeugung einer kräftigen Drehungsbewegung einer Welle verwandelt. Zu den Arbeiten bedarf man aber sehr verschiedenartiger Bewegungen und daher muß man angemessene einfache Zwischenmaschinen anwenden.

Eine drehende Bewegung wird wieder in eine drehende verwandelt durch gezahnte Räder und Riemenscheiben. Soll durch gezahnte Räder eine gleiche Drehungsrichtung erreicht werden, so sind drei gezahnte Räder anzuwenden oder für größere Entrnungen zwei Riemenscheiben, nm welche der Riemen einfach gelegt ist; will man aber eine entgegengesetzte Drehung erhalten, so wird dies durch zwei Zahnräder oder durch zwei Riemenscheiben mit gekreuztem Riemen erreicht.

Eine drehende Bewegung wird verwandelt in eine hin- und hergehende durch das Exzentrik, mag es nun sein, daß sich eine kreisrunde Scheibe um einen außerhalb ihres Mittelpunktes liegenden Punkt, oder daß eine unrunde Scheibe sich um einen inneren Punkt dreht, wobei ein bestimmter Punkt des Umfanges der Scheibe bei ihrer Drehung sich von dem Drehungsmittelpunkte abwechselnd entfernt und ihm sich nähert und eine von ihm fortgeführte Leitung diese Bewegung fortpflanzt, oder daß außerhalb der Drehungsaxe ein gegliedertes oder in seinen Befestigungspunkten drehbares Gestänge angebracht ist, oder endlich daß eine Schraube ohne Ende (auch ein Getriebe) in eine gezahnte Stange eingreift.

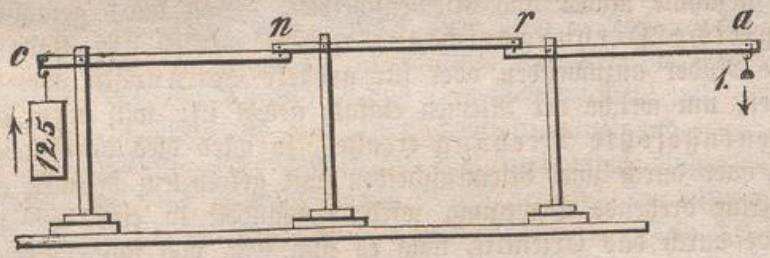
Eine hin- und hergehende Bewegung wird auch in eine drehende oder umgekehrt verwandelt durch einen Krummzapfen, eine exzentrische Scheibe, durch eine unrunde Scheibe, durch eine Kurbel mit Leitstange, wie z. B. vom Balancier einer Dampfmaschine an zu dem Schwungrade oder von dem Dampfzylinder der Lokomotive nach dem Triebrade, welches gleichzeitig als Schwungrad wirkt, oder von dem Trittbrette der kleinen Maschine zum Spinnen zu dem großen Rade mit dem Schnurlaufe.

Endlich muß man es durch die Einrichtung der Maschine in seiner Gewalt haben, eine schnelle Bewegung in eine langsame und umgekehrt, eine gleichmäßig wirkende Kraft in eine stoßende, eine ziehende in eine drückende, eine fortwährend wirksame in eine andere mit gleichmäßigen oder ungleichmäßigen Unterbrechungen wirken zu lassen. In allen diesen Fällen müssen sich die Richtungen, in denen die Kräfte wirksam sind, nach den jedesmaligen Bedürfnissen einrichten lassen. Auch muß man eine einzelne Kraft in Theilkräfte zu verschiedenen Verrichtungen an ganz verschiedenen Stellen zerlegen können.

Es ist dem Erfindungsgeiste der Menschen auf diese Weise ein ungeheures Feld eröffnet, welches er zu seinem eigenen Wohlbefinden bebauen soll.

Hebelsystem.

Durch eine wirksame Verbindung von zwei oder mehren Hebeln zu einem Ganzen, d. h. durch ein Hebelsystem könnte man zwar recht bedeutende Kraftersparnisse erzielen, aber andererseits ist auch ein in demselben Verhältnisse größerer Aufwand von Weg zu machen. Wenn



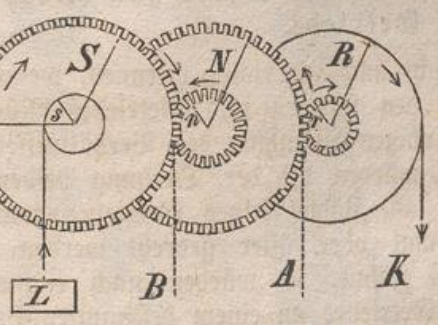
(Fig. 240.)

z. B., wie Fig. 240 zeigt, drei ungleicharmige Hebel, bei welchen das Verhältniß der Hebelarme 5 zu 1 ist, so miteinander verbunden werden, daß immer das kürzere Ende des vorhergehenden Hebels auf das längere des nächstfolgenden wirkt; so wird 1 Pfund am langen Ende a des ersten 5 Pfunde an seinem kurzen Ende r im Gleichgewichte erhalten; diese 5 Pfund wirken gleichzeitig am Anfange des langen Armes vom zweiten Hebel und halten 25 Pfund an dem kurzen Arm n im

Gleichgewichte; diese 25 Pfund wirken zugleich am langen Ende des dritten, so daß das Ende desselben mit 125 Pfund beschwert sein muß, um das Gleichgewicht an ihm herzustellen. Mit 1 Pfunde ist man nun zwar im Stande 125 Pfunde im Gleichgewichte zu erhalten und durch ein kleines Uebergewicht sie in Bewegung zu setzen; aber sollten diese 125 Pfunde sich auch nur um einen Zoll erheben, so müßte man mit dem 1 Pfunde 125 Zoll herabgehen, so daß eine solche Vorrichtung wohl wenig praktischen Werth darbietet. Es versteht sich wohl von selbst, daß, wenn man mit einer solchen Vorrichtung einen bestätigenden Versuch machen will, die einzelnen Hebelarme selbst miteinander vorher ins Gleichgewicht gebracht sein müssen.

Rädersystem.

Wenn die Axe eines jeden von zwei oder mehren gezahnten Rädern zugleich die Axe eines Getriebes ist und die Triebstöcke eines jeden vorhergehenden Getriebes in die Zähne des nächstfolgenden Rades eingreifen, so hat man ein einfaches Rädersystem, wie es Fig. 241 darstellt. Statt des letzten Getriebes kann auch eine Welle vorhanden sein, um welche sich ein Tau mit einer Last schlingt. Da die Zähne der Räder und der Getriebe ineinander eingreifen sollen, so müssen sie bei beiden gleich groß sein und zwischen einander auch gleiche Entfernungen haben; es ist also klar, daß sich die Radien von den Getrieben zu denen der Räder nicht blos wie die Umfänge beider, sondern auch wie die Anzahl der auf diesen Umfängen vorhandenen Zähne verhalten müssen. Hat ein Rad mit dem Radius R den zehnfachen Umfang eines dazu gehörigen Getriebes mit dem Radius r, und sind auf letzterem 10 Triebstöcke oder Zähne, so sind auf ersterem 100.



(Fig. 241.)

Wenn an dem Umfange des ersten Rades eine Kraft K angreift, so findet sie den nächsten Widerstand A an den Triebstöcken seines Getriebes, welche die Zähne des zweiten Rades bewegen sollen. Es verhält sich bekanntlich wie beim Wellrade K : A wie r : R.

Der Widerstand, welchen das erste Getriebe fand, wirkt nach seiner Ueberwindung als eine Kraft beim zweiten Rade, für welches der Widerstand B am Umfange seines, also des zweiten Getriebes vorhanden ist und es steht A : B = n : N.

Um nun das Verhältniß K : B zu erhalten, muß man das Verhältniß r : R sovielmal nehmen, als das Verhältniß n : N angibt, wodurch man K : B = r . n : R . N bekommt.

Ebenso verhält sich B : L = s : S; also endlich auch K : L = r.n.s : R.N.S, d. h.:

> Es verhält sich die am Umfange des ersten Rades angreifende Kraft zu der an dem Umfange des letzten Getriebes (Welle) vorhandenen Last, wie das Produkt aus den Radien der Getriebe zum Produkte aus den Radien der Räder.

Wären die Radien der Räder überall das Zehnfache von den Radien der Getriebe, so verhielte sich die Kraft zur Last wie 1 zu 1000, oder man würde, abgesehen von der Reibung, mit 50 Pfunden Kraft im Stande sein 50000 Pfunde Last im Gleichgewichte zu erhalten und mit einem kleinen Uebergewichte von Kraft diese 50000 Pfunde in Bewegung setzen.

> Dagegen verhält sich die Geschwindigkeit der Kraft zur Geschwindigkeit des Widerstandes wie das Produkt aus den Radien der Räder zum Produkte aus den Radien der Getriebe.

Wir können diese Gesetze leicht auch als richtig erkennen, wenn wir auf die Anzahl der Zähne bei den Rädern und Getrieben Rücksicht nehmen. Bleiben wir bei der obigen Annahme des Verhältnisses der Umfänge von 1 : 10 stehen, so würden bei der Drehung beider auf 1000 Zähne eines Rades nur 100 Zähne seines Getriebes kommen, gleichgiltig ob das Rad nur einmal oder öfter gedreht werden muß. Hätte das erste Rad selbst 1000 Zähne, so würden nach einmaliger Drehung nur 100 Zähne seines Getriebes an einem bestimmten Punkte, z. B. an einem Punkte am Umfange des zweiten Rades vorübergehen. Da von dem zweiten Rade also nur 100 Zähne fortgestoßen werden, so gehen von dem zu ihm gehörigen Getriebe nur 10 an einem bestimmten Punkte vorüber oder es werden dadurch von dem dritten Rade nur 10 Zähne fortbewegt und dieses gibt für das dritte Getriebe nur einen Zahn. Während also ein bestimmter Punkt an dem Umfange des ersten Rades den Weg 1000 zurücklegt, macht ein Punkt der Welle am dritten Rade nur den Weg 1.

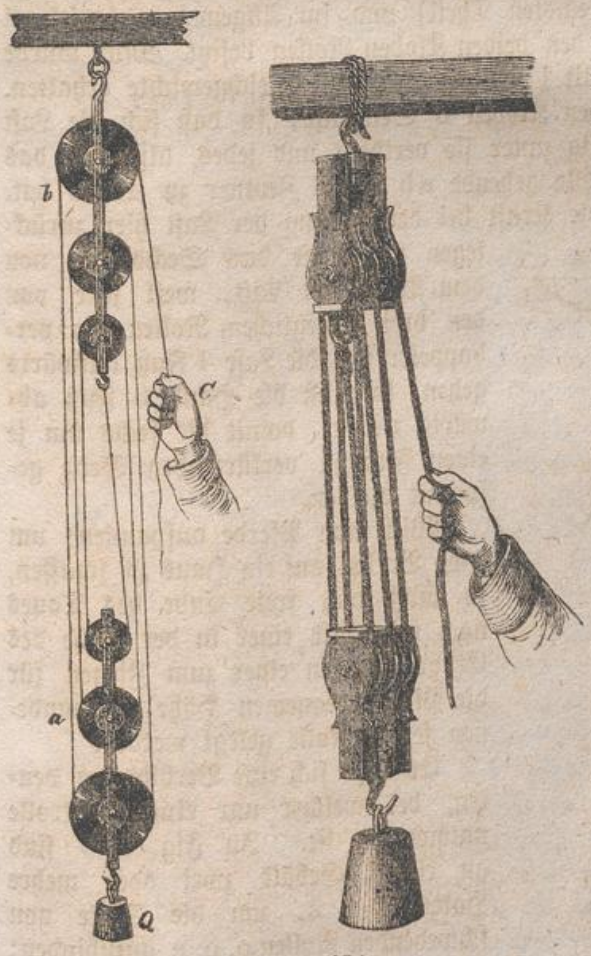
Wenn man ein Uebermaß von Kraft hat, so läßt sich durch eine solche Vorrichtung eine sehr große Geschwindigkeit erreichen; denn läßt man in dem angegebenen Falle die Kraft an der Welle des dritten Rades wirken, so wird an ihr die Geschwindigkeit 1 an dem Umfange des ersten Rades die Geschwindigkeit 1000 erzeugen. Wie für dieses Zahlenbeispiel, so für jedes andere.

Man könnte die obigen Gesetze auch so ausdrücken, daß die Pro-

dukte aus der Anzahl der Zähne der Räder und der Getriebe in die Proportionen eingeführt würden, wobei natürlich das Verhältniß der Radien der Räder und ihrer zugehörigen Getriebe nicht dasselbe zu sein braucht. Hätten z. B. die drei Räder 100, 80 und 30 Zähne, die drei zugehörigen Getriebe nach derselben Reihe 10, 20, 6; so verhielte sich die Kraft zum Widerstande wie $10 . 20 . 6 : 100 . 80 . 30 = 1 : 200$.

Man kann an die Axen der folgenden Getriebe Zeiger anbringen, welche auf einer eingetheilten Kreisscheibe sich bewegen und dann läßt sich die Anzahl der Umdrehungen des ersten Rades leicht ablesen. Eine solche Einrichtung haben die Wegemesser, durch die man während des Fahrens die Länge des zurückgelegten Weges, d. h. die Menge der Abwickelungen der Peripherie des Wagenrades auf dem befahrenen Wege bestimmen kann.

Vorzüglich wichtig und interessant ist es, die Anzahl recht rascher Drehungen einer Scheibe in einer Sekunde zu bestimmen, wie z. B. bei der Angabe der Anzahl von Stößen, welche zu einem bestimmten Tone gehören, wozu wir die Syrene als vorzüglich geeignet werden kennen lernen.



(Fig. 242.)

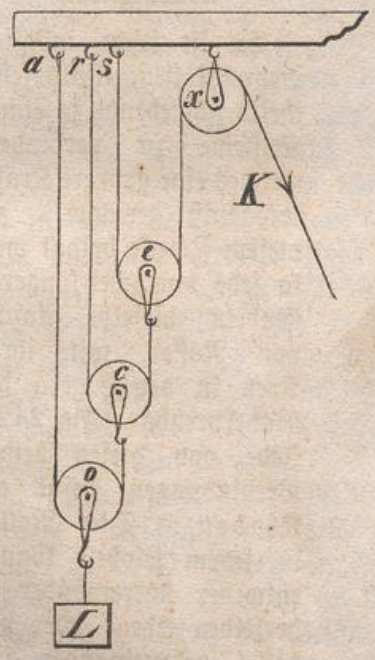
Rollensystem.

