



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

Spiller, Philipp

Berlin, 1865

Sechste Abtheilung. Von den Werkzeugen und Maschinen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-75469](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-75469)

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 sämtlichen Maschinen jetzt vollführte Arbeit hat schon die von sämtlichen 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 Vorthelle 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 Ase 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 Ase 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 dasselbst 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 ansaßt. Ebenso wenn man mittelst einer straffen, also graden Schnur zieht, ob man sie kurz oder lang ansaßt.

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 zweiarmer und dabei entweder ein gleicharmer oder ein ungleicharmer, 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.

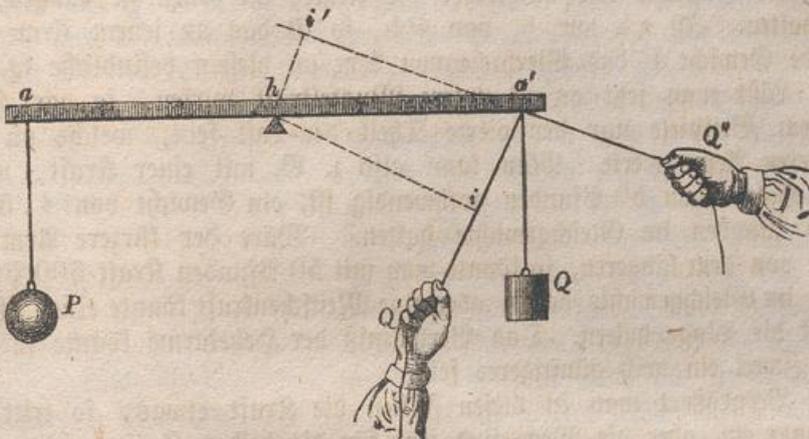
Bei allen Hebeln wirken die Kräfte nur dann vollständig und ungeschwächt, wenn die Richtung, in welcher sie wirken, auf den Hebelarmen lothrecht steht; in allen übrigen Fällen geht von den Kräften verloren und man kann den zur Wirkung kommenden Antheil von ihnen nur durch das Parallelogramm der Kräfte 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 Brückewage 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 entgegensezt, 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. Sene 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

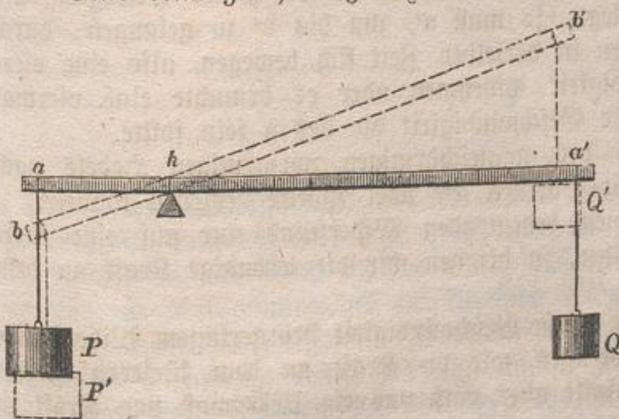


(Fig. 208.)

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 hi , welche kürzer als ha' ist, als Hebelarm anzusehen; zöge man endlich bei a' von Q'' aus in der Richtung $Q''i'$, so ist die von h darauf lothrechte hi' , welche noch kürzer als hi 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



(Fig. 209.)

find die Wege einander gleich, und da sie dieselben in derselben Zeit zurücklegen, so besitzen sie auch gleiche Geschwindigkeiten.

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 $4 \cdot 50 = 200$ 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.

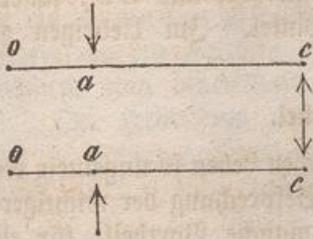
Wenn man demnach beim ungleicharmigen Hebel dann an Kraft, z. B. an Muskelkraft spart, wenn man sie an dem längeren Arme anbringt, so muß man einen der Kräftersparniß verhältnißmäßigen Aufwand an Zeit für eine gewisse Geschwindigkeit oder an Raum für eine gewisse Zeit sich gefallen lassen. Während a 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.

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.

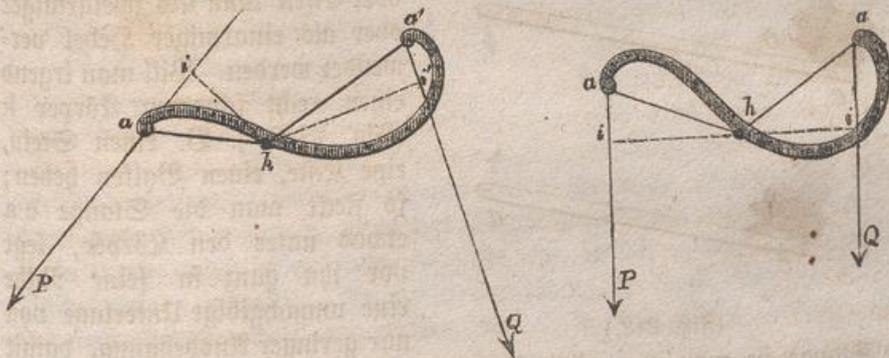


(Fig. 210.)

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. —

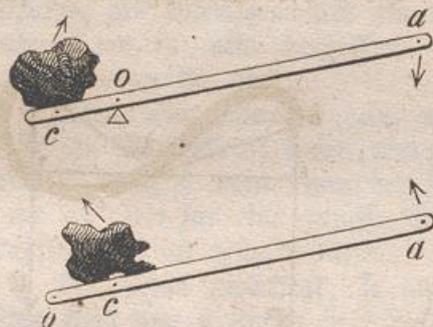
Wirken die Kräfte nicht lothrecht nach dem Horizonte, sondern unter irgend einem anderen Winkel, so bleibt die Bestimmung der Hebelarme und der Lothrechten auf die Richtungslinie der beiden Kräfte zwar dieselbe, aber hier bilden nicht blos die Hebelarme $h a$ und $h a'$, sondern auch diese Lothrechten $h i$ 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 duldet, daß der Druck auf das noch vorhandene Gas ein anderer werde, weil das angehängte Gewicht während des Sinkens dem Drehungspunkte des Hebels immer näher kam. Es ist dies ein zweiarmer 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.



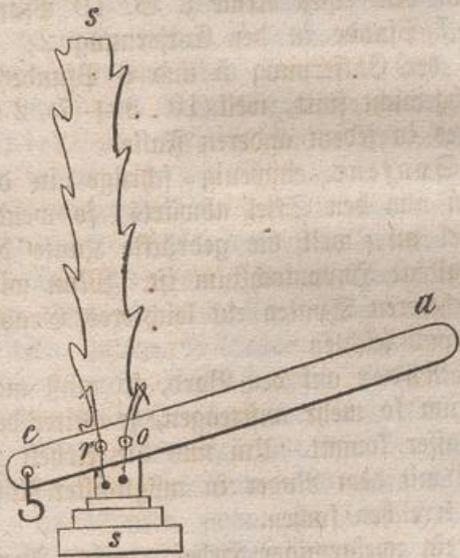
(Fig. 212.)

die Stange sie nur in wenigen Punkten berühre und drückt nun am anderen Ende e der Stange abwärts. Hier ist also die Stange ein zweiarmer 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 Bedingungen für die Kräftersparung sind dieselben. Dieser Hebel ist ein einarmiger.