Es ist leicht möglich, mehre Rollen, theils feste, theils schwebende zu einem Systeme zu verbinden, welches eine größere Kraftersparniß gewährt. Zu diesem Zwecke bringt man in jede von zwei längeren Gabeln dieselbe Anzahl von Rollen mit ihren Axen in den Lagern der Gabel drehbar. (Fig. 242). Jede von diesen beiden Verbindungen heißt ein Kloben. Die Rollen in jedem Kloben können entweder übereinander in derselben Ebene oder parallel nebeneinander liegen. In dem ersten Falle

sind die Rollen nach dem einen Ende des Klobens hin von abnehmender Größe, damit die umzulegenden Tautheile aneinander sich nicht reiben. Den einen Kloben hängt man an ein festes Gebälk, an den anderen kommt die Last Q. Das Tau beginnt von dem am oberen Kloben unten befindlichen Haken und geht abwechselnd unterhalb einer unteren und oberhalb einer oberen Rolle fort, wie es die Zeichnung angibt, bis es zuletzt über die oberste Rolle des oberen Klobens gegangen ist und nun von der Kraft C in Anspruch genommen werden kann. Die Verbindung in der zweiten Zeichnung ist demnach wohl verständlich. Diese Vorrichtung heißt der einfache Flaschenzug.

Es ist natürlich, daß die Rollen des oberen Klobens feste oder Richtrollen sind und auf die Kraftersparniß keinen Einfluß haben, daß dagegen die des unteren schwebende sind, von denen jede zur Herstellung des Gleichgewichtes die Hälfte (oder den zweiten Theil) der Last nothwendig macht, in diesem Falle also dreimal die Hälfte (dreimal den zweiten Theil, d. i. den sechsten Theil) und im Allgemeinen sovielmal die Hälfte, als jeder von den beiden Kloben Rollen besitzt. Man würde also hier 6 Zentner Last mit 1 Zentner Kraft im Gleichgewichte erhalten. Es sind zwischen den beiden Kloben 6 Seilstücke, so daß sich die Last von 6 Zentnern gleichmäßig unter sie vertheilt und jedes, also auch das zuletzt über die oberste Rolle gehende ab nur 1 Zentner zu tragen hat.

Der Weg, welchen die Kraft bei der Hebung der Last hier zurücklegen muß, ist das Sechsfache von dem Wege der Last, weil jede von den drei beweglichen Rollen ihn verdoppelt: soll die Last 1 Fuß aufwärts gehen, so muß die Hand 6 Fuß abwärts ziehen, damit die sechs um je einen Fuß zu verkürzenden Seile gespannt bleiben.



(Fig. 243.)

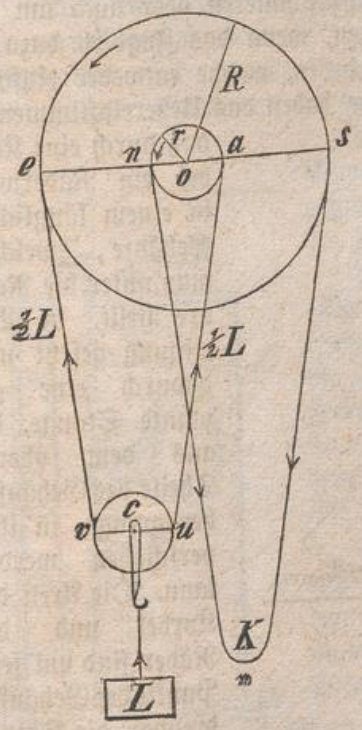
Will man Pferde anspannen, um etwa Balken auf ein Haus zu schaffen, so muß das freie Ende des Taues noch unterhalb einer in der Nähe des Erdbodens (in einer zum Ziehen für die Pferde bequemen Höhe) vorhandenen festen Rolle gelegt werden.

Es läßt sich eine Verbindung denken, bei welcher nur eine Richtrolle nothwendig ist. In Fig. 243 sind an einem Gebälk zwei oder mehre Haken a, r, s, um die Seile von schwebenden Rollen o, c, e anzubinden; an der Gabel der ersten Rolle o hängt

die Last L und das Ende ihres Seiles geht an die Gabel der zweiten und so geht das Ende des Seiles jeder vorhergehenden Rolle nach der Gabel der nächstfolgenden, bis endlich das Ende der obersten schwebenden Rolle über eine an demselben Gebälk angebrachte Leitrolle x geht, um daran die Kraft K nach unten wirken zu lassen.

Hier verhält sich bei drei schwebenden Rollen die Kraft K zur Last L nicht blos wie 1 zu 3 mal 2, sondern wie 1 zu 2.2.2, so daß man mit 1 Zentner Kraft nicht blos 6, sondern 8 Zentner Last im Gleichgewichte erhalten könnte, weil jede neue schwebende Rolle von oben nach unten als Last eine neue Verdoppelung der auf sie angewendeten Kraft hervorbringt. Ist 1 die Kraft, so wird die Last als ein Produkt aus lauter Zweien dargestellt, deren Anzahl durch die Menge der schwebenden Rollen angegeben wird. Da ein solches Produkt eine Potenz von 2 genannt wird, so heißt diese Vorrichtung der Potenzflaschenzug. Der Potenzflaschenzug gibt zwar eine ziemlich große Kraftersparniß, er ist aber weniger bequem und die Last legt einen nur geringen Weg zurück, selbst wenn man die Vorrichtung in einem hohen Raume anbringen kann.

In neuerer Zeit haben uns die Amerikaner mit einem recht einfachen und ziemlich wirksamen Flaschenzuge, dem Differenzflaschenzuge bekannt gemacht. In Fig. 244 trägt dieselbe feste Axe o zwei Rollen mit den ungleichen Radien r und R parallel nebeneinander, unterhalb ist noch eine schwebende, an deren ihre Axe tragenden Gabel die Last L angehängt ist. Um diese drei Rollen ist ein Tau ohne Ende gelegt, wie es die Zeichnung deutlich anzeigt. Sind durch die bei m angebrachte Kraft alle Theile des Taues angespannt und ist der Durchmesser vu der untersten Rolle nicht zu klein und zu sehr verschieden von der Linie ea, so können wir, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, annehmen, daß sich die vier Theile des Taues in den Endpunkten der horizontalen Durchmesser der Rollen von diesen ablösen. Zieht die Kraft K bei m nach unten, so gehen die Taustücke mn und ms nach unten, die Stücke ve und ua nach oben und die Last wird mit der schwebenden Rolle gehoben, während sich gleich-



(Fig. 244.)

zeitig die oberen Rollen in der durch die Pfeile angegebenen Richtung drehen.

Von den beiden Tauen ve und ua trägt jedes nur die Hälfte der Last und es verhält sich somit

$$K : \frac{L}{2} = (R - r) : R,$$

oder wenn man das zweite und vierte Glied der Proportion mit 2 multiplizirt:

$$K : L = (R - r) : 2R; \text{ also ist}$$

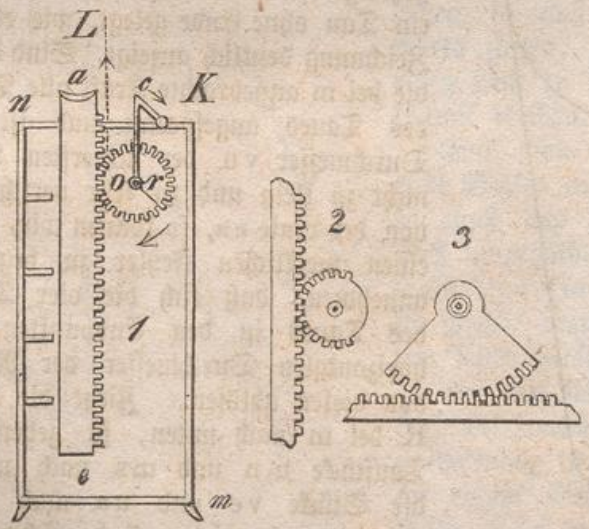
$$K = \frac{(R - r) \cdot L}{2R}.$$

Je größer also der Unterschied (R—r) der Radien der beiden oberen Rollen und je größer die größere Rolle ist, desto wirksamer ist der Flaschenzug. Wäre die Last 2 Zentner 40 Pfund, der Radius der größeren Rolle 12 Zoll, der kleineren 2 Zoll; so würde 1 Zentner Kraft für das Gleichgewicht nothwendig sein:

$$\frac{(12 - 2)\ 2{,}4}{24} = 1.$$

Wagenwinden.

Um die Axen schwerer Lastwagen einzuschmieren oder auch um die Räder aus kleinen Vertiefungen zu bringen, wenn das Zugvieh dazu zu schwach ist, bedient man sich der Wagenwinden, welche entweder einfache oder zusammengesetzte sein können. Beide haben das Uebereinstimmende, daß durch eine Kurbel ein Räderwerk in einem länglichen Gehäuse, welches man unter die Radaxe stellt, in Bewegung gesetzt und dadurch eine gezahnte Stange, die aus dem oberen Theile des Gehäuses hervorragt, in ihm verschoben werden kann. Die Axen der Kurbel und der Räder sind um feste Punkte des Gehäuses drehbar, die Stange wird bei ihrer Be-



(Fig. 245.)

wegung in grader Richtung erhalten, indem ihre Zähne fortgeschoben werden.

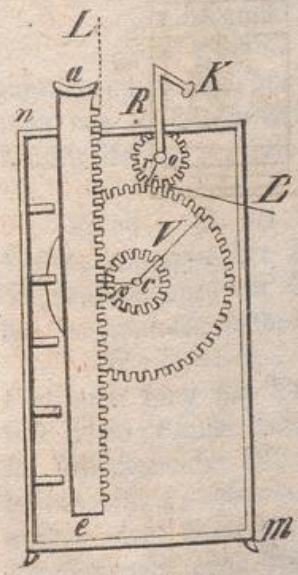
1) Fig. 245 stellt eine einfache Fuhrmannswinde dar. nm ist das unten mit mehren eisernen Zacken versehene Gehäuse, ae die aus seinem oberen Theile hervorragende gezahnte Stange, welche sich nur in grader Richtung bewegen läßt; ihre Zähne werden durch die Triebstöcke eines um o drehbaren Getriebes, dessen Radius r heißen mag, fortgeschoben; der Radius oc der Kurbel, an welcher die Kraft K wirkt, heiße R und der Widerstand, welcher bei a überwunden werden soll, heiße L. Der Ausdruck für das Gleichgewicht ohne Rücksicht auf die Reibung heißt dann:

$$K : L = r : R.$$

Wäre z. B. der Radius der Kurbel 20 Zolle, der des Getriebes 2 Zolle; so könnte man mit 1 Zentner Kraft 10 Zentner Last im Gleichgewichte erhalten und mit einigem Ueberschusse von Kraft bei einer Drehung, wie sie der Pfeil an der Kurbel angibt, die auf a befindliche Last emporheben, wenn das Gehäuse unten feststeht. Die einfache Winde gehört eigentlich noch nicht zu den zusammengesetzten Maschinen, sondern ist nur ein ungleicharmiger Hebel, bei welchem die Einrichtung getroffen ist, daß die drehende Bewegung der Kraft umgewandelt wird in eine gradlinige der Last.

Will man, daß die Stange zufolge ihres Gewichtes vonselbst wieder zurückkomme, wenn sie die Last bis zu einer gewissen Höhe, wo sie festgehalten wird, gehoben hat, so müssen dem Rade eine gewisse Anzahl von Zähnen fehlen, wie es die zweite Zeichnung zeigt.

Soll die Stange eine hin- und hergehehende Bewegung haben, so bedarf man von einem gezahnten Rade nur ein Bogenstück, wie es in der dritten Zeichnung angedeutet ist.



(Fig. 246.)

2) Bei der zusammengesetzten Winde (Fig. 246) greifen die Triebstöcke des Getriebes an der Kurbelaxe o nicht sogleich in die Zähne der Stange ein, sondern in die Zähne eines um c drehbaren Rades mit dem Radius V, an dessen Axe ein Getriebe mit dem Radius v sich befindet, dessen Triebstöcke erst die gezahnte Stange fortschieben.

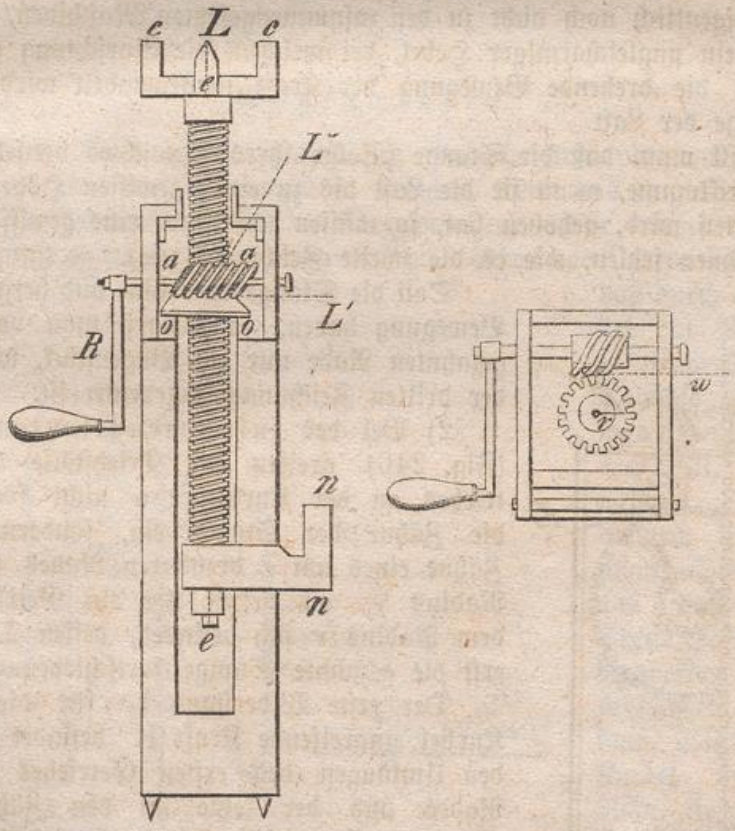
Der erste Widerstand L' für die an der Kurbel angreifende Kraft K befindet sich an den Umfängen des ersten Getriebes und des Rades und der letzte an den Zähnen der Stange. Es verhält sich

$$K : L' = r : R, \text{ und dann}$$
$$L' : L = v : V,$$

also ist das Verhältniß der Kraft K zum Widerstande L zusammengesetzt aus den beiden Verhältnissen v : V und r : R, ist also gleich v . r : V . R.

Wenn wie vorhin das Verhältniß von r : R = 1 : 10 ist und das Verhältniß von v : V = 1 : 3 (v zwei Zolle, V sechs Zolle) angenommen wird, so wird eine an dem Umfange des Rades wirkende Kraft von 10 Zentnern einen Widerstand am Umfange des zweiten Getriebes von 3 . 10 oder von 30 Zentnern im Gleichgewichte erhalten, so daß bei den hier angenommenen Zahlenverhältnissen für die Abmessung der einzelnen Theile die an der Kurbel wirkende Kraft von 1 Ztr. im Stande ist 30 Zentner auf der Stange im Gleichgewichte zu erhalten. Uebrigens muß die Drehung der Kurbel, wie es die Pfeile andeuten, in entgegengesetzter Richtung vorgenommen werden, um die Last wie im ersten Falle zu heben.

Die Reibungswiderstände betragen bei dieser Winde, wenn sie aus Eisen gemacht ist, etwa $^1/_{14}$ der Last. Nehmen wir sie nur zu $^1/_{15}$



(Fig. 247.)

und die Menschenkraft zu 50 Pfunden an, so ist ein Mensch im Stande, mit der obigen zusammengesetzten Winde noch 14 Zentner zu heben.

3) Die französische Winde (Fig. 247) besteht aus einem Kasten oder Körper, welcher zur Vermeidung des Ausgleitens bei schiefer Stellung unten auch eiserne Zacken hat; statt der gezahnten Stange ist eine Schraube ee vorhanden, welche sich in einer Mutter in einem abgekürzten Kegel auf einer festen Unterlage oo bewegt; der obere Rand des Kegels ist so gezahnt, daß die Windungen einer Schraube ohne Ende aa in die Zähne eingreifen und letztere wird durch eine Kurbel gedreht. cc und nn sind die festen Träger.

Die an der Kurbel angreifende Kraft K hat drei Widerstände zu überwinden: den Widerstand L′ an der Schraube ohne Ende, den Widerstand L″ an der Schraubenspindel und die zu hebende Last L.

Wenn der Radius der Kurbel R und die Höhe eines Schraubenganges der Schraube ohne Ende h heißt, so verhält sich

$$K : L' = h : 6{,}283 \cdot R,$$

wobei 6,283 . R der von der Kraft nach einmaliger Drehung durchlaufene Weg ist.

Heißt nun r der Halbmesser der Schraubenspindel und s der Halbmesser des horizontalen Rades, so verhält sich ferner:

$$L' : L'' = r : s.$$

Ist endlich h′ die Höhe eines Schraubenganges der Spindel, so steht noch

$$L'' : L = h' : 6{,}283 \cdot r.$$

Es ist also das Verhältniß von K : L aus den drei Verhältnissen

$$h : 6{,}283 \cdot R,$$
$$r : s, \text{ und}$$
$$h' : 6{,}283 \cdot r$$

zusammengengesetzt, was $h \cdot r \cdot h' : 6{,}283 \cdot R \cdot s \cdot 6{,}283 r$ oder, wenn man den in beiden Gliedern vorkommenden Faktor r ausläßt und die Multiplikation der beiden besonderen Zahlen ausführt:

$$K : L = h \cdot h' : 39{,}476 \cdot R \cdot s.$$

Wenn z. B. der Radius R der Kurbel 12 Zoll, die Höhe h eines Schraubenganges der Schraube ohne Ende $\frac{2}{3}$ Zoll, die Höhe h′ eines Schraubenganges der Spindel $1\frac{1}{2} = \frac{3}{2}$ Zolle und der Halbmesser s des horizontalen Rades 8 Zoll ist; so bekommt man die Proportion:

$$K : L = \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{2} : 39{,}476 \cdot 12 \cdot 8 \text{ oder } = 1 : 3789{,}696$$

oder man kann mit Vernachlässigung der Reibung mit 1 Pfunde Kraft fast 3790 Pfunde Last und mit 50 Pfunden Kraft 17448 Pfunde Last im Gleichgewichte halten. Diese Schrauben sind also außerordentlich leistungsfähig, obwohl der Widerstand durch die Reibung fast 7mal größer wird; denn sie findet statt bei beiden Schrauben, bei den Zapfen der Schraube ohne Ende und vorzüglich an der Schraubenmutter, welche die ganze Last zu tragen hat.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

4) Die englische Winde hat wesentlich dieselbe Zusammensetzung und nur einige Abänderungen, welche sie geeignet machen, sehr große Lasten, z. B. ganze Dachstühle, heben zu lassen. Der Kasten hat unten keine Spitzen, sondern ruht auf einer breiten Fläche; in die obere Fläche ist ein starkes und großes gezahntes Rad eingesenkt, an dessen Zähne die Windungen der Schraube ohne Ende eingreifen; in der bedeutend dickeren Mitte dieses auf breiter Unterlage ruhenden Rades ist die Schraubenmutter eingeschnitten, durch deren Umdrehungen um die Spindelstange die auf dieser liegende Last gehoben wird.

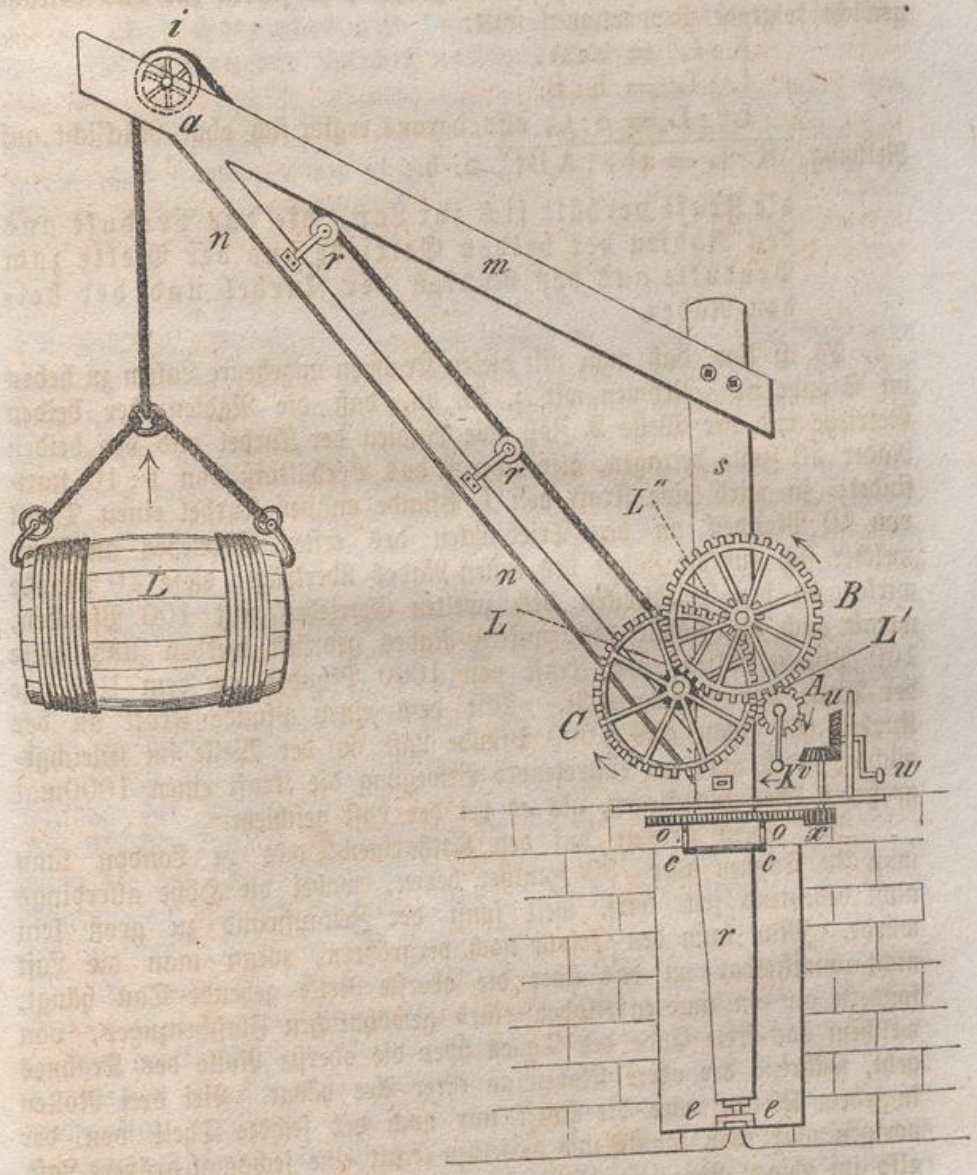
Krahne.

Die Krahne oder Krahniche sind Maschinen, welche an den Ufern von Flüssen, Kanälen und Häfen angebracht sind, um durch sie große Lasten entweder aus den Schiffen zu heben oder in sie hinabzulassen und dieselben auch horizontal und frei schwebend seitwärts vom Wasser nach dem Lande oder umgekehrt zu drehen. Die Maschine besteht also aus zwei getrennten Theilen: der Hebe- und der Drehvorrichtung.

In Fig. 248 ist r eine starke eiserne Säule, welche in Mauerwerk eingelassen unten mit ihrem Zapfen in der Pfanne ee ruht und oben in dem eisernen Ringe cc um ihre Axe drehbar ist. Um sie zu drehen, ist an ihr das horizontal liegende Stirnrad oo befestigt, dessen Zähne durch das Getriebe x in Bewegung gesetzt werden. Die Axe des letzteren trägt das horizontale Rad v mit schiefen Zähnen, welche durch die schiefen Zähne von dem Rade u, an dessen Axe die Kurbel w ist, gedreht wird. Bei der Drehung der Kurbel w muß sich auch der Ständer r drehen.

Die Säule s ist eine Fortsetzung des Ständers r und wird mit allem Zugehör gleichzeitig mit r gedreht; an ihr befestigt ist der schräge Balken m, die Strebe nn und das ganze Räderwerk, welches aus einer Kurbel, zwei Rädern, zwei Getrieben und einer Welle zum Umschlingen einer Kette oder eines Taues besteht. Die Triebstöcke der Kurbel greifen in die Zähne des vordern oder ersten Rades ein; hinter ihm an derselben Axe ist ein Getriebe, dessen Triebstöcke die Zähne des zweiten Rades fortschieben; an der Welle dieses Rades ist ein Tau befestigt, welches von da über zwei kleinere Friktionsrollen rr und zuletzt über eine größere i parallel mit der Strebe nn geleitet wird, um an dem herabgehenden Ende die Last L anzubringen, während die wirksame Kraft K an der Kurbel thätig ist.

Der erste Widerstand L' ist hier an den Berührungsstellen der Triebstöcke der Kurbel mit den Zähnen des ersten Rades; der zweite Widerstand L'' ist an den Triebstöcken des zweiten Getriebes, welches mit dem ersten Rade dieselbe Axe hat; der dritte Widerstand L ist an der Welle des zweiten Rades, wobei auf die Reibung an den Lagern



(Fig. 248.)

der Friktionsrollen und an deren Umfange während des Drehens nicht Rücksicht genommen ist. Die drei Friktionsrollen tragen zur Kraftersparniß nichts bei und es ist einerlei, ob die Last L an dem Umfange der letzten Welle oder an dem der letzten Rolle i hängt.

Wenn man die Radien der Kurbel und der beiden Räder nach der Reihe mit A, B, C; die Radien der an ihren Axen befindlichen Ge-

triebe und der Welle mit a, b, c bezeichnet, so finden für das Gleichgewicht folgende Proportionen statt:

$$K : L' = a : A,$$
$$L' : L'' = b : B,$$
$$L'' : L = c : C,$$

also daraus ergibt sich ohne Rücksicht auf Reibung $K : L = abc : ABC$, d. h.:

die Kraft verhält sich zur Last, wie das Produkt aus den Radien der beiden Getriebe und der Welle zum Produkte aus den Radien der Kurbel und der beiden Räder.

Es ist klar, daß man mit diesen Krahnen ungeheure Lasten zu heben im Stande ist. Nehmen wir z. B. an, daß die Radien der beiden Getriebe und der Welle 2 Zoll, die Radien der Kurbel und der beiden Räder 20 Zolle betragen, also überall das Verhältniß von 1 : 10 stattfindet; so wird eine Kraft von 1 Pfunde an der Kurbel einen Druck von 10 Pfunden an den Triebstöcken des ersten Getriebes ausüben, welcher sich auf die Zähne des ersten Rades überträgt; diese 10 Pfunde wirken an den Triebstöcken des zweiten Getriebes mit 100 Pfunden, womit auch die Zähne des zweiten Rades gedrückt werden und diese 100 Pfunde halten einer Kraft von 1000 Pfunden an dem Umfange der Welle das Gleichgewicht. Mit dem einen Pfunde Kraft an der Kurbel hält man also 1000 Pfunde Last an der Welle im Gleichgewichte; indeß muß bei eintretender Bewegung die Kraft einen 1000mal größeren Weg zurücklegen, als es bei der Last geschieht.

Mit einem Krahne auf den Katharinen-Docks zu London kann man 39 Tonnen oder 780 Zentner heben, wobei die Höhe allerdings nicht bedeutend sein darf, weil sonst der Zeitaufwand zu groß sein würde. Man kann den Erfolg noch vergrößern, wenn man die Last nicht unmittelbar an das über die oberste Rolle gehende Tau hängt, sondern an den unteren Kloben eines gewöhnlichen Flaschenzuges, von welchem das freie Ende des Taues über die oberste Rolle des Krahnes geht, während der obere Kloben an ihrer Axe hängt. Bei drei Rollen in jedem Kloben wäre die Kraft nur noch der sechste Theil von der vorigen oder man könnte mit derselben Kraft eine sechsmal größere Last, also im obigen Beispiele 4680 Zentner halten.

Um das Zurückgehen einer gehobenen Last ohne weitere Anwendung einer Kraft zu vermeiden, bringt man am ersten Getriebe ein Sperrwerk an.

Für weniger bedeutende Lasten wendet man einfache Krahne an, welche blos aus Kurbel mit Getriebe und Rad mit Welle bestehen und im Uebrigen die obige Einrichtung haben. Bei ihnen verhält sich ohne Rücksicht auf den etwa noch angewendeten Flaschenzug und die unvermeidlichen Reibungswiderstände

die Kraft zur Last wie das Produkt aus den Radien des Getriebes und der Welle zum Produkte aus den Radien der Kurbel und des Rades.

Man hat auch tragbare Krahne, bei welchen eine Welle durch Rad und Getriebe gedreht wird, um u. A. Bäume durch Ketten auszureißen, indem diese theils von der Welle, theils von dem Gestelle aus um die Bäume geschlungen werden.

Uhren.