Eine bloße Stange aus Holz oder Eisen kann als zweiarmer 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 ca etwas unter den Körper, legt vor ihn ganz in seine Nähe eine unnachgebige Unterlage von nur geringer Ausdehnung, damit

Die Hebelade ist wesentlich der erste von diesen Hebeln, nur daß sie stets für bestimmte Zwecke verwendet wird, wie z. B. um die Ase 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 eingehaft 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.)

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 in eine stumpfe Kante ausläuft, 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

Zu diesem Zwecke ist die Hebelade mit gezahnter Stange (Fig. 213) geeignet. ss 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 ca mit einem Ausschnitte, in welchen ss 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

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 Entfernung 5 und 6 Pfunde in der Entfernung 4, so fände Gleichgewicht statt, weil $10 \cdot 3 + 7 \cdot 2 = 4 \cdot 5 + 6 \cdot 4 = 44$ 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 kurzstielligen und leichten.

Legt man beim Schiffe 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 Steuer- manns, 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 unterstüzt, 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 zerschneidenden 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 Zange einen am Kopfe gefaßten Nagel aus, indem man den einen Theil derselben in der Nähe des Drehpunktes auf eine feste Unterlage stüzt, 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 Blasinstrumente, die Klaves der Klaviere, die Schaukelbretter, erwähnt werden; aber die gegebenen Erläuterungen sind wohl auch für die anderen Fälle hinreichend.

Zu den ehnarmigen Hebeln gehören die Schub- und Schiebkarren. 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 bloß 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 Querkölzer 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 Rahnes 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.

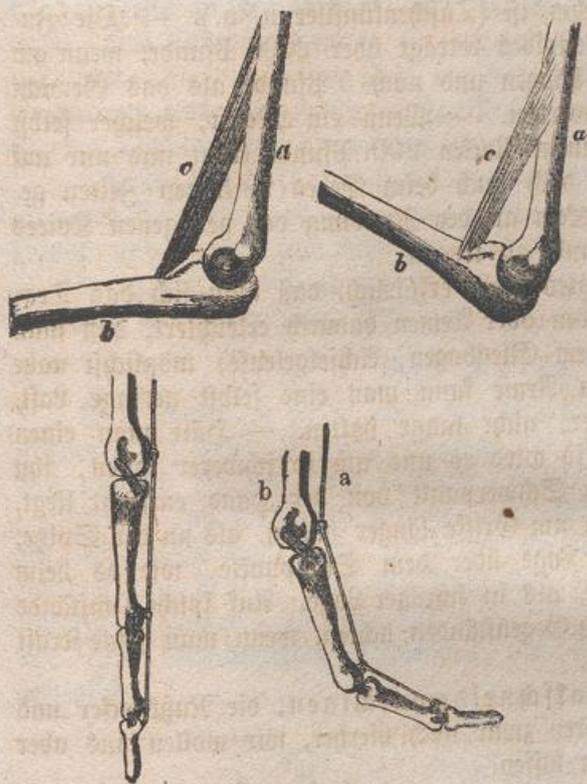
Aehnlich ist es bei der Würffschaufel, d. h. einer Schaufel, mit welcher man einen Gegenstand, Getreidekörner, Sand, Erdboden u. s. w. wirft. Der Angriffspunkt der in der einen Hand liegenden Kraft ist dem Drehungspunkte, welcher sich in der anderen Hand befindet, näher, als die Last oder der zu werfende Körper.

Die Schaffscheeren 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 Gelenkknöchel 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.)

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.

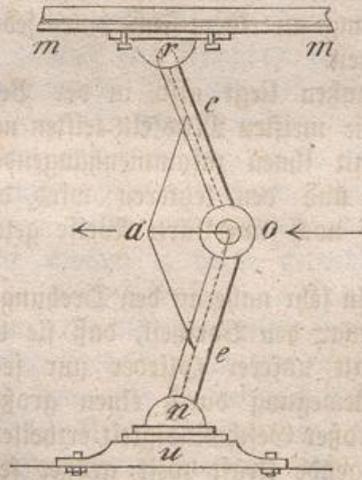
Der Umstand, daß die thätigen Muskeln sehr nahe an den Drehungspunkten der Knochen befestigt sind, bietet zwar den Vortheil, daß sie bei ihrer unbedeutenden Verkürzung die Gestalt unserer Glieder nur sehr wenig verändern und ihnen dabei eine Bewegung durch einen großen Raum und, wenn erforderlich, auch 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

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

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 Knies gegen $6 \cdot 320 = 1920$ 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 lothrechtlicher 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 Nußnacker und viele andere Werkzeuge gehören zwar noch hierher, wir wollen uns aber an den angeführten genügen lassen.



(Fig. 215.)

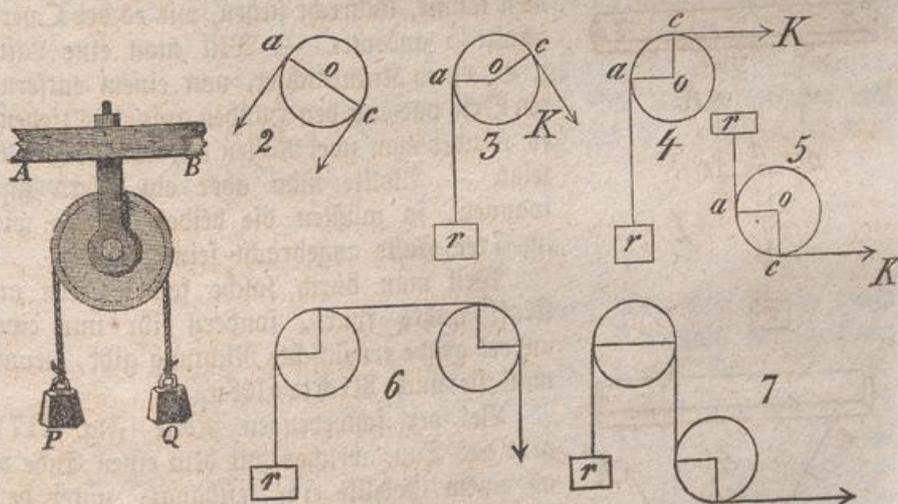
zu den Winkelhebeln gehört die Kniepresse oder das Knie Fig. 215, welche auch als Siegel- und Prägepresse verwendet wird. *or* und *on* sind zwei bei *o*, *r* und *n* drehbare Metallstangen, die Stange *or* stemmt sich bei *r* gegen die feste Wand *m m*, die Stange *on* gegen einen auf der festen Unterlage *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 *on* gegen den Stempel drückt. Die Kraft *o a* kann zerlegt werden in die beiden Seitenkräfte *oe* und *oc*, 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 mehreren 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 Ase und ist sie um ihren Umfang zwischen den Begrenzungskreisen 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 Ase auf einer festen Unterlage drehbar, so heißt sie eine feste; hat sie aber sammt ihrer Ase eine fortschreitende Bewegung, so heißt sie schwebend oder beweglich.



(Fig. 216.)

Wenn Fig. 216 bei der festen Rolle, deren Ase mittelst einer Gabel an einem festen Gehäll $A B$ hängt (1), an den beiden Schnurenden 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.