Die Zeit an sich ist, wie der Raum, unendlich. Zwischen dem Beginne und dem Ende jeder Veränderung des Zustandes eines Körpers ist ein Zeittheil eingeschlossen, welcher in Beziehung auf die Zeit an sich als außerordentlich klein anzusehen ist, wie groß er uns auch erscheinen mag. Um eine sichere Vorstellung von der Größe eines Zeittheiles zu bekommen, nimmt man Bewegungen zuhilfe, welche wiederholt genau in derselben Weise ausgeführt werden, mögen sie gleichmäßig oder ungleichmäßig sein. Nicht selten gibt man sogar den Raum oder Weg, welchen ein Körper mit bekannter gleichmaßiger Bewegung zurücklegt, durch die dazu nothwendige Zeit an, wie wenn man namentlich in Gebirgen sagt: der Ort A ist von B drei Stunden Weges entfernt. Das umgekehrte Verfahren ist aber das unmittelbare.

Dazu gab schon den Völkern des grauesten Alterthums die Beobachtung der Bewegung der Himmelskörper die besten Anhaltspunkte. Am nächsten lag die Beobachtung der Sonne für die Zeit eines Tages, dann die des Mondes für einen Monat; schärfer aber für die genaue Abgränzung der Zeit war die Beobachtung der gleichmäßigen Bewegung der Fixsterne (Sonnen- und Sternentag).

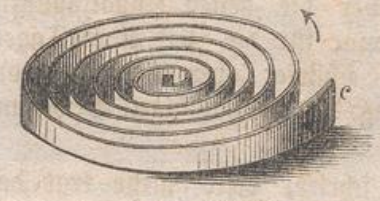
Je weiter die Menschheit vorwärts schritt, desto mehr trat das Bedürfniß einer sorgfältigen Unterabtheilung des Tages ein nicht nur zu den gewöhnlichen häuslichen, sondern auch und vorzüglich zu wissenschaftlichen Zwecken und gegenwärtig ist die Eintheilung der Zeit durch mechanische Werkzeuge oder Uhren zu einer kaum glaublichen Vollkommenheit gediehen. Es ist nicht unwichtig, eine Einsicht in den Bau einer Uhr zu bekommen, um vorkommenden Falles selbst beurtheilen zu können, wo bei eintretenden Stockungen der Fehler liegt.

Vor Allem ist bei jeder Uhr ein Regulator erforderlich, d. h. eine Vorrichtung, welche das Räderwerk in einer vollkommen gleichmäßigen Bewegung erhält. Als bewegende Kraft wird entweder ein fallendes Gewicht oder eine sich aufdrehende elastische Metallfeder angewendet. In beiden Fällen würde die Bewegung ohne besondere hemmende Vorrichtungen eine beschleunigte werden. Es wird als Regulator entweder ein Pendel mit Anker und Rad oder eine Spirale mit

Unruhe angewendet. Ersteres geschieht bei den Pendeluhren, letzteres bei den Taschenuhren.

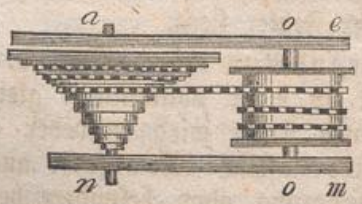
a) Für Pendeluhren. An der Drehungsaxe des Pendels ist der Uhranker mit den zwei abwärts gehenden Zähnen befestigt, so daß diese bei jedem Hin- und Hergange des Pendels in die 30 spitzen und schrägen Zähne des darunter befindlichen Steigrades (s. Fig. 230, 2) eingreifen. Ist das Pendel in Bewegung gesetzt und wirkt dann auf dasselbe eine Kraft nicht mehr ein, so wird die Schwingungsweite wegen der Reibung an der Axe und des Widerstandes an der Luft immer kleiner, bis es endlich in Ruhe geräth. Wird aber das Rad durch eine um seine Axe o gehende Schnur mit einem Gewichte in drehende Bewegung versetzt, so drängt es den Anker mit dem Pendel zu stets neuen Schwingungen, deren Dauer nur von seiner Länge abhängt. Wenn es nun grade die Länge hat, daß es zu einer Schwingung (Hinweg oder Rückweg) genau eine Sekunde gebraucht, so wird auch der Anker dem Rade gestatten, sich in jeder Minute einmal um seine Axe zu drehen; denn schwingt das Pendel rechts, so greift der linke Zahn des Ankers in eine Lücke des Rades, schwingt es links, so greift der rechte Zahn ein; also greifen die Zähne abwechselnd jeder 30mal in die 30 Lücken der Zähne des Rades ein, wodurch dem Rade gestattet wird, in einer Minute eine ganze Drehung zu machen.

Das die Pendel der Thurm- und Wanduhren bewegende Gewicht wird bei den Tischuhren durch eine kräftige streifenförmige Stahlfeder ersetzt. Man windet (Fig. 249) den Streifen um das eine Ende o, welches befestigt wird, zu einer bleibenden Spirale; wird nun das freie Ende c noch weiter fortgeführt in der Richtung des beigezeichneten Pfeiles, so kommen die Windungen einander näher, die Feder wird gespannt und erhält dadurch das Bestreben rückwärts zu gehen oder sich aufzudrehen, indem das bewegliche Ende zurückgeht, wenn man es losläßt.



(Fig. 249.)

Zu weiterem Gebrauche ist die Feder mit einem zylindrischen Gehäuse, dem Federhause, umgeben, durch dessen Mitte die feste Axe oo (Fig. 250) lose durchgeht, um sich in den Oeffnungen zweier parallelen Platten ae und mn drehen zu lassen; das vorhin freie Ende c der Feder ist dagegen an die innere Wand des Gehäuses befestigt, so daß mit der Drehung des letzteren auch die erstere gedreht wird.

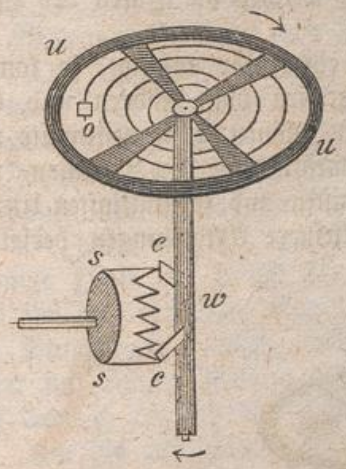


(Fig. 250.)

Ist die Feder mit dem Gehäuse aufgezogen, so wirkt sie beim Zurückgehen anfänglich stärker, als später,

würde also eine gleichmäßige Bewegung nicht hervorbringen, wenn sie eine um sie geschlungene und mit dem einen Ende daran befestigte Kette zöge; wenn aber das andere Ende der Kette bei abnehmender Kraft der Feder an einer Walze mit angemessen wachsender Dicke, also mit wachsender Länge des Hebelarmes wirkte; so könnte es erreicht werden, daß der Erfolg ein sich gleichbleibender wäre. Statt der Walze nimmt man also einen um seine Axe uv drehbaren Kegel, die Schnecke, auf dessen Mantel schneckenförmig ein Gang für die Aufwickelung der Kette angebracht ist. Die Axe endigt bei u oder bei v in einen vierkantigen Zapfen, um durch den Uhrschlüssel gedreht zu werden. Ist die Kette vollständig auf die Schnecke gewickelt, so ist die Feder am weitesten zugedreht, zieht am kräftigsten zurück, wirkt aber auf die Schnecke am wenigsten; hat sie sich auf das Federgehäuse mehr und mehr aufgewickelt, so zieht die Feder weniger, wirkt aber auf die Schnecke kräftiger.

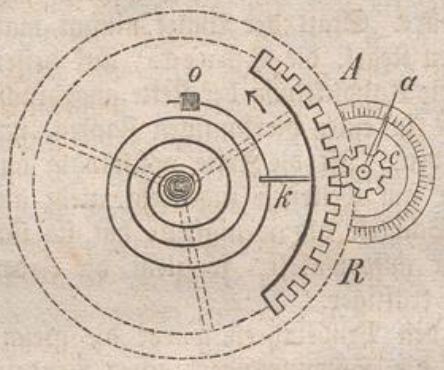
b) Für Taschenuhren. Bei den Pendeluhren wurde die gleichmäßige Bewegung der Räder durch die Schwingungen eines Pendels von bestimmter Länge erzeugt; bei den Taschenuhren ist es eine zweite Spiralfeder, welche durch ein kleines Schwungrad, die Unruhe, abwechselnd jenseits und diesseits ihrer Gleichgewichts- oder Ruhelage in gleichen Zeiten fortgeführt wird. In Fig. 251 bedeutet die einfache Linie die Spiralfeder; sie ist mit ihrem äußeren Ende o an die Uhrplatte befestigt, mit ihrem inneren an eine drehbare Welle w, welche am Ende ihrer Axe die mit der Spiralfeder parallele Unruhe uu trägt. An der Welle oder Spindel befinden sich zwei kleine Flügel cc so angebracht, daß sie beim Hin- und Herdrehen der Welle die Zähne eines Kronenrades, des Steigrades ss abwechselnd fortstoßen. Dreht man die Unruhe aus ihrer Ruhelage in der Richtung des Pfeiles etwas, so wird die Spiralfeder zugedreht, läßt man sie dann los, so geht sie bei Aufdrehen der Feder wegen des Beharrungsvermögens nicht blos bis in die erste Ruhelage zurück, sondern darüber hinaus und dreht die Feder etwas auf; wenn sich die Feder wieder zudreht, so führt die Unruhe sie wieder über den ersten Ruhepunkt hinaus u. s. f., so daß hier dasselbe geleistet wird, wie vorher durch Pendel, Anker und Steigerad.



(Fig. 251.)

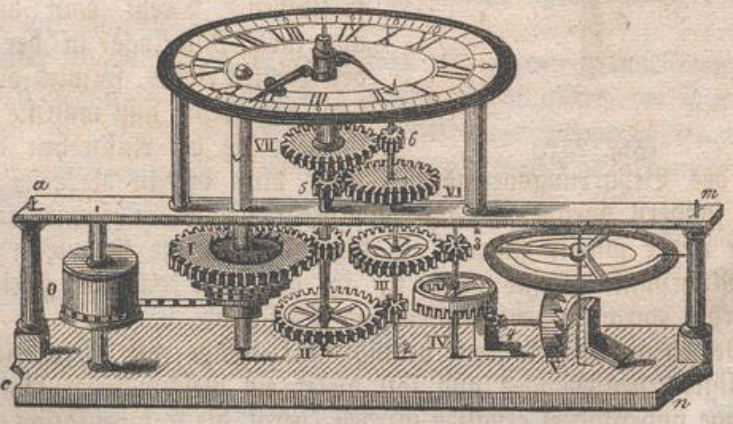
Bei den Pendeluhren bedingt die Länge der Pendelstange die Schnelligkeit des Ganges und soll dieser ein gleichmäßiger sein, so muß die Länge unverändert erhalten werden (vergl. die Kompensation, S. 388);

bei den Taschenuhren ist es die Länge der Spiralfeder vom befestigten Ende an: je länger sie von da an ist, desto langsamer schwingt sie. Man bedarf also einer Vorrichtung, um die richtige Länge nach dem Bedürfnisse herzustellen oder die Uhr zu reguliren. Zu diesem Zwecke reicht an die Spiralfeder eine Klammer k (Fig. 252), welche an einem Theile eines gezahnten unter der Uhrplatte verschiebbaren Rades befestigt ist; seine Zähne werden durch die eines kleinen Stellrades c fortgeschoben; an der Axe des letzteren ist der Stellzeiger a befestigt, welcher sich außerhalb der Uhrplatte auf der eingetheilten Stellscheibe bewegen läßt. Geht die Uhr zu schnell, so dreht man a in der Richtung des Pfeiles nach R (retour), wodurch die Klammer k näher an o rückt, die Spirale verlängert wird und langsamer schwingt; geht sie zu langsam, so bewegt man den Zeiger nach A (avance).— Bei den Zylinderuhren ist die Welle der Unruhe ein hohler Zylinder, in welchen die Haken des Hemmungsrades eingreifen.



(Fig. 252.)

Was nun die übrigen Einrichtungen einer Uhr anlangt, so kommt Alles darauf an, durch das Ineinandergreifen von Rädern und Getrieben mit einer bestimmten Anzahl von Zähnen ganz bestimmte und verschiedene Drehungsgeschwindigkeiten, namentlich für den Minuten- und den Stundenanzeiger zu erhalten. Die feinsten und sorgfältigsten Uhren, die Chronometer, lassen Sekunden und kleinere Abtheilungen derselben bestimmen.



(Fig. 253.)

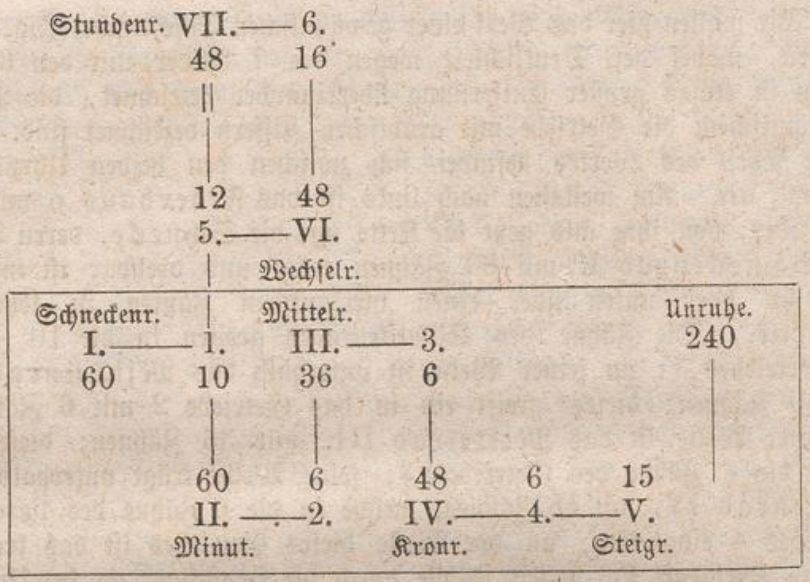
Wir wollen hier das Werk einer gewöhnlichen Taschenuhr (Fig. 253) angeben, wobei der Deutlichkeit wegen die 7 Räder mit den 6 Getrieben in etwas großer Entfernung übereinander gezeichnet, die Räder mit römischen, die Getriebe mit arabischen Ziffern bezeichnet sind. Der größte Theil des Werkes befindet sich zwischen den beiden Uhrplatten am und cn. Am weitesten nach links ist das Federhaus o mit der Treibfeder; von ihm aus geht die Kette um die Schnecke, deren Welle das Schneckenrad I. mit 60 Zähnen trägt und drehbar ist mittelst des oben oder unten über einen vierkantigen Zapfen zu setzenden Schlüssels. Die Zähne des Schneckenrades greifen in die 10 Zähne des Getriebes 1; an seiner Welle ist unterhalb das Minutenrad II. mit 60 Zähnen; dieses greift ein in das Getriebe 2 mit 6 Zähnen; an seiner Welle ist das Mittelrad III. mit 36 Zähnen; diese bewegen die 6 Zähne des Getriebes 3; seine Welle trägt unterhalb das Kronenrad IV. mit 48 Zähnen, welche in die 6 Zähne des liegenden Getriebes 4 eingreifen; an der Welle dieses Getriebes ist das kronenförmige Steigrad V., dessen Zähne durch die Hemmung an der Unruhe abwechselnd losgelassen und festgehalten werden.

Dieser Theil des Werkes gibt, wie wir bald erkennen werden, die Minuteneintheilung; der links liegende Theil ist die Kraftmaschine, der rechts liegende der Regulator und dazwischen ist die Transmission, welche die Bewegung fortleitet und die Geschwindigkeit verändert.

Der darüber befindliche, aus zwei Rädern und zwei Getrieben bestehende Theil dient für die Angabe der Stunden. An der Axe des Minutenrades ist über der Platte am das Minutengetriebe 5 mit 12 Zähnen; diese greifen ein in die 48 Zähne des Wechselrades VI.; an seiner Axe ist das Getriebe 6 mit 16 Zähnen und diese bewegen die 48 Zähne des Stundenrades VII., dessen Axe eine zylinderförmige Hülse ist, welche die Axe des Minutenrades (sowie des ersten und fünften Getriebes) ohne Reibung umgibt und oben am Zifferblatte den Stundenzeiger trägt, während die durchgehende Axe den Minutenzeiger mit einiger Reibung hält, damit er sich beliebig stellen läßt, ohne daß dadurch zugleich das Räderwerk in Bewegung gesetzt wird.

Um die Eintheilung der Bewegung leichter zu übersehen, wollen wir das ganze Räderwerk mit der Anzahl der Zähne in eine tabellarische Uebersicht bringen. Die beigesetzten horizontalen Linien zeigen das Ineinandergreifen der Räder und Getriebe an, die lothrechten die gemeinschaftlichen Axen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



Die Hemmung läßt sich so einrichten, daß das Kronenrad IV. in einer Minute sich einmal um seine Axe dreht. Da es 48 Zähne, das von ihm in Bewegung gesetzte Getriebe 4 nur 6, also 8mal mehr Zähne hat; so muß sich letzteres, also auch das an derselben Axe befindliche Steigrad V., 8 mal in einer Minute drehen, wenn jenes einen Umlauf macht. Da aber das Steigerad 15 Zähne hat, so muß die Spiralfeder mit der Spindel 30 Hin- und Rückwege (15 ganze Schwingungen) machen, damit es sich einmal drehe; also braucht es zu 8 Drehungen 8 mal 30 oder 240 halbe Schwingungen, die man durch das Anschlagen bei der Hemmung leicht zählen kann. Daraus ergibt sich also, daß bei 240 Schlägen der Hemmung in einer Minute (4 in einer Sekunde) das Kronenrad IV. sich einmal umdreht und in derselben Zeit auch das an derselben Axe befindliche Getriebe 3. Dieses hat 6 Zähne, welche die 36 Zähne des Mittelrades III. bewegen, also braucht dieses zu einer Umdrehung 6 Minuten, und ebenso das an seiner Axe befindliche Getriebe 2. Wenn nun letzteres 6 Minuten zu einer Umdrehung braucht, so stößt jeder seiner 6 Zähne in einer Minute einen von den 60 Zähnen des Minutenrades II. fort, so daß der Minutenzeiger in 60 Minuten seinen ganzen Umlauf vollendet.

Das an der Axe des Minutenrades befestigte Getriebe 1 hat 10 Zähne, welche in die 60 Zähne des Schneckenrades eingreifen. Da sich ersteres in einer Stunde einmal dreht, so braucht letzteres 6 Stunden zu einer Drehung. Will man, daß die Uhr 30 Stunden gehen soll, ohne aufgezogen zu werden, so muß die Kette sich fünfmal um die Schnecke wickeln lassen. Beim Aufziehen der Uhr dreht sich nur die Schnecke; da aber an ihrer Welle ein Haken ist, welcher in ein Sperr-

rad am Schneckenrade eingreift, so wird letzteres beim Zurückdrehen der Schnecke mitgedreht.

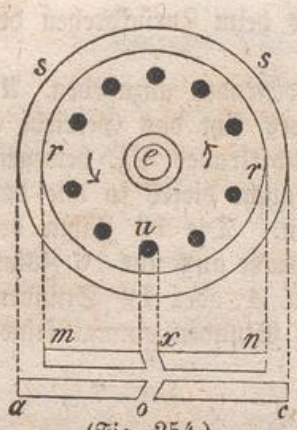
Nun ist nur noch die Bewegung des Stundenrades anzugeben. An der oberen Fortsetzung der Axe des Minutenrades sitzt das Getriebe 5 mit 12 Zähnen, welche die 48 Zähne des Wechselrades VI. bewegen. Da jenes in 1 Stunde sich einmal dreht, so braucht dieses so wie das an derselben Axe befindliche Getriebe 4 Stunden. Die 16 Zähne des Getriebes 6 drehen in 4 Stunden von dem Stundenrade auch nur 16 Zähne weiter, brauchen also zu allen 48 Zähnen 3mal 4 oder 12 Stunden, so daß also der Zeiger des Stundenrades in 12 Stunden einmal seinen Umlauf macht.

Zählwerke.

Es kommt im praktischen Leben nicht selten vor, daß man die Menge der Vorgänge von gewisser Art zu bestimmen wünscht, z. B. wievielmal ein Wagenrad von bekanntem Umfange nach der Zurücklegung eines Weges sich gedreht hat. Es wäre unbequem und unsicher, die Zählungen vorzunehmen. Ist aber an der sich drehenden Radnabe ein Getriebe vorhanden, welches sich mit dem Rade gleichzeitig dreht, oder ist es an der Radaxe, wenn diese mit dem Rade sich dreht und setzt es ein Räderwerk in Bewegung; so kann man an ihm die Zahl der Drehungen ablesen und dann die Länge des zurückgelegten Weges bestimmen, ohne ihn unmittelbar zu messen. Dies sind dann Wegemesser.

Einen anderen für die häuslichen Zwecke wichtigen Fall bieten die Zählwerke an den Gasuhren dar, um die Menge des in einer gewissen Zeit verbrauchten Leuchtgases nach Kubikfußen zu bestimmen. Die kanelirte Hauptaxe der Trommel setzt eine Scheibe in Bewegung, an welcher durch einen festen Stift die einzelnen Kubikfuße können abgelesen werden; durch gezahnte Räder und Schraubenwindungen mit verschiedener Steigung aber auch noch die Zeiger auf drei Scheiben, auf denen man die Hunderte, Tausende und Zehntausende erkennt, so daß die Vorrichtung auf eine sehr lange Zeit ausreicht, ohne an ihr eine Umstellung vorzunehmen.

Von einem vorzüglich wissenschaftlichen Werthe ist das Zählwerk an der Syrene von Cagniard la Tour, denn man kann durch sie die Anzahl von Stößen oder Schwingungen bestimmen, welche zur Hervorbringung eines bestimmten Tones gehören, welches an sich eine große Schwierigkeit zu verursachen scheint, da die Schwingungszahl, namentlich für höhere Töne, eine sehr bedeutende ist. Durch welche Mittel und durch welche Stoffe die Töne erzeugt werden, ist vollkommen gleichgiltig. Bei der Syrene sind es Stöße von Luft auf Luft mit Unterbrechungen in genau gleichen Zwischenzeiten. Auf einer kreisrunden Scheibe mit 10 Oeffnungen von gleichen Abständen untereinander und von dem Umfange der Scheibe läßt sich eine andere kleinere mit eben-



(Fig. 254.)

sovielen Oeffnungen, welche genau auf die vorigen treffen, bewegen.

In Fig. 254 stellt ss den Grundriß der größeren und ac ihren Querschnitt, rr den der kleineren mit den 10 Oeffnungen und mn Querschnitt dar. Die größere Scheibe ac ist auf einem Windkasten mit verdichteter Luft befestigt, ihre Oeffnungen sind, wie o zeigt, schräge gebohrt, die obere kleinere Scheibe hat auch schräge Oeffnungen, aber nach der entgegengesetzten Seite, wie es x angibt. Die aus den unteren Oeffnungen strömende Luft übt also einen schiefen Stoß gegen die obere Scheibe aus und bringt sie in eine Drehung in der Richtung der Pfeile auf ihr. Hierbei wird nun der aus den unteren Oeffnungen kommenden Luft der Ausgang entweder durch die oberen gestattet oder durch die dazwischen liegenden Theile derselben gehemmt; im ersten Falle stößt Luft auf Luft und bringt in ihr eine Verdichtung hervor, im zweiten tritt eine Verdünnung ein. Nach einer ganzen Umdrehung sind 10 solche Stöße erfolgt, von denen jeder, um den Eindruck zu verstärken, aus allen 10 Oeffnungen gleichzeitig geschieht. Die obere Scheibe trägt in ihrer Mitte e eine lothrecht daran befestigte Axe, diese hat oben eine Schraube ohne Ende, welche in ein gezahntes Rädchen eingreift; die Axe dieses Rädchens trägt einen lothrecht angebrachten Stift, welcher nach jeder einmaligen Drehung einen Zahn eines zweiten Rädchens fortstößt. Tragen die Axen der Räder Zeiger, welche auf einem äußerlich angebrachten Zifferblatte sich bewegen, so kann man leicht die Anzahl der Umdrehungen der Lochscheibe, also auch die Anzahl der Stöße ablesen, wenn ein bestimmter Ton anhaltend hervorgebracht wird. Die an einer Scheibe drehbar befestigten Rädchen können durch eine kleine Verschiebung der Scheibe leicht von der Schraube ohne Ende ausgelöst und dann erst daran gebracht werden, wenn der bestimmte Ton erscheint.

Rückblick.

Wir haben in den bisherigen Betrachtungen von verschiedenen physikalischen Kräften, wie von dem Beharrungsvermögen, der allgemeinen Massenanziehung und der Annahme der Kugelgestalt flüssiger Körper zufolge dieser Anziehung, von der Entwickelung der Fliehkraft bei Drehungsbewegungen und der Abplattung bei der Axendrehung gesprochen; aber wir haben diese Kräfte bisher nur als thatsächlich vorhanden betrachtet und noch keinen Versuch gemacht, eine klare Vorstellung über den Grund ihres Vorhandenseins und ihr eigentliches Wesen zu gewinnen. In der That pflegt man sich auch mit den Thatsachen zu begnügen und um den Urgrund aller Erscheinungen nicht zu bekümmern. Es scheint mir aber keine unwürdige Aufgabe zu sein, nach dem letzten Grunde für alle die verschiedenen Kraftäußerungen zu fragen und wenn ich den Versuch wage, eine Antwort zu geben, so möchte ich durch die folgenden wenigen Worte eben nur zu weiterem Nachdenken anregen.

Die Natur ist zwar in ihren Aeußerungen äußerst reichhaltig, nicht aber in ihren Kräften und Stoffen. Die obengenannten Kräfte sind der Ausfluß einer einzigen Kraft. Es scheint mir, daß der obwohl sehr zarte, aber wegen seiner Unbegränztheit und absoluten Elastizität äußerst gewaltige Weltäther die Rolle dieser einen Kraft spielt.

In Betreff des Beharrungsvermögens würden wir uns folgende Vorstellung machen können. Wäre ein Körper im Weltraume in absoluter Ruhe, so würde er ohne Einwirkung einer besonderen Kraft eine Veranlassung zu einer Bewegung nicht haben, denn der Weltäther erhält ihn durch den allseitigen Druck und Gegendruck rings um ihn im Gleichgewichte. — Ist aber ein Körper in Bewegung, so können wir, ohne für irdische Erscheinungen irgend einen merklichen Fehler zu begehen, sagen, daß der Weltäther dem Körper nach eingeleiteter Bewegung voran die Bahn mit derselben Leichtigkeit eröffnet, als er sie dahinter schließt oder daß der Körper durch den Druck auf den Weltäther nach vorwärts an Kraft ebensoviel verliert, als er durch den Druck desselben von rückwärts gewinnt, so daß es an einer Veranlassung fehlt, den Zustand der vorhandenen Bewegung zu verändern. Beides ist das

Werk eines untheilbaren Augenblickes und daher ist, abgesehen von dem Widerstande der irdischen Stoffe, die Geschwindigkeit eine sich gleichbleibende. Die Bahn eines im Weltraume sich bewegenden Körpers würde eine gradlinige sein, wenn nicht noch andere Kräfte wirksam wären, weil der von dem Weltäther auf ihn ausgeübte Seitendruck ein allseitig gleicher ist.

Die Erscheinung der allgemeinen Massenanziehung getrennter Körper, d. h. daß alle Körper ohne Rücksicht auf die Natur ihres Stoffes nach dem graden Verhältnisse ihrer Massen und dem umgekehrten der Quadratzahlen ihrer Entfernungen einander anziehen, läßt sich auch auf den Druck des Weltäthers zurückführen, so daß also eigentlich keine von den Körpern ausgehende Anziehungskraft, sondern die von dem Weltäther bewirkte Druckkraft thätig ist, welche feste Körper bis zu ihrer Berührung aneinander treibt.

Haben zwei Körper gleiche Massen (ihre Räume mögen gleich oder ungleich sein), so ist ihr Widerstand und ebenso der auf sie durch den Aether ausgeübte Druck gleich und sie bewegen sich daher mit gleichen Geschwindigkeiten gegen einander, d. h. sie scheinen einander mit gleicher Kraft anzuziehen; sind die Massen ungleich, so leistet der mit der geringeren Masse den kleineren Widerstand und er muß sich sovielmal schneller gegen den mit der größeren Masse bewegen, wievielmal seine Masse kleiner ist als die des anderen. Es muß aber dabei in beiden Fällen eine gleichmäßige Beschleunigung der Bewegung eintreten, weil dieselbe Kraft mit gleichbleibender Stärke fortwährend einwirkt, so daß die zurückgelegten Wege sich wie die Quadratzahlen der Bewegungszeiten (Fallzeiten) verhalten und da die zurückgelegten Wege das Maß für die nach den üblichen Vorstellungen wirkende Anziehungskraft ist, so liegt darin auch, daß die anziehende Kraft eines Körpers zunimmt, wie die Quadratzahlen der Entfernung abnehmen. Folgt ein Körper nur dem Beharrungsvermögen, so verhalten die zurückgelegten Wege sich wie die Zeiten, denn die Geschwindigkeit ist eine gleichmäßige.