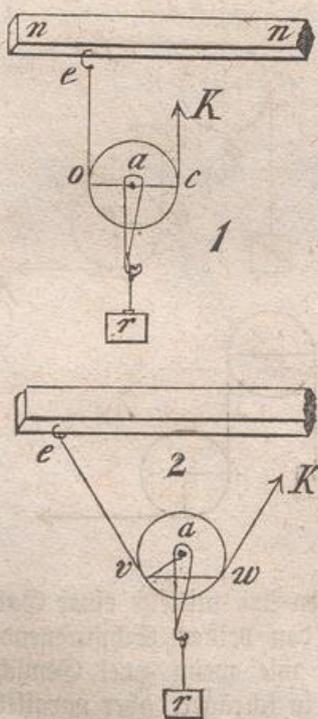
Sind die Schnurenthteile nicht parallel (3), so bilden die Hebelarme, welches stets Radien sind, einen Winkel und die Rolle ist ein Winkelhebel; aber auch hier wirken die Kräfte auf sie lothrecht, so daß auch jetzt nur gleiche Kräfte einander das Gleichgewicht halten und somit nichts an Muskelkraft gespart, 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 Vertlichkeit 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 Ase 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 Ase 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.

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 nn 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 Ase 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-



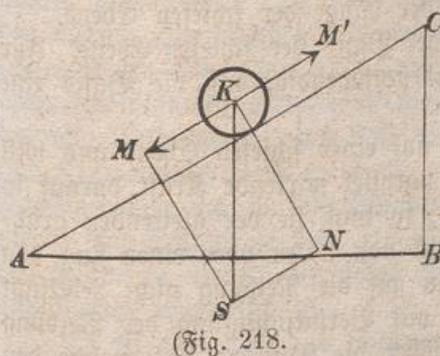
(Fig. 217.)

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 Taus 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 Taus 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 Tauthteile um 1 Fuß verkürzt und von K hinauf gezogen werden. — Statt das freie Ende des Taus 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 Taus 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 KS ausgedrückt sein mag, so werden wir zur Bestimmung der Größe der drückenden und gleitenden Kraft diese KS , welche auf die Ebene AC schief wirkt, in zwei Seitenkräfte KN und KM auflösen müssen, von denen die eine KN lothrecht auf die schiefe Ebene wirkt und, sie drückend, durch deren Widerstand aufgehoben wird, die andere KM 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 gesehen kann.

Je steiler die Ebene AC , 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 Triebädern 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 Chausséen eine Neigung von höchstens nur $4^{\circ} 46'$ 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 $2^{\circ} 18'$ sein, wenn es ohne übertriebene Anstrengung den Wagen hinaufziehen soll, wobei die Reibung $\frac{1}{10}$ 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 $\frac{1}{10}$ der Last rechnet, so ist die noch wirksame respektive Kraft immer noch zu groß. Nimmt man das Gewicht eines vier-spännigen 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° ($90^\circ - 53^\circ$) 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 $\frac{1}{3}$ 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 Taus 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 zusammengefügt starken Stangen besteht, um die Lasten mit Kräftersparniß 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 Taus 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 Worsten in England gegrabenen Steinkohlen bis an den Fluß Mersey 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 $2\frac{1}{2}$ Minuten zurücklegen. In die Rinne lief von vielen Seiten stets Wasser, um Feuergefahr zu vermeiden.

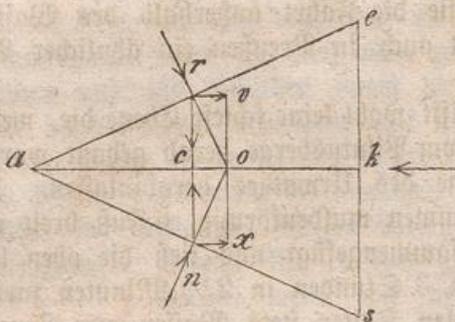
Wenn man mit Anwendung einer schiefen Ebene eine Last hinauf oder herab schaffen will, so verhält sich zwar die Kraft zur Last nur wie die Höhe zur Länge der Ebene und man spart somit an Kraft, aber diese Krasterparnis wird erkauft durch einen verhältnißmäßig ebenso großen Aufwand an Weg oder an Geschwindigkeit 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 $k : 120 \text{ Pfunde} = 3 : 5$, im zweiten Falle $k : 120 \text{ Pfunde} = 3 : 4$). Obwohl also die Krasterparnis 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 Treffungsline 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 ka 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 ro und no schief gegen die ak . 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 ak , die andere mit ihr parallel wirkt. Sind ro und no die Maße der gleichen Widerstände, so ist der erste aufgelöst in rc und cv , der zweite in nc und nx . Die beiden Seitenkräfte rc und nc wirken einander gradlinig entgegen und sind gleich, heben also einander auf, und es bleiben nur noch die beiden anderen Seitenkräfte rv und nx , welche der co 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 cor stehen co und or genau in demselben Verhältnisse, wie ke und ea von dem Dreiseite kea , 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 zugebotenen 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 ruhet; 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 Hinaufreiben 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 Schläge 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.

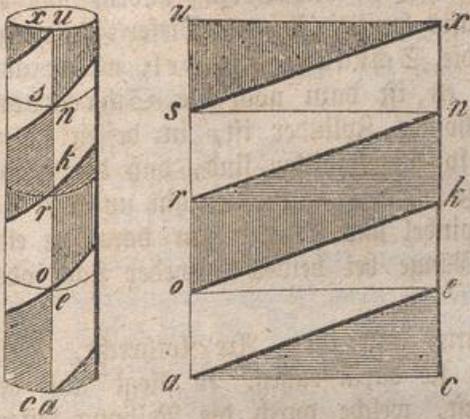
Wendet man zum Schlagen Hämmer an, welche bedeutend schwerer sind, z. B. 10 bis 12 Pfunde und noch schwerer, so läßt sich leicht entnehmen, daß man durch Keile ungemein große Erfolge zu erreichen im Stande ist, z. B. bedeutende Schiffe u. a. zu heben.

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. Schellärte 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 Bogenauschnitte 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 Strebe- Pfeiler bei dem flachen Gewölbe geringer, als bei den steilen. Die Berechnung des Druckes unterliegt keinen anderen als den oben angeführten Gesetzen.

Die Schraube.

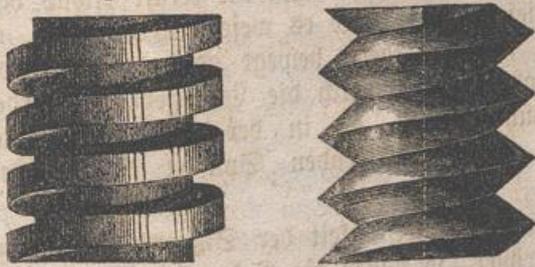
Um von der Entstehung der Schraube, dieses in der Praxis so häufig vorkommenden, äußerst wirksamen und sonst noch wichtigen Instrumentes, einen möglichst klaren Begriff zu bekommen, wollen wir uns einen graden Zylinder aus irgend einem festen Körper, z. B. Holz oder Metall denken und außerdem ein rechtwinkliges Dreieck 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 Dreieck 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 Dreieck, 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.)

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.



(Fig. 221.)

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

erscheinen. Nun nimmt man ein drittes Dreieck 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 Dreieckes, also durch ce , angegeben wird, heißt die Höhe eines Schraubenganges.