Im Wasser bietet die Verbindung zweier zur Berührung kommenden Luftblasen zu einer eine ähnliche Erscheinung dar, nur daß hier der Wasserdruck die Vereinigung bewirkt.

Die Annahme der Kugelgestalt flüssiger Körper hat einen ähnlichen Grund. Befindet sich eine kleine Menge Luft in Wasser, so zeigt sie die Kugelgestalt nicht etwa zufolge der allgemeinen Massenanziehung, denn sie hat das Bestreben, sich allseitig auszudehnen, sondern weil sie vom umgebenden Wasser einen allseitig so gut wie gleichen Druck erfährt. Wenn aber eine kleine Menge Wasser nicht in der Luft, sondern nur im luftleeren Raume sich befindet, so nimmt sie doch auch die Kugelgestalt an, ohne daß sie also etwa von der Luft zusammengehalten wird. Der Grund davon, daß sich selbst überlassene Flüssigkeiten die Kugelgestalt annehmen, liegt wohl in dem allseitig gleichen Weltätherdrucke,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

von welchem die allseitige Anziehung der Flüssigkeitstheilchen als Wirkung erscheint, die wir aber als Ursache anzunehmen pflegen.

Merkwürdig und viel geheimnißvoller erscheint die Entstehung der Fliehkraft. Sie entwickelt sich stets und gleichzeitig, wenn ein Körper irgendwie veranlaßt wird, in einer gekrümmten Bahn sich zu bewegen: er will dann stets in der graden Richtung fortgehen, welche als Verlängerung der von seinem Schwerpunkte aus nach dem Krümmungsmittelpunkte gezogenen graden Linie anzusehen ist.

Ein an einem Faden im Kreise geschwungener Körper spannt nämlich in allen Orten seiner Bahn den Faden in der Richtung dieser Linie. Es muß also eine Kraft wirksam sein, welche den Körper von dem Mittelpunkte der Bewegung in der Richtung des Strahles drückend forttreibt. Bei dieser Bewegungsart ist die Geschwindigkeit des nach außen gewendeten, also vom Mittelpunkte der Bewegung am meisten entfernten Theiles des Körpers größer, als die des inneren; dort wird also der umgebende Weltäther schneller beseitigt, als hier, und daher ist sein von innen nach außen wirkender Druck der allein überwiegende, so daß der Weltäther den in der krummen Bahn sich bewegenden Körper um so kräftiger nach außen drängt, je größer seine Masse und Geschwindigkeit sind.

Hierin möchte auch der Grund der Abplattung eines um eine bestimmte Axe sich drehenden flüssigen oder aus nachgibigen Theilen bestehenden Körpers liegen; denn der Widerstand des gedrehten oder sich drehenden Körpers gegen den Druck des Weltäthers ist auf die Stellen geringerer Geschwindigkeit (also gegen die Pole hin) geringer, als auf die mit größerer Geschwindigkeit. Wennschon die in ihrer Verbreitung sehr beschränkte Atmosphäre auf die Körper an der Erdoberfläche einen sehr bedeutenden Druck auszuüben vermag, so darf es nicht sehr befremden, daß der unbegränzte, wenn auch noch viel zartere Weltäther ebenfalls im Stande ist, in seiner Gesammtheit einen sehr großen Druck auszuüben.

Der Einfluß des Weltäthers ist es auch, welcher nicht nur die Bewegung erhält, sondern auch in verschiedenartige Bewegungen eine harmonische Uebereinstimmung zu bringen sucht: ist ein massiger Körper in relativer Ruhe, so gelangt ein benachbarter mit geringer Masse auch zur Ruhe; ist jener in Bewegung, so zieht er diesen nicht nur auch in die Bewegung hinein, sondern bringt in ihm sogar eine übereinstimmende Bewegung hervor, es stellen sich u. a. die Axen zweier frei rotirenden, aber miteinander in Verbindung stehenden Körper nach und nach parallel. So ist es nicht blos im Großen bei den ganzen Körpern, sondern auch im Kleinen bei den Molekularbewegungen, wie wir in der Lehre von der Elektrizität näher werden kennen lernen.

Wenn wir mit Kräften Kämpfe zu bestehen haben, so führen wir sie zwar unmittelbar gegen die in den Körpern sich äußernden Kräfte, mittelbar aber eigentlich nach diesen Darstellungen gegen die Urkraft des Aethers, durch welchen jene Körper erst die Kraftäußerungen zeigen können.

Ebenso ist es, wenn wir die in der Natur liegenden Kräfte zu unserem Vortheile benutzen. Ueberall zeigte sich ein Kampf dieser Kräfte, welcher Bewegungserscheinungen hervorbringt und dies ist eben das Leben der Natur; die Ruhe wäre ihr Untergang, ihr Tod. Wie im Großen, so ist es auch im Kleinen, wie in der physischen, so in der geistigen Welt.

Es kommt wesentlich darauf an, daß wir die Naturkräfte angemessen leiten und verwenden, damit sie uns nicht nur nicht schädlich, sondern in einem möglichst hohen Grade nützlich werden. Die vorangehenden Darstellungen enthalten schon eine wesentliche Gruppe von Erscheinungen, die wir theils der Natur abgelauscht, theils zufolge der in ihr aufgefundenen Kräfte hervorgebracht haben. Sie beziehen sich alle entweder auf das Gleichgewicht oder auf die Bewegung ganzer Körper, ohne Rücksicht darauf zu nehmen, daß die kleinsten Massentheile derselben außerdem für sich noch eine selbstständige Bewegung haben können. Wenn wir z. B. einen Körper auf der Wage abwogen, so war es uns gleichgiltig, ob er kalt oder warm, schwarz oder weiß war; wenn wir die Elastizität eines Stahlstreifens benutzten, so fragten wir nicht, ob er magnetisch war oder nicht; wenn wir die Wirkung des Stoßes betrachteten, so haben wir darauf nicht Rücksicht genommen, ob durch den Stoß ein Schall erzeugt wurde oder nicht; ebenso wenn der Reibungswiderstand untersucht wurde, ob durch die Reibung etwa Elektrizität entstand oder nicht. Vorläufig haben wir zwar auch schon Molekularerscheinungen kennen gelernt, sie bezogen sich aber einseitig entweder nur auf das schon vorhandene Gleichgewicht, wie bei der Kohäsion, oder auf dessen Herstellung, wie bei der Adhäsion und den Kapillarerscheinungen. Erst im folgenden Theile werden wir die durch Störung des Gleichgewichtes entstandenen Molekularbewegungen kennen lernen, welche wesentlich in Schwingungen bestehen. Die bisher betrachteten Bewegungen der Körper gehörten bis auf die des Pendels anderen Arten an.

Wir benutzten entweder die in vorhandenen Bewegungen von Körpern, z. B. des Wassers, der Luft, liegenden Kräfte zu neuen Bewegungen mit Umwandlung der Bewegungsart durch Maschinen oder erzeugten verschiedene Bewegungen durch andere Kräfte. Ueberall ging das Bestreben dahin, die Muskelkraft der Thiere und Menschen möglichst zu schonen und möglichst vollkommene Leistungen zu erzielen.

Ich hoffe, jedem aufmerksamen Leser des Buches nicht nur eine Fülle von Thatsachen als Naturnothwendigkeiten vorgeführt, sondern auch ihn in den Stand gesetzt zu haben, selbstständig weiter zu forschen, um die Naturkräfte angemessen zu verwerthen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Register.

Abplattung 357.
Absorption der Gase 88, 89, 242, ihr Gleichgewicht 251.
Adhäsion 82, fester Körper an festen 121, tropfbar-flüssiger an festen 122, luftiger an festen 123, tropfbarer an tropfbaren 124, tropfbarer an luftigen 125, luftiger an luftigen 125.
Aggregatzustände 82.
Aichen der Schiffe 268.
Alkoholometer 280.
Amalgan 87.
Amplitude der Schwingungen = Ausschlag 386.
Anatomie 21.
Anatomischer Heber 190.
Aneroidbarometer 213.
Angriffspunkte der Kräfte 481, deren Verlegung 60.
Anlassen des Stahles 99.
Anorganische Körper 20.
Ansatzröhren 374, Druck tropfbarer Flüssigkeiten in ihnen 472, luftiger 474.
Anziehung der Stoffe: Atom- oder chemische Anziehung 84, Molekular-Anziehung 93, Gravitation 126.
Aquarium 35, 125, 233, 242.
Aräometer von Nicholson 274, von Tralles 276, Skalen-Aräometer 278, Volumeter 279, Alkoholometer 280, Umfangsprozenten-Aräometer 281.
Arbeit der Kraft 457.
Arbeitsgröße 52.
Arbeitskraft 51.
Arbeitsmaschine 52, 480.
Archimedes, die Kronenprobe 261.
Artesische Brunnen 183.
Aspirator 317.
Asteroiden 378.
Aether 17.
Athmen 243, 244, 92.
Atmosphäre 92, 129, Gleichgewicht 196, 200, Druck 203, 240, Messung des Druckes 205, Größe des Druckes 208, Benutzung des Druckes 289.
Atome 30, Gestalt 32, Atomenanziehung 84.
Attraktion, s. Anziehung.
Auflösungen 112.
Ausdehnbarkeit, der Luft 242.
Ausfallswinkel 412.
Ausflußgeschwindigkeit, tropfbarer Körper 472, der Gase 473.

Ausflußmenge, tropfbarer Flüssigkeiten ohne und mit Ansatzröhren 471, der Gase 474.
Ausschlag bei Schwingungen, Schwingungsweite, Elongation 386.
Axe der Erde, frei und fest 366, ihre Neigung gegen die Bahn 372.
Axendrehung 346, der Erde 73.

Baden 118, 422.
Balancier an Maschinen 488.
Balanciren 139.
Balken 106, Wagebalken 158.
Ballistisches Pendel 414.
Barometer, Gefäß- 210, Heber- 211, Einstellen desselben 212, Aneroid- 213.
Barometerbeobachtungen 214.
Barometerhöhe 211, Schwankungen 216, Einfluß der Dünste 217, schnelles Fallen 445.
Barometerprobe 238.
Barometrische Höhenmessung 220.
Beharrungsvermögen 69.
Beobachtung 25.
Berieselung 181.
Beschleunigung 335.
Bewegung 36, absolute, relative 37.
Bewegungsarten: fortschreitende, zirkulirende, oszillirende, rotirende 39; zusammengesetzte 40; gleichmäßig beschleunigte 335, verzögerte 343, fester Körper in tropfbaren 415, in luftigen 446; Umwandlung der Bewegungsarten 40.
Bewegungsrichtung 42.
Bewegungsgröße, Gesetze 46.
Blasebalg, einfacher 248, doppelter 248, Trommelgebläse 249, der japanische 250, Zylindergebläse 234.
Blaserohr 440.
Blätterdurchgang 95.
Bolzenbüchse 440.
Botanik 21.
Brechstange 487.
Bremskraftmesser 457.
Briefpost durch Luftdruck 241.
Bronce 86.
Brunnen, das Graben 33, Bohren artesischer 183, Standbrunnen 178, Hungerbrunnen 302, der sich unterbrechende 297.
Brückenwage 161.

Charlièren 255.
Chemie 23, chemische Anziehung 31, 82, 84.
Chronometer 543.

Dasymeter, Wagemanometer 254.
Daumwelle 517.
Diagonale 12.
Diagonalkraft 62.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Dichte 32.
Differenzialflaschenzug 535.
Diffusion der Luftarten 91, in der Atmosphäre 201.
Divergente Linien 11.
Doppelheber 301.
Doppelkegel 143.
Dosenlibelle 167.
Drache 67.
Draht, s. absolute Festigkeit 101.
Drahtbrücken 101.
Drainiren 181.
Drehungspunkt des Hebels 481, 485.
Drehungsrichtung 529.
Drehungswiderstand 110.
Dreiseit, Triangel, Dreieck 10.
Druck, Unterschied von Stoß 396, Druck von ruhenden Flüssigkeiten, vertikaler nach unten 171, Gesetz 172, nach oben, das hydrodymanische Gesetz 189; seitlicher 176; von bewegten Flüssigkeiten, von tropfbaren 472, luftigen 473, der freien Atmosphäre auf Wasser 171, überhaupt 203, Messung desselben 205. Fortpflanzung des Druckes durch Flüssigkeiten 169, Gesetz 170, Druck eingeschlossener Gase 312.
Durchmesser 13.
Dynamometer, Kraftmesser 49.

Ebbe 131.
Ebene 8, schiefe 495; das Fallen darauf 142, Gleichgewicht, wenn eine Kraft parallel mit ihr wirkt 496, wenn die Kraft parallel mit der Basis wirkt 499.
Einfallsloth 412.
Einfallswinkel 412.
Eis 95.
Eiskrystalle 96.
Eisenbahn, atmosphärische 241.
Elastizität 73, des Wassers 74, der Luft 75, expansive, attraktive, Torsions-Elastizität 75, Elastizitätsgränze 76, Anwendung 76, als bewegende Kraft 77, Elastizität des Zuges 77, der Biegung 78, der Drehung 79, Elastizitätskoeffizient und Modulus 78.
Elementaratome 31.
Elementarwelt 167.
Elemente 23.
Ellipse 14.
Elongation der Schwingungen, Ausschlag 386.
Endosmose 89.
Entfernung eines Punktes von einem Punkte 7, von einer Linie 9, von einer Ebene 14.
Erde 129, ihre Gestalt und Massenvertheilung 130, spezifisches Gewicht 134, absolutes Gewicht 134, ist hohl 362.
Erdwinde 520, 522.
Erhebungswinkel bei Schwingungen 386.
Excentric 513.
Exosmose 90.
Expansivkraft 242.
Expansivschieber 224.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Fabrikarbeit 529.
Fahrwege, Neigung 465, 497.
Fallen, das freie 333, auf der schiefen Ebene 340, in Schachten 363, in der Luft 423, auf einem fahrenden Schiffe 64.
Fallgeschwindigkeit, an der Erde 392, am Monde 392, an der Sonne 342, 392.
Fallhöhe, durch den Schall bestimmbar 342.
Fallmaschine 338.
Fallschirm 424.
Federhaus bei der Uhr 544.
Federwage 164.
Festigkeit, Grade derselben 98, Gesetz 99; absolute 100, relative 105, rückwirkende 108, Gesetz 109, Torsionsfestigkeit 110, Festigkeit der Balken aus Holz 106, aus Eisen 108, der Wagebalken 158.
Feuerspritze, ohne Windkessel 312, mit Windkessel 324, Handspritze 391.
Feuerregen 88.
Filtriren 34.
Fischblase 266, unter dem Rezipienten 242.
Fische, ihr Schwimmen 66, 423, schlafen 266.
Fischprellen 171.
Flächenanziehung 121.
Flaschenzug, einfacher 533, Potenzflaschenzug 534, Differenzialflaschenzug 535.
Fliegen 149, aktives 446.
Fliehkraft 72, spannende Kraft 347, ihre Entstehung 348, bei der Erde 362, ihre Bestimmung 383.
Flüssigkeit, tropfbare, luftige 83.
Flüssigkeitshaut 97, 167.
Fluth 131, Spring- und Nippfluth 133, in Flüssen 133, in Binnenseen 133.
Fraterna caritas 304.
Friktionsrollen 455.
Friktionsscheiben 515.