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 ausgeschchnittene 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 eingeschritten 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 Aze 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 Krasterparniß 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 Ase zwei oder mehre Stäbe als Hebelarme durch sie und wenn die Mutter gedreht wird, versteht man sie mit zwei verlängerten Griffen, welches auch die Arme von einarmigen Hebeln sind, deren Drehungspunkt in der Ase 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 $\frac{1}{2}$ Fuß, der an der Spindel angebrachte Hebelarm aber 10 Fuß, folglich der ganze von seinem Endpunkte beschriebene Kreisumfang $10 \cdot 2 \cdot 3,1415 = 62,83$ 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 Sitago 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 beschreift, dessen Radius die Entfernung ihres Angriffspunktes von der Ase 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 Schranbe 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 Müttern 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. Gesezt, 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 (mittelfst Nonius) eingetheilte Kreis Scheibe 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 ebensovioleten Theil der Höhe eines Schraubenganges, d. i. um $\frac{1}{360}$ 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 bloß 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 Gesamtwiderstand 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 n -fache 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 n -fache 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 Schraubensflächen 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-, Del-, Kopr-, 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 (Messfische, 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 Ase 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 Ase der Schraube eine Kurbel, deren Radius R heißen mag, und an der Ase 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 $\frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} : 6,283 \cdot 3 \cdot 1$ 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.

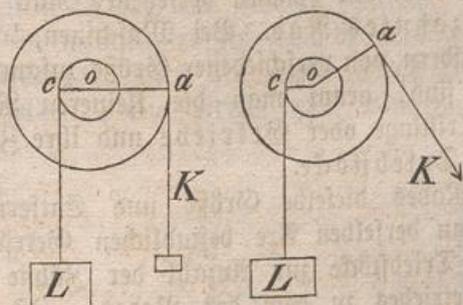
Wir haben fünf Werkzeuge kennen gelernt, nämlich den Hebel, die Rolle, die schiefe Ebene, den Keil und die Schraube. Aus den angeführten Darstellungen ergibt sich aber, daß wir dieselben ihrer Wirksamkeit nach auf nur zwei: den Hebel und die schiefe Ebene zurückführen

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 bloß 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 übertragen 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



(Fig. 222.)

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.

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

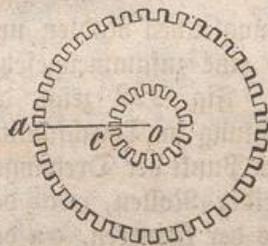
Rolle sich befindet, wie der Radius oc der kleineren zum Radius oa der größeren Rolle.

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



(Fig. 223.)

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 Triebstücke.

Wenn die Zähne eines Rades dieselbe Größe und Entfernung haben wie die Triebstücke des an derselben Ase befindlichen Getriebes, so verhält sich die Anzahl der Triebstücke 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 Triebstücken 100 Zähne, und wenn sich beide gleichzeitig um ihre Ase drehen, so gehen an einem gewissen Punkte 10mal mehr Zähne, als Triebstücke vorüber.

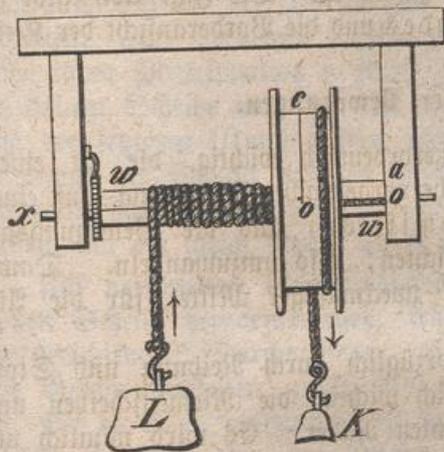
Die beiden an den Zähnen (und Triebstücken) angreifenden Kräfte verhalten sich wie umgekehrt die Anzahl der Zähne beider Räder, ihre Geschwindigkeiten aber grade so.

Das Wellrad.

Man kann sich bei einer zusammengesetzten Rolle die kleinere Rolle zu einem Zylinder oder einer Walze erweitern und statt der größeren

Kolle ein Rad an derselben Ase 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 zusammengefügten Kolle zurückzuführen. Ist in Fig. 224 ww die Welle, oa ihr



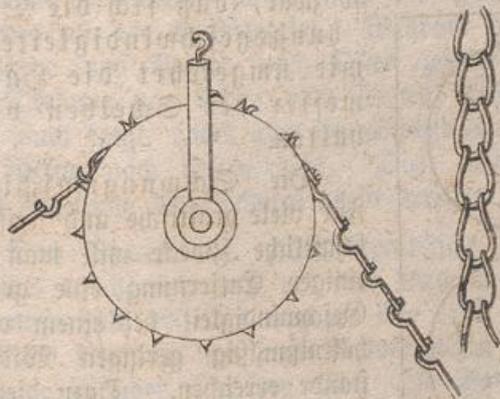
(Fig. 224.)

Radius, ox ihre Ase 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 Umfang des Rades z. B. bei c, vielleicht auch mittelst eines Seiles eine Kraft K; so verhält sich $K : L = oa : oc$, d. h.:

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 Ase 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 notwendig, daß die halbe Dicke des Seiles oder

Taus 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.

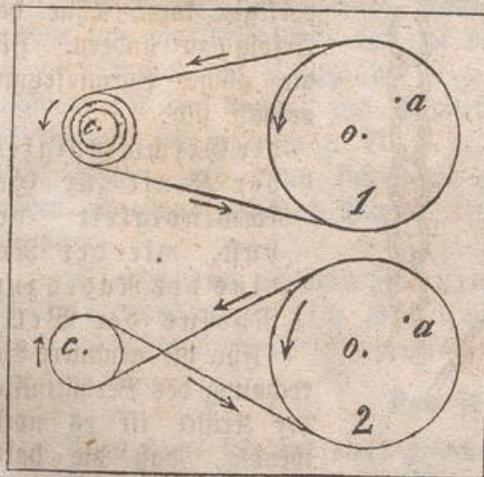
Uebertragung der Bewegungen.

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 Friktrionsrollen, 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.

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 Schnurläusen und sehr ungleichen Durchmessern, welche um eine durch ihren



(Fig. 226.)

Mittelpunkt gehende Ase 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.

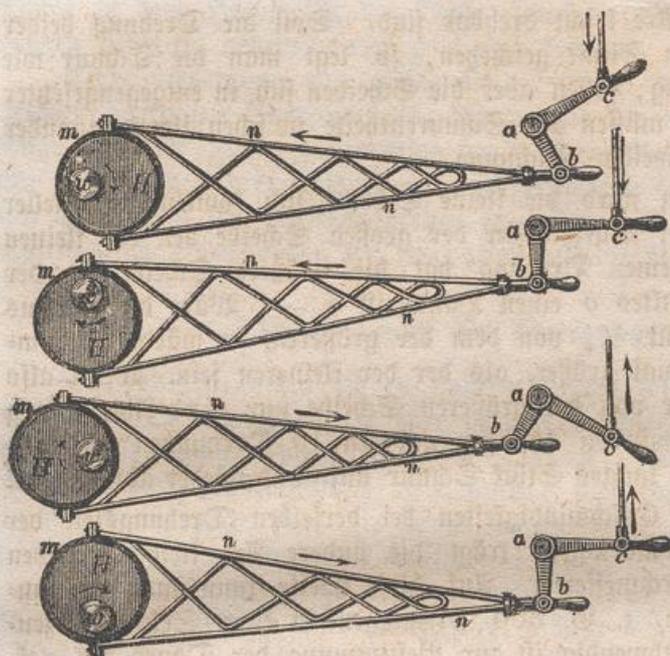
In beiden Fällen wird die kleine Scheibe sich sovielmals schneller drehen, wievielmals der Durchmesser der großen Scheibe den der kleinen übertrifft. Zur bequemen Drehung hat die größere Scheibe in der Nähe ihres Mittelpunktes o einen Handgriff a. — Wäre der Radius der kleinen Scheibe nur $\frac{1}{10}$ 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 Abwicklung 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 Ase 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, Drehseln, 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 Azenbewegung 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 Ase dreht und statt mit einem Taus 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.