Gase = luftige Körper 83, 197; Gleichgewicht verschiedener 91, 201, Bewegung 473.
Gasleitungen 473, Ausflußgeschwindigkeit, Ausflußmenge 473.
Gasometer 317.
Gasuhr 321.
Gebläse, hydrodynamisches 191, Zylindergebläse 334, und s. Blasebalg.
Gefälle 11, 181.
Gefäßbarometer 210.
Gefäßmanometer 314.
Gegenfüßler 129.
Gehen 394.
Geiser 325.
Geognosie, Geologie 21.
Geschosse, ihre Bahn 476.
Geschwindigkeit 43, gleichmäßige, ungleichmäßige, beschleunigte, verzögerte, mittlere 44, des Wassers in Ansatzröhren 473, der Luft 474, durch Stoß 417, beim Fallen in der Luft 423, gezahnter Räder 518, durch die Schwungmaschine 513.
Getriebe 511.
Gewicht 126, 138, 147, 269, Maßeinheit 148, seine Verminderung durch eine Seitenkraft 149, 370, in der Luft 253, im Wasser 259, unserer Arme und Beine 205. Absolutes Gewicht der atmosphärischen Luft 253, des Wassers

261. Spezifisches Gewicht 270, der festen Körper 273, der tropfbaren 274, der luftigen 284.
Gewölbe 502.
Giftheber 300.
Gleichgewicht von Kräften 63, 148; dreier Kräfte 150, Gesetz 152.
Gleichgewicht fester Körper, indifferentes, stabiles, labiles 137; tropfbarer Körper auf der Oberfläche 166, im Innern 168, luftiger Körper 91, 196, 201, der Atmosphäre 200, absorbirter Gase 251. Gleichgewicht fester Körper in tropfbaren 259, in luftigen 253, Steigen und Sinken in ihnen 260.
Gleichwage 152, ihre Lage 153, Richtigkeit 155, Empfindlichkeit 157; Schnellwage, römische 159; Brückenwage 161.
Glieder des Körpers als Hebel 490, ihr Gewichtsverlust 205.
Glockengut 85.
Glockenzug, Luft- 198.
Gravitation 82, irdische und überirdische 126, Gesetz 130.
Grubenwinde 520.
Grundstoffe, Elemente 23.
Grundwasser 179, 182.
Guerikscher Hahn 226.

Haarröhrchenerscheinungen: Attraktion 113, Gesetz 118, Depression 118.
Hafenzeit 132.
Hagel, Fallkraft 423.
Hahn: der guerikische 226, Kopfhahn 227, Ventilhahn oder Klapphahn 228, der senguerdsche 229, der Zweiweghahn 229, Dreiweghahn 230, Vierweghahn oder leupoldsche 230.
Hämmern 100, 401.
Härten des Stahles 99.
Halbkugeln, magdeburger 240.
Handspritze 291.
Haspeln 520.
Hauchfiguren 124.
Hebebaum 486.
Hebelade, ohne und mit gezahnter Stange 487.
Hebel 481, Hebelarm 482, gleicharmiger 482, ungleicharmiger 483, Gesetz 482. Winkelhebel 485, Anwendbarkeit 484, 486, Kniehebel 492.
Hebelregulator 486.
Hebelsysteme, Potenzhebel 530.
Heber, anatomischer 190, Stechheber 289, Schenkelheber oder würtembergischer 298, Giftheber 300, das Füllen der Heber 300, Ventilheber 301, Doppelheber 301, Kanalheber 302, der unterbrochene Heber 305, Heber im luftverdünnten Raume 305.
Heberbarometer 211.
Heberspringbrunnen 304.
Hemmung, Echappement 516.
Herabspringen 72, 402.
Heronsball 323.
Heronsbrunnen 326.
Höhenmessung, barometrische 220.
Holz, Porosität 34; Festigkeit 106.
Horizont 15, horizontal 11.
Hornhaspel 520.
Hubhöhe 356.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hydraulische oder hydrodymanische Presse 192.
Hydraulischer Widder oder Stoßheber 330.
Hydrostatische oder realsche Presse 174.
Hygroskopische Erscheinungen 120, an Bausteinen 121.
Hypothese 25.

Isolirschicht 116.

Kamele zum Heben der Schiffe 269.
Kanalheber 302.
Kanalwage 179.
Kapillarerscheinungen, Attraktion 113, Beispiele und Gesetz 117; Depression 118.
Kartesianischer Taucher 171, 175, 199, 242.
Kartoffelschälmaschine 352.
Kastenräder 431.
Kastenwerk bei der Schöpfmaschine 527.
Keil 499, Gesetz 501, Anwendungen 502.
Keplers Gesetze 381.
Kettenrad 511.
Kilogrammometer 50.
Klärmittel 420.
Knall 233.
Knallbüchse 441.
Knallgas 233.
Kniepresse, Kniehebel 492.
Kohäsion 82, tropfbarer Körper 97, fester K. 98, bei Metallkompositionen 86.
Kohle, ihr Absorptionsvermögen 88.
Kohlensäure 92.
Kometen 18, 360, 379, 420.
Kommunizirende Gefäße, Röhren 177.
Kompensationspendel 387.
Komposition von Metallen 85.
Kompression der Luft 197.
Kompressionspumpe 310.
Konisches Pendel 354.
Konvergente Linien 11.
Körper, mathematische 14, physische 17, 80, überirdische 18, irdische 19, unorganische und organische 20, ihre Abmessungen 28, Theilbarkeit 19, feste, tropfbare, flüssige 83, Gestaltung 93, 119, Kraft dabei 95.
Kraft 25, 45, momentan und kontinuirlich, konstant und veränderlich 47, 48; Richtung 48, Maß der Kräfte 48, Menschenkraft 49, Pferdekraft 50; Zusammensetzung der Kräfte 59, Zerlegung 64, Angriffspunkte 60, Kraft bei der Bildung der Eiskrystalle 96, beim Druck und Stoß 417, lebendige Kr. 51, Erhaltung der leb. Kraft 53, Wirkung auf die Entfernung 57, Gesetz der Abnahme 58.
Kraftmaschine 52.
Kraftmesser 49, Bremskraftmesser 457.
Kraftmoment, Bewegungsgröße 46.
Kraftsparung 479.
Krahne 540.
Kreis, Kreislinie 12.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kreuzhaspel 520.
Kronenprobe des Archimedes 261.
Kronenrad 547.
Kropfrad 432.
Krummzapfen 524.
Krumpfen 115.
Krystalle 20, 31, 94.
Kugelform, Kugelgestalt 81.
Kurbel 523.
Kurven auf Eisenbahnen 350.

Längenschwingungen 74.
Laufbrücken beim Bauen 498.
Laviren bei Schiffen 67.
Leck bei Schiffen 175.
Legirung von Gold und Silber 85.
Leinwand 101.
Leitstange 525.
Leuchtgas-Gasometer 318.
Leupoldscher Hahn 230.
Libelle, Wasserwage: Dosen- und Zylinderlibelle 167.
Licht, das schwimmende 265.
Linien 7, parallele, konvergente und divergente 11.
Loth 10, 127.
Löthrohr 250.
Luft, atmosphärische 92, 129; Verbindungen 91, Gleichgewicht 196, im Wasser 242, ihr Gewicht 243.
Luftballon: Montgolfieren 255, Charlièren 256.
Luftdruck 203, 204; Veränderlichkeit 214.
Luftklingelzug 198.
Luftpumpe: Verdichtungs- 231, Verdünnungspumpe 235, zweistiefliche 239.

Manometer: Wagemanometer 254, 313, Gefäßmanometer 314, Röhrenmanometer 315, Metallmanometer 316.
Mariottes Gesetz 220, Mariottes Gefäß 296.
Maschine: einfache, zusammengesetzte 478, 528; Kraft-, Zwischen-, Arbeits-Maschine 480.
Massenanziehung 84, 94, 126; Vertheilung bei der Erde 148.
Maße: Längen-, Flächen- und Körpermaße 15, für Kräfte 48, Pferdekräfte 50, Menschenkräfte 49, der Reibung 462, für den Druck der Atmosphäre 220, für den Druck eingeschlossener Gase 314, 315, 316.
Mehlmühle 350.
Menschenkraft 49.
Metallkompositionen: Messing, Glockengut 85, Neusilber 86, Spiegel 87, Statuenbronce 87, leichtflüssige von Rose und Lipowitz 87.
Metallmanometer 316.
Metazentrum 267.
Meteore 18, 378, ihr Fallen 423.
Metronom 391.
Meter 16.
Millegrammometer 50.

Mineralogie 21.
Mineralwasser 89.
Minutenrad 547.
Mittelkraft 62.
Mittelrad bei Uhren 547.
Mittheilung der Bewegung 71.
Moderateurlampe 294.
Molekularanziehung 93, 114.
Molekule 31, 80.
Moment, das statische, 482, 488.
Monde 360, der Erde 375, dessen Einfluß auf die Erde 131, Masse 134.
Mondsüchtige 134.
Montgolfieren 255.
Moränenblöcke 269.

Nachtgleichenpunkte, ihr Vorrücken 374.
Naturgesetze 25.
Nebelflecken 80.
Niveau 166.
Niveauhalter 292.
Nivellirwage, Kanalwage 179, Nivellirungslatte 180.
Nora, die spanische, 527.
Nutzeffekt bei Maschinen 457.

Oberfläche, freie einer Flüssigkeit = Niveau 166.
Ort 37.
Oszillationen = Schwingungen 73.

Panorama 38.
Parabel 344, 345.
Paradoxon, das hydrostatische 172, das hydrodynamische 190.
Parallele Linien 11, Parallellineal 11.
Parallelogramm 11, Arten 12, der Kräfte 59—62.
Passat 363.
Passevin 167.
Paternosterwerk 527.
Pendel, mathematisches 385, Gesetze 387, physisches 387, Rostpendel 388, das konische 354, das ballistische 414, Foucaults Versuch 393.
Perkussionskraft 400, beim Hämmern 401, Schießen 401, Rammen 402.
Perkussionsmaschine 407.
Pferdekraft 50.
Physik 24, ihr Nutzen 26.
Physiologie 21.
Pipette 290.
Planeten 20, 80, 359, 361, 420; Bahnen 381.
Plattiren 122.
Porosität 33, des Erdbodens, des Holzes 34, 242, des Wassers 35, der Metalle des Glases, des menschlichen Körpers u. s. w. 36.
Potenzhebel 530.

Pressen 490, die realsche oder hydrostatische 174, die hydrodynamische oder hydraulische 192.
Preßbarkeit 32, des Wassers 171, der Luft 221.
Pumpen: Saughebepumpe 306, doppeltwirkende 309, Saugdruckpumpe 310, Luftpumpe 231, 235.
Punkte, todte 355, 525.
Pyrophore 88.

Quadrant 13.
Quadrat 12.
Quellen 33, intermittirende 302.

Rad mit Getriebe 510, an der Welle 510, Gesetz 511.
Räder, gezahnte: Stirn- und Kammräder 516, konische 517, Kettenrad 511.
Rädersysteme 531.
Radhaspeln 520.
Rammbär 525.
Rammen 402, 525.
Raum 29, schädlicher 237, Verminderung bei Mischungen 35, Bestimmung 261.
Reaktion oder Rückwirkung bei tropfbaren 434, beim Schießen für luftige Körper 439, 475, für Raketen 476.
Realsche Presse 174.
Regulator bei Maschinen 352, Wasserregulator 270, für Dampfkessel 264, Gasometerregulator 320, für Uhren 543.
Reibung 396, 450, fester Körper, gleitende, an Zapfen 451, Koeffizient 452, 463; wälzende 459, Reibung flüssiger Körper gegen feste 469, Wasser in offenen Betten 470, in Röhren 471, Wasserleitungen 472, Gasleitungen 473. Maß der Reibung 462, Vortheile und Nachtheile 467.
Resultirende Kraft 60.
Rettungsboote 269.
Richtrollen 494.
Richtung 7, einer Kraft 48.
Ringe des Saturn 377.
Röhrenmanometer 315.
Rollen, das der Körper 142.
Rolle: feste 493, schwebende 494, zusammengesetzte 309.
Rollensysteme 533.
Rollampe 142.
Rollschüsse, Rikochettschüsse 412.
Rollsteine 436.
Rostpendel 388.
Rotationsapparat 368.
Rotationskraft der Erde 371.
Rückschlag beim Schießen 439.
Rückwirkung s. Reaktionswirkung.
Ruder, Handruder 490, Steuerruder 66, 436, 488.
Rutschbahn auf dem Pilatusberge 499.
Ruhe 36, absolute, relative, Täuschungen 37.