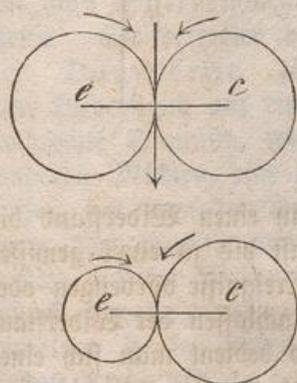
Gehen wir von der Stellung I. aus, so hat der Mittelpunkt des H die größte Entfernung nach rechts von dem feststehenden Mittelpunkte der Welle w , also liegt auch b am weitesten nach rechts und c am weitesten nach oben. Beginnt die Drehung der Welle und somit auch der Scheibe in der Richtung des Pfeiles 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.

Friktions-scheiben.



(Fig. 228.)

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 nachgiebigen 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.

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 Radlen angebracht und dann heißen die Räder Stern- oder Stirnräder (1) oder sie stehen seitwärts am Radkranze lothrecht auf der Radfläche und 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, wosfern 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 weggeschleifte.



(Fig. 230.)

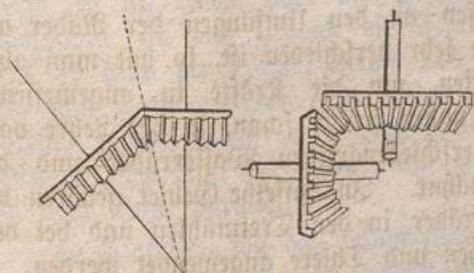
in der horizontalen Ase den Drehungspunkt des Pendels *ca* und zugleich den des daran befestigten Doppelhakens. Jenachdem das Pendel nach rechts oder links schlägt, greift der Haken *r* vor einen Zahn ein oder läßt ihn los, um den Haken *n* beziehungsweise frei zu erhalten oder eingreifen zu lassen.

In gewissen Fällen hat man Wellen, auf deren Oberfläche der Länge nach, also parallel mit ihrer Ase 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 Del-, 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 abgefürzter Kegels, oder konische Wellen oder konische Räder an. Es sind bei ihnen



(Fig. 231.)

sondern müssen mäßig abgerundet sein und die Zwischenräume für die Aufnahme der Zähne müssen eine angemessene Form und Weite besitzen, damit bei dem Sineinandergreifen der Zähne zweier Räder möglichst

(Fig. 231) in den Mantel eines kurzen abgefürzten Kegels wie bei den kanelirten Walzen streifenförmige Erhabenheiten und entsprechende Vertiefungen vorhanden, deren Verlängerungen in der Spitze des vollständig gedachten Kegels zusammentreffen würden.

Die Zähne der Räder dürfen niemals scharfe Kanten haben,

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 Schläge 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 andern 80; dreht sich das erste einmal um seine Ase, so schleben seine Zähne nur 8 Zähne vom zweiten vorwärts, so daß es sich nur um $\frac{1}{10}$ 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 anzugreifen zu lassen. Wir haben früher schon, in der Lehre vom Stöße, die hierher gehörigen verschiedenartigen Wasserräder und die Flügelräder 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 Nuzerfolg 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 $7\frac{1}{2}$ 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, $7^{\circ} 40'$ sein. Bei einem Menschen von 125 Pfunden Gewicht und 25 Pfunden mittlerer Kraft müßte jener Winkel gegen $11\frac{1}{2}^{\circ}$ sein.

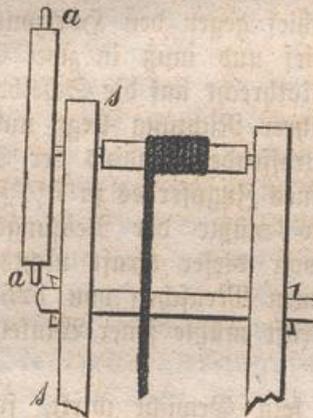
Wenn ein Pferd nicht blos durch sein Gewicht wirkt, sondern, indem es an einem über der Scheibe befindlichen feststehenden Balken angespannt ist und ziehend die Scheibe unter seinen Füßen rückwärts stößt, so kann der Winkel kleiner und die Scheibe selbst horizontal sein, ohne daß Kraft verloren geht. 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.

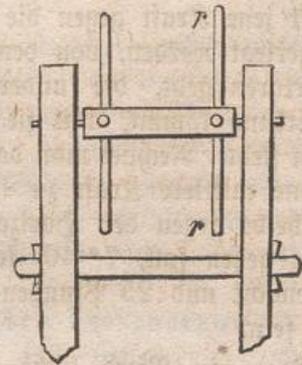
Die Räder zu Maschinen können entweder massive Scheiben oder durchbrochene mit einem Radfranze oder bloße Speichenräder sein, so daß die Kräfte am Ende der Speichen angreifen.

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, Schächten 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.)



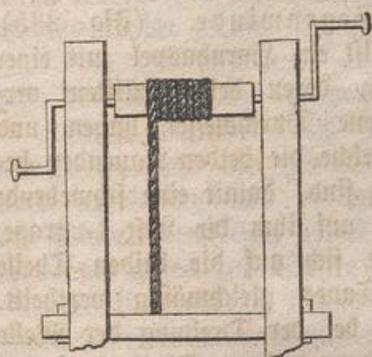
(Fig. 233.)

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.)

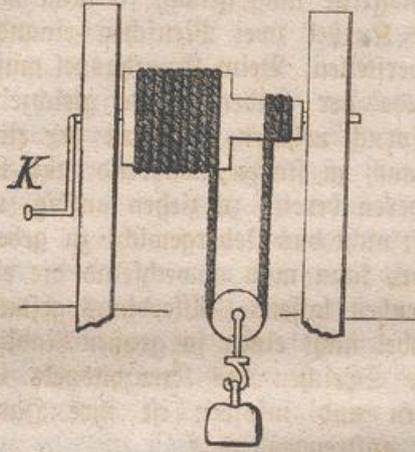
Windet man eine Last aus sehr bedeutenden Tiefen, so muß außer ihrem Gewichte noch das des abgewickelten Theiles des Taus in Rechnung kommen. Geht beim Heraufwinden gleichzeitig ein leeres Gefäß abwärts, indem es an einem umgekehrt gewundenen Seile hängt; so wird dadurch die anzuwendende Kraft um so 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 Taus 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 sogenannten Schleppehund anhängt.

Wendet man statt der Taus Ketten an, so gewähren sie den Vortheil, daß sie nicht überall gleich dick gemacht zu werden brauchen, son-

bern 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 Taus gleichmäßig vertheilt. Weil bei der Drehung der Welle von dem dickeren Theile derselben ein längeres Stück des Taus abgewickelt wird, als von dem dünneren, so ist jener, wenn auch ursprünglich gleiche Stücke auf beide

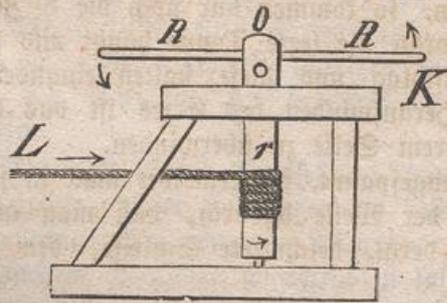
Theile aufgewickelt werden, eher entblößt als dieser und das Tau muß bei der weiter fortgesetzten Drehung sich auf den dickeren Theil wieder aufwickeln, während es von dem dünneren sich abwickelt. Auf diese Weise geht die Last L bei fortgesetzter Drehung wiederholt auf und ab.

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.



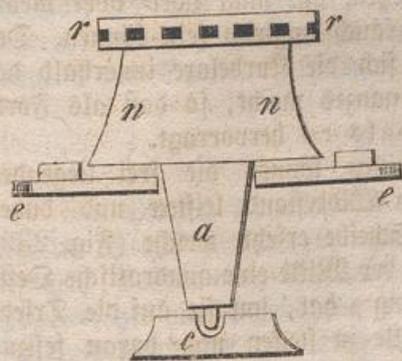
(Fig. 236.)

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 verseybare 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 Ase 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 besondern 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.



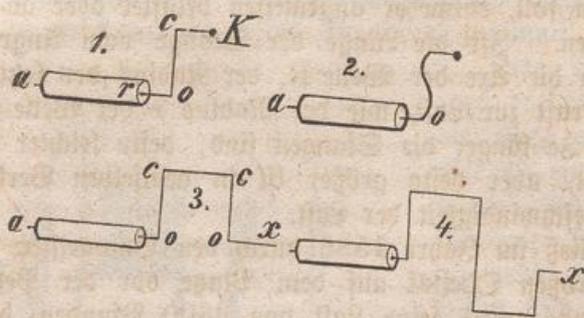
(Fig. 237.)

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 e 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 Schiffstau 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.

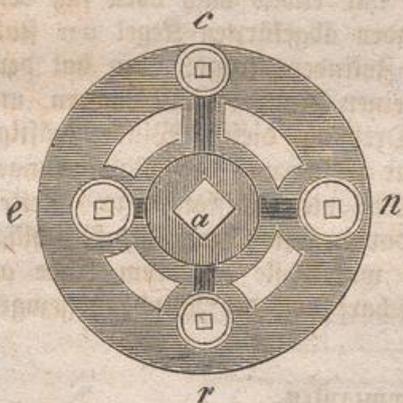
Zu den Speichenrädern gehört auch die Kurbel und der Krummzapfen, welche wesentlich dasselbe sind. Wenn am Ende der etwas verlängerten Ase oa (Fig. 238) einer Welle lothrecht eine Speiche oc aufgesetzt ist, welche auch gebogen sein kann und Arm heißt, und an dem Ende c der letzteren ein Griff als Anhaltspunkt für eine Kraft K sich befindet; so ist dies eine einfache Kurbel, wie sie z. B. bei Dreh-



(Fig. 238.)

zur Sicherung der Lage der Ase ein Stützpunkt x (3) für die Verlängerung der Ase gewonnen werden; so wendet man eine gekröpfte Kurbel an, bei welcher ox die Verlängerung der Ase oa , oc der Hebelarm und der Griff cc zwischen zwei Speichen oc befindlich ist. Um durch dieselbe Welle bei hinreichendem Vorrathe an Kraft mehrer 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)



(Fig. 239.)

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

orgeln, Kaffeemühlen, Elektrifiziermaschinen, Schleifsteinen fest angebracht ist. Eine Kurbel ist also ein Hebel mit Handhabe zur Umdrehung von Wellen ohne oder mit Rädern.

Sollen an einer Kurbel mehrer Angriffspunkte sein oder, wie bei manchen Bohrern,

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.

Befindet sich an dem Griffe einer Kurbel oder an der Warze

hergehende Bewegung mittelst eines außerhalb der Nabe (also excentrisch) 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 Kreisumfangs 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 Maschinetheile 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 nachgiebigen Boden durch einzelne Stöße zu schlagen und sie darin zufolge der Reibung zu befestigen, wendet man Rammen an. Die Handrammen, deren sich die Pflasterseker 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 Laufrolle 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-

nerer Seile mit Handgriffen zum Festhalten beim Ziehen gebunden. Wenn 12 Arbeiter angestellt sind, so geht $\frac{1}{4}$ 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. Indes 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 Rammflozes meist 10 Arbeiter.

Bei den Kunststrammen wird das Seil entweder um eine horizontale Walze gewunden, welche man durch Haspeln um ihre Ase 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 Ase 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 Kraftersparniß 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. — Dampfstrammen.

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 Moria 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 unterschlächige Wasserräder sind, hängen am Radfranze seitwärts vierkantige Kästen 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 erfäßt.

In Holland und in anderen Niederungen treiben Windmühlen solche Räder, durch welche man nicht bloß 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 Aufwicklung 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 Ausgufschnabel 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 Ase der Welle liegt und die Kräfte an den Umsängen 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 mittelfte mit den beiden anderen, durch feste unnachgibige Körper verbunden sind, in denen wir uns die graden Verbindungslinien denken können und da es gleichgültig 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 gültig.

Dritter Abschnitt.

Zusammengesetzte Maschinen.

Eine eigentliche Maschinenlehre oder die Mechanik in ihrer Anwendung auf das Maschinenwesen (technologische Mechanik) liegt außerhalb der Grenzen 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 Entfernungen zwei Riemenscheiben, um 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.

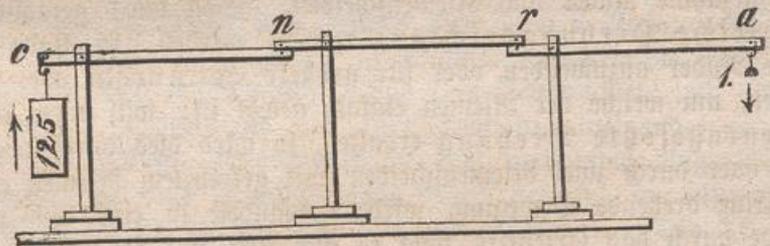
Eine hin- und hergehende Bewegung wird auch in eine drehende oder umgekehrt verwandelt durch einen Krummzapfen, eine exzentrische Scheibe, durch eine unrunde Scheibe, durch eine Kurbel mit Leitstange, wie z. B. vom Balancier einer Dampfmaschine an zu dem Schwungrad oder von dem Dampfzylinder der Lokomotive nach dem Triebgrade, 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 Berrichtungen 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.

Hebelssystem.

Durch eine wirksame Verbindung von zwei oder mehreren Hebeln zu einem Ganzen, d. h. durch ein Hebelssystem könnte man zwar recht bedeutende Kräftersparnisse erzielen, aber andererseits ist auch ein in demselben Verhältnisse größerer Aufwand von Weg zu machen. Wenn



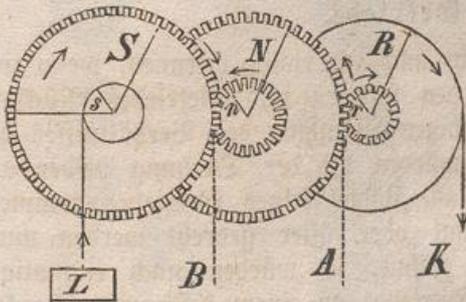
(Fig. 240.)

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.

Räder system.

Wenn die Ase eines jeden von zwei oder mehr gezahnten Rädern zugleich die Ase eines Getriebes ist und die Triebstöcke eines jeden vorhergehenden Getriebes in die Zähne des nächstfolgenden Rades eingreifen, so hat man ein einfaches Räder system, wie es Fig. 241 dar-



(Fig. 241.)

stellt. 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 Getriebes zu denen der Räder nicht bloß 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.

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.

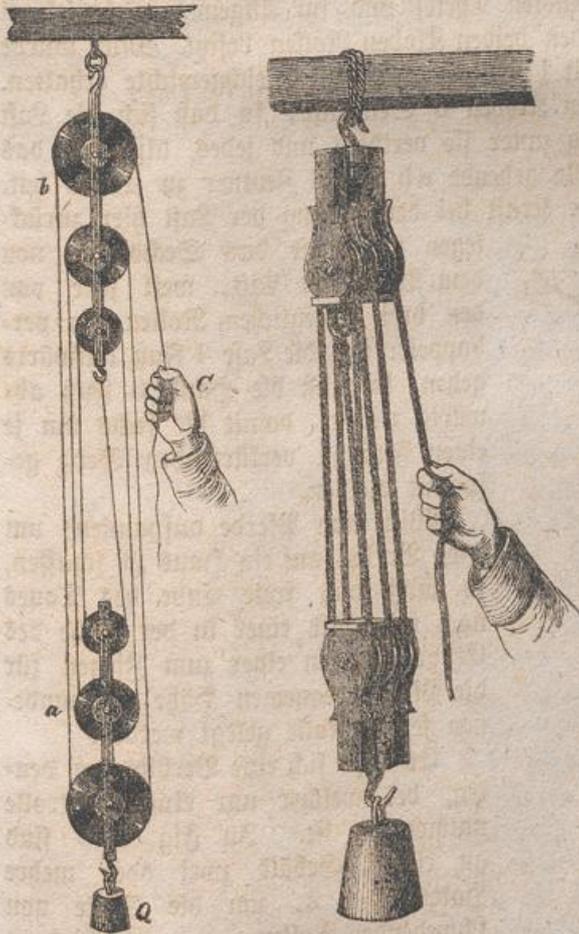
Wenn man ein Uebermaß von Kraft hat, so läßt sich durch eine solche Vorrichtung eine sehr große Geschwindigkeit erreichen; denn läßt man in dem angegebenen Falle die Kraft an der Welle des dritten Rades wirken, so wird an ihr die Geschwindigkeit 1 an dem Umfange des ersten Rades die Geschwindigkeit 1000 erzeugen. Wie für dieses Zahlenbeispiel, so für jedes andere.

Man könnte die obigen Gesetze auch so ausdrücken, daß die Pro-

dufte 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 $10 \cdot 20 \cdot 6 : 100 \cdot 80 \cdot 30 = 1 : 200$.

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 Sphene als vorzüglich geeignet werden kennen lernen.



(Fig. 242.)

Kollensystem.

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

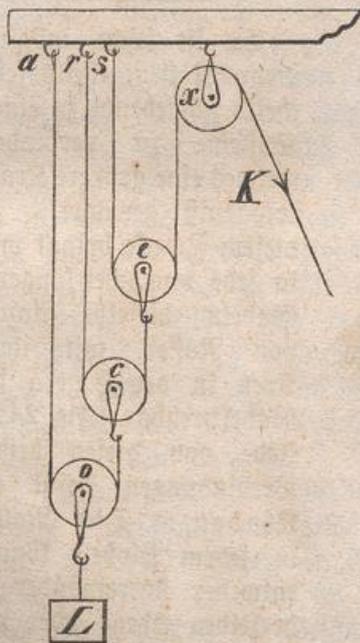
sind die Rollen nach dem einen Ende des Klobens hin von abnehmender Größe, damit die umzulegenden Tautheile aneinander sich nicht reiben. Den einen Kloben hängt man an ein festes Gebälk, an den andern kommt die Last Q . Das Tau beginnt von dem am oberen Kloben unten befindlichen Haken und geht abwechselnd unterhalb einer unteren und oberhalb einer oberen Rolle fort, wie es die Zeichnung anzeigt, 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 Krasterparniß 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 sovielman 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.

Will man Pferde anspannen, um etwa Balken auf ein Haus zu schaffen, so muß das freie Ende des Taus 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

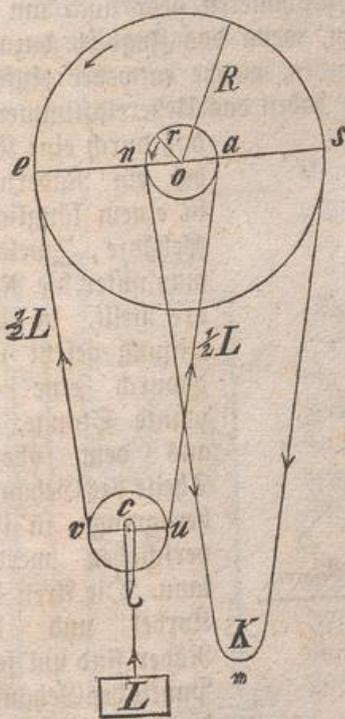


(Fig. 243.)

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 bloß wie 1 zu 3 mal 2, sondern wie 1 zu $2 \cdot 2 \cdot 2$, so daß man mit 1 Zentner Kraft nicht bloß 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 Kräftersparniß, 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 Ase o zwei Rollen mit den ungleichen Radien r und R parallel nebeneinander, unterhalb ist noch eine schwebende, an deren Ase 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 Taus gespannt 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 Taus 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 multipliziert:

$$K : L = (R - r) : 2R; \text{ also ist}$$

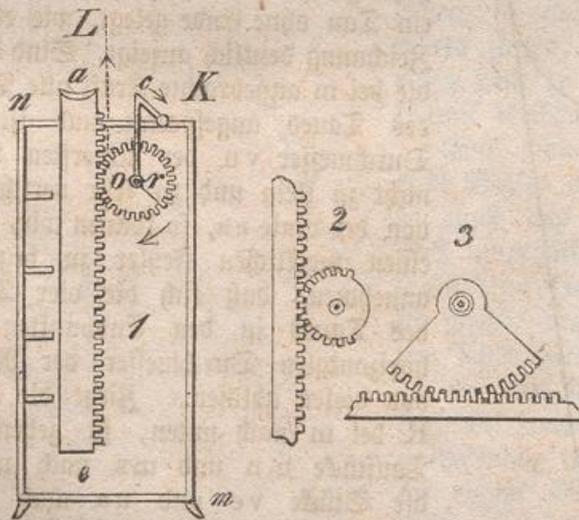
$$K = \frac{(R - r) \cdot L}{2R}.$$

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,



(Fig. 245.)

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-

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.

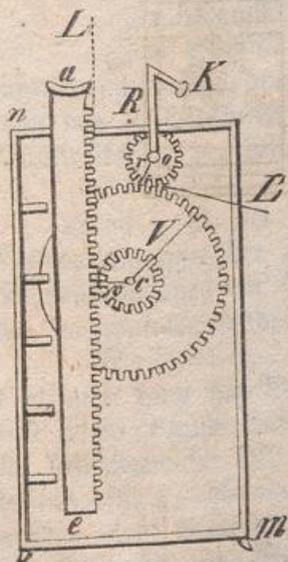
Will man, daß die Stange zufolge ihres Gewichtes vonselbst wieder zurückkomme, wenn sie die Last bis zu einer gewissen Höhe, wo sie festgehalten wird, gehoben hat, so müssen dem Rade eine gewisse Anzahl von Zähnen fehlen, wie es die zweite Zeichnung zeigt.

Soll die Stange eine hin- und hergehende Bewegung haben, so bedarf man von einem gezahnten Rade nur ein Bogenstück, wie es in der dritten Zeichnung angedeutet ist.

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 Ase ein Getriebe mit dem Radius r 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

$$K : L' = r : R, \text{ und dann} \\ L' : L = v : V,$$

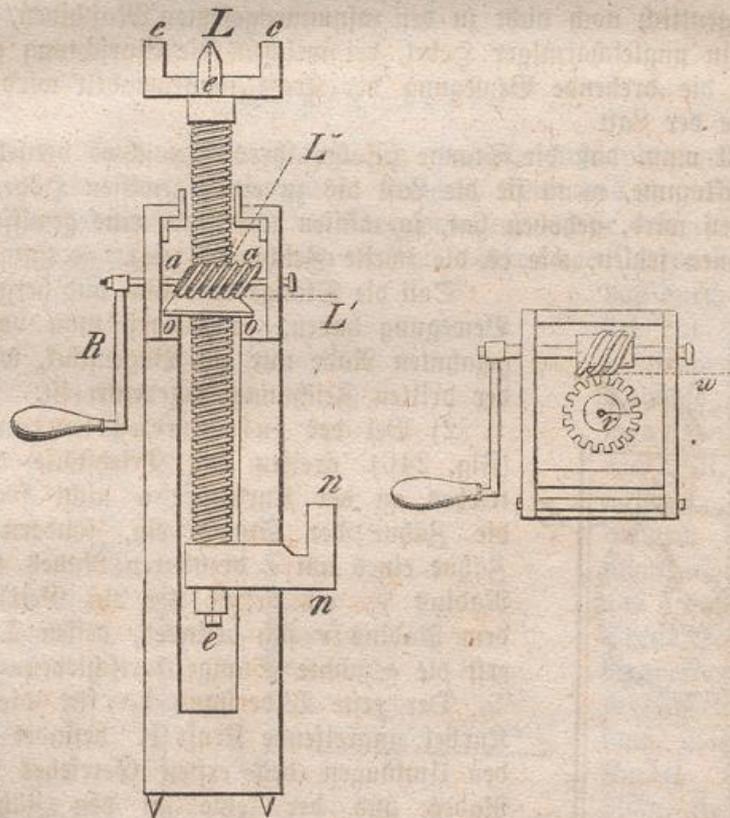


(Fig. 246)

also ist das Verhältniß der Kraft K zum Widerstande L zusammengesetzt aus den beiden Verhältnissen $v : V$ und $r : R$, ist also gleich $v \cdot r : V \cdot R$.

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 $3 \cdot 10$ 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 $\frac{1}{4}$ der Last. Nehmen wir sie nur zu $\frac{1}{4}$,



(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 Kegele auf einer festen Unterlage *oo* bewegt; der obere Rand des Kegeles 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 $6,283 \cdot R$ 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

$$h : 6,283 \cdot R,$$

$$r : s, \text{ und}$$

$$h' : 6,283 \cdot r$$

zusammengesetzt, was $h \cdot r \cdot h' : 6,283 \cdot R \cdot s \cdot 6,283 r$ oder, wenn man den in beiden Gliedern vorkommenden Factor *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 7 mal größer wird; denn sie findet statt bei beiden Schrauben, bei den Zapfen der Schraube ohne Ende und vorzüglich an der Schraubennutter, welche die ganze Last zu tragen hat.

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 Spizen, 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.

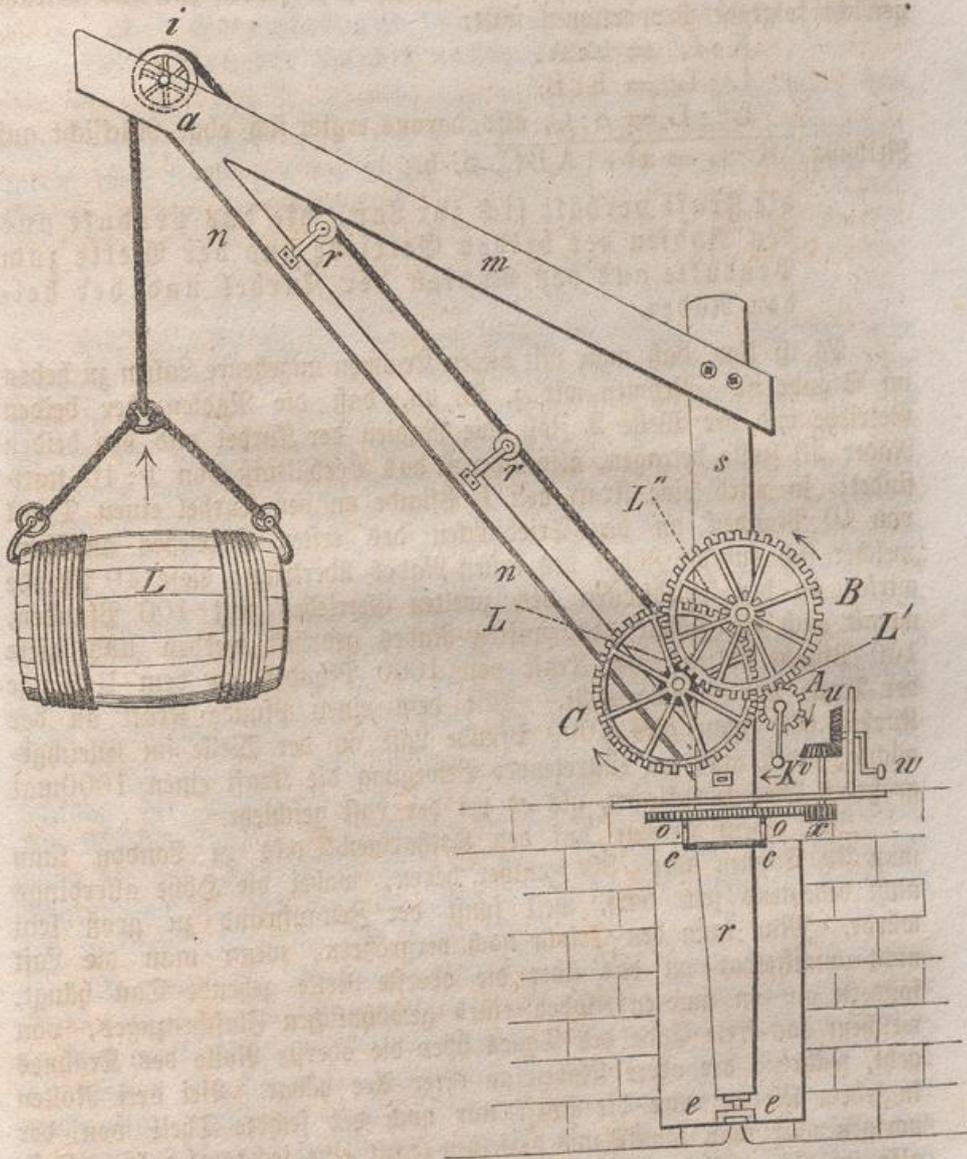
K r a h n e.

Die Krähne oder Krähnische 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 Aze 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 Aze des letzteren trägt das horizontale Rad *v* mit schiefen Zähnen, welche durch die schiefen Zähne von dem Rade *u*, an dessen Aze 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 Taus besteht. Die Triebstöcke der Kurbel greifen in die Zähne des vordern oder ersten Rades ein; hinter ihm an derselben Aze 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 Aze 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 Krasterparniß 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:

$$K : L' = a : A,$$

$$L' : L'' = b : B,$$

$$L'' : L