Salzspindeln 283.
Sanduhr 43.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Saturn, seine Ringe 377.
Saugdruckpumpe 310.
Saugen bei Ansatzröhren für tropfbare und luftige Körper 474.
Saughebepumpe 306, Saugdruckpumpe 310.
Schaufel 490.
Schaufelräder 431.
Scheere, Metallscheere, Papierscheere 489, Schafscheere 490.
Scheibe, unrunde 225.
Scheibenventil 223.
Schenkelheber, würtembergischer 298.
Schichten der Erdoberfläche 420.
Schiebelampen 293.
Schiebekarren 489.
Schießen 70, 71, Verfehlen des Zieles 345, 364.
Schiffe, ihr Metazentrum 267, Tragvermögen 268.
Schiffskompaß 141.
Schiffswinde 522.
Schlämmen 419.
Schlepphund 521.
Schleusen 177, trockene 498.
Schmiermittel 461.
Schnecke bei der Uhr 545.
Schneckenhaus 547.
Schnellwage, römische 159.
Schöpfmaschine 526.
Schöpfräder, persische 527.
Schornstein 474.
Schraube 502, Schraubengang, Schraubenlinie 503, Mikrometerschraube 506; mit Hebel, Wirkung 505, Gesetz 504, 506; Schraube ohne Ende 508, mit mehrfachen Gängen 507; Reibung bei Schrauben 467, 507; Schraube an Schiffen 67, 428.
Schröpfköpfe 205.
Schrotleitern 498.
Schubkarren 489.
Schwere 82, 126, 362.
Schwerlinie 136.
Schwerpunkt, der Erde 128, irdischer Körper 135, eines Schiffes 267.
Schwimmen, passives 263, aktives 425, über einen Fluß 65.
Schwimmer, für Dampfapparate 264, Pronys 270.
Schwingungen 73, 386; transversale, longitudinale und drehende 74.
Schwingungsdauer 386.
Schwingungsebene, deren Drehung beim Pendel 393.
Schwingungskraft 386.
Schwingungsmittelpunkt 388.
Schwingungszahl 386.
Schwungkraft bei der Erde 363.
Schwungmaschine 512.
Schwungrad 73, Wirkung 354.
Segel 438.
Sekundenpendel 391.
Selbstentzündungen 87, 88.
Senguerdsche Hahn 229.
Senkwage, s. Aräometer.
Setzwage 10.
Sicherheit in Betreff der Festigkeit 112.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Sicherheitsröhren 313.
Sicherheitsventile 225.
Signaltonnen 270.
Sinneseindrücke über Größe und Bewegung unvollkommen 30, 38.
Sonne 361, Sonnenmasse 134, Sonnensystem 80.
Spannkraft, s. Elastizität 73.
Spaten 488.
Speisevorrichtung, selbstthätige 265.
Sperrwerk 516.
Spezifisches Gewicht, fester 273, tropfbarer 274, luftiger Körper 284.
Spiegelfolie 87.
Spillen 517, 520.
Spinnrad 255.
Spirale 544, 545.
Spitzkugeln 433.
Sprengen der Steine 410.
Springbrunnen durch hydrostatischen Druck 178, Heberspringbrunnen 304, Luft- oder Dampfdruck 324.
Springfluth 133.
Spritze, Handspritze 291, Feuerspritze 312, 324.
Spritzflasche 323.
Stabilität 144, schwimmender Körper 266.
Stahl, gehärtet, angelassen, Silberstahl 99.
Standbrunnen 178.
Standmesser 179.
Stechheber 289.
Steifheit der Taue 456.
Steigkraft der Luftbälle 288.
Steigung 181.
Steigrad 544, 545.
Stellrad, Stellscheibe, Stellzeiger 546.
Sternschnuppen 19.
Steuerruder 66, 436, 488.
Stocklaternen 141.
Stoff 17, Stoffanziehung 80, Stoffwechsel, in organischen Körpern 90, beim Athmen 246.
Stoß 396, Arten 397, grader zentraler von unelastischen Körpern 399, grader zentraler von elastischen Körpern 403, durch Steinpflaster 409, schiefer zentraler Stoß 411, schiefer exzentrischer 413. Stoß fester Körper gegen flüssige 415, tropfbarer Körper gegen feste 429, luftiger gegen feste 437, der Luft gegen Wasser 449.
Stoßheber von Mohr 330.
Stoßmaschine 407.
Stoßschaufeln der Wasserräder 433.
Stundenrad 547.
Sublimation 94.
Syrene 549.

Tabakrauchen 244.
Tabellen: für Geschwindigkeiten 44, Elastizität 78, absolute Festigkeit 103, relative Festigkeit 108, rückwirkende Festigkeit 110, für den Dunstdruck nach geographischen Breiten 217, für die Dichtigkeit des Wassers 272, für sein Gewicht bei verschiedenen Temperaturen 273, für Alkoholmessung 281, 282,

für das spezifische Gewicht fester, tropfbarer und luftiger Körper 286, für die Länge eines Bogengrades in verschiedenen Breiten der Erde 365, für Kometenumläufe 380, für Windmesser 445, für Reibungskoeffizienten 466.
Taktmesser, Metronom 391.
Tam-Tam 86.
Tangente 13.
Tangentialkraft 347.
Taschenuhr 545.
Taucher, kartesianischer, 171, 175, 194, 242.
Taucherglocke 233.
Taumelbecher 141.
Täuschungen in Betreff der Ruhe und Bewegung 37.
Tausendgranfläschchen 274.
Theilbarkeit, natürliche, künstliche 29.
Thermometer, getrenntes Queckfilber zusammen zu bringen 352.
Thiere 20, Thiere und Pflanzen 35.
Torizellische Leere 208.
Torsions-(Dreh-)Festigkeit 111, bei Wellen an Maschinen 112.
Tragvermögen 101, von Schiffen, absolutes und relatives 268.
Tragstab 488.
Tralles, Senkwage 276.
Transmission 468, 478, 512.
Transporteur 13.
Treträder 518.
Tretscheiben 519.
Treträder und Scheiben 520.
Tribometer 452, 453.
Trilling 517.
Trommelgebläse 249.
Tropfbare Körper 82.
Tropfenbildung 93.
Tropfstein 33.
Turbine 435.

Ueberfahren auf einem Flusse 65.
Uhranker 544.
Uhren, Sand- und Wasseruhren 43, Räderuhren 543.
Umkanten 146.
Umlaufszeit der Planeten und Kometen 420.
Undurchdringlichkeit 79.
Unruhe bei den Uhren 545.

Ventile 223, Scheiben- 233, Klappen- 224, Schieber- 224, Kegel-, Kugel-, Druck- und Hebelventile 225.
Ventilheber 301.
Verbindungen, der Atome oder chemische 84, der Molekel 112.
Verbrennen 243, 88.
Verlegung des Angriffspunktes einer Kraft 60.
Verschluckung, s. Absorption.
Verwandtschaft, chemische, einfache und doppelte 85.
Vexirbecher 303.

Vögelflug 149, 266, 423,424.
Volumen 32, s. Bestimmung 269.
Volumeter von Beaumé 279.

Wage: Gleichwage 152, Schnellwage 159, Brückenwage 161, Zeigerwage 163, Federwage 164, hydrodynamische 190, hydrostatische 261.
Wagebalken 158.
Wage-Manometer 254.
Wagenrad-Reibung 460.
Wagenwinde 536, die einfache, die zusammengesetzte 537, die französische 539, die englische 540.
Wahlverwandtschaft 85.
Walken 100.
Wälzende Reibung 459.
Wanderblöcke 269.
Wanne, pneumatische 204.
Wasser, Bestandtheile 91, Absorptionsvermögen 89, durchdringt thierische Häute 90, ist elastisch 74, absolutes Gewicht 261, 273, Dichtigkeit 272, in Wein zu verwandeln 167.
Wasserfälle 424.
Wassergallen auf Aeckern 116.
Wasserglocke 97.
Wasserhammer 418.
Wasserkunst 436.
Wasserleitung 182.
Wasserrad 430, unterschlächtige Schaufelräder 431, oberschlächtige Kastenräder 432, mittelschlächtige 433, Segners 434, Turbinenrad 435.
Wasserregulator 270.
Wassersäulenmaschine 327.
Wasserschraube 143.
Wasserseilmaschine 114, 350.
Wasserstrahl 114.
Wassertreten 425.
Wasseruhr 43.
Wasserwage, Kanalwage 179.
Wechselhäuschen bei Wasserleitungen 473.
Wechselrad bei Uhren 547.
Wegemesser 533, 549.
Wellen, kanelirte 517, konische 518.
Wellrad 510.
Weltäther 17.
Weltensysteme 359, 384.
Weltkörper 80.
Werfen in verschiedenen Richtungen 342.
Werkzeuge 478, 480.
Wetterglas, s. Barometer.
Wetterpropheten 120.
Widder, hydraulischer Stoßheber 330.
Widerstand des flüssigen Mittels 415, 419, 422, einer Drehungsaxe 369.
Wiegemesser 493.
Windbüchse 233, 438.
Winden 520, Wagenwinden 536.
Windfänge bei Uhren 424.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Windmesser 443.
Windmühlenflügel 66, 437.
Windstöcke bei Wasserleitungen 473.
Winkel und seine Arten 8, Winkelhaken 9.
Winkelhebel 485.
Wirkung einer lebendigen Kraft 56, einer Kraft auf die Entfernung 57, Gesetz dafür 87.
Witterung aus Barometerbeobachtungen 215.
Wurfen 351, 421.
Würfel, falsche 141.
Würtembergischer oder Schenkelheber 298.

Zählwerke 549.
Zangen 489.
Zapfenlage 122, Zapfenreibung 451.
Zaubertrichter 292.
Zehren des Weines 34.
Zeigerwage 163.
Zeitmaß 42, Zeitmesser, Chronometer, Uhren 43.
Zelle 30, 90.
Zenith 127.
Zentralbewegung, freie 359, 380.
Zentrifugalfahrbahn 349.
Zentrifugaltrocknenmaschine 352.
Zentrifugalwassermaschine 350.
Zentrifugalmaschine 382.
Zentripetalkraft 347, 380.
Zerbrechen, Zerdrehen, Zerdrücken, Zerreißen 100, der Eisenbahnzüge 70.
Zerlegung der Kräfte 64, der Körper 85.
Ziehbrnnnen 439.
Ziehen der Thiere 67.
Zirknitzer See 301.
Zoologie 21.
Zündmaschine 88.
Zusammensetzung von Kräften 59, von Körpern 84, 112.
Zusammenziehung des Wasser-, des Luftstrahles 374.
Zylinder 14, Zylindergebläse 234, Zylinderlibelle 168.

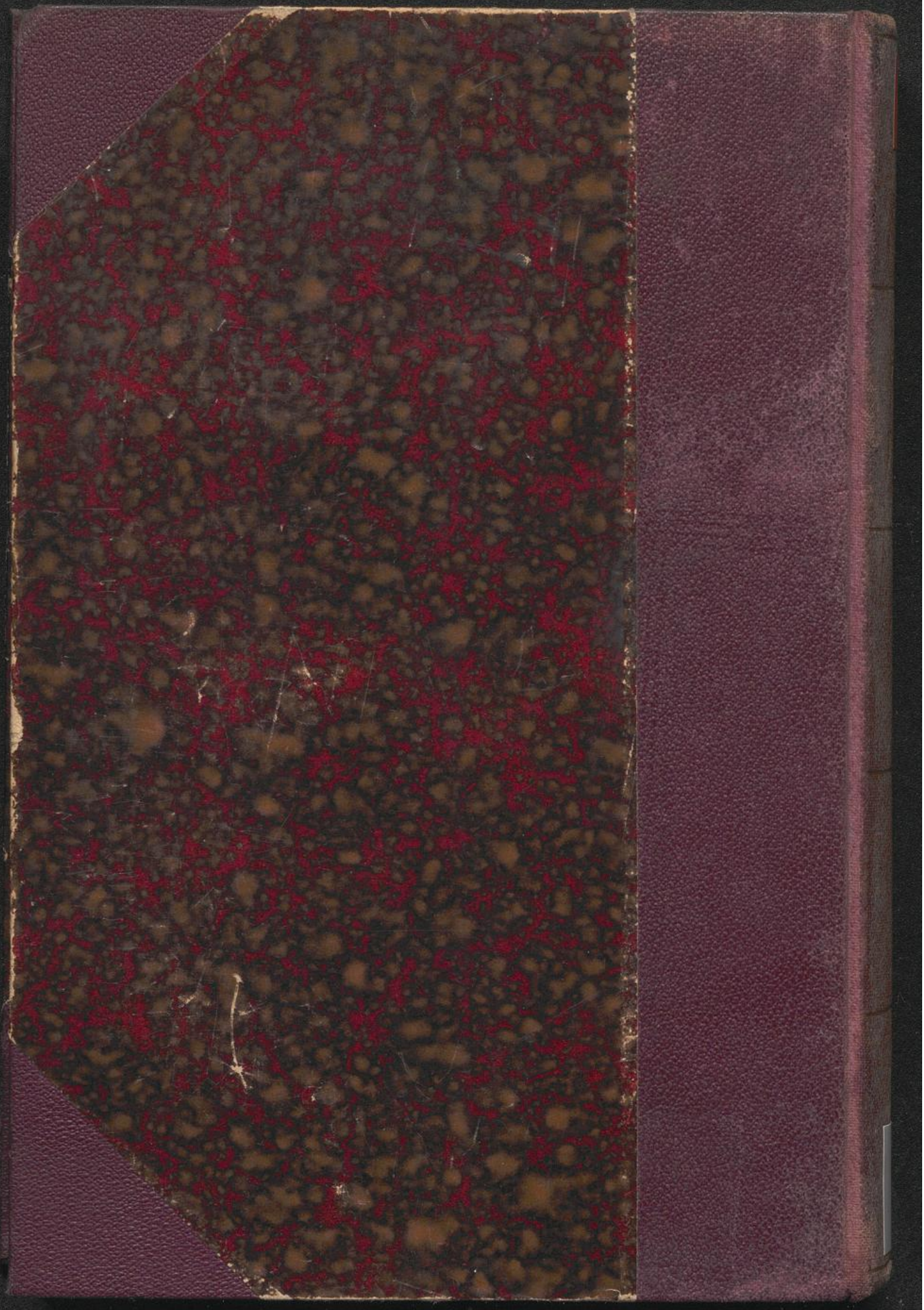


Gedruckt bei W. Moeser in Berlin, Stallschreiberstraße 34.

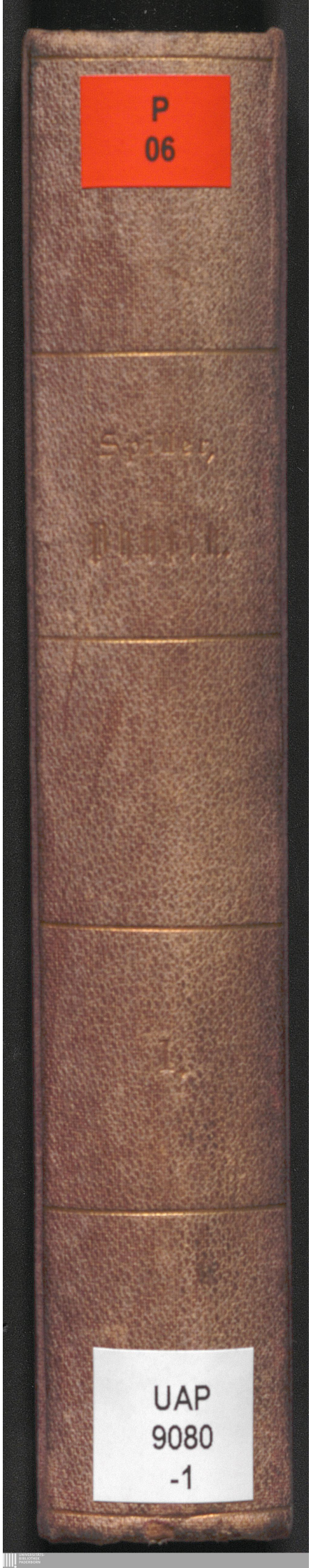
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

250,-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN


P
06
UAP
9080
-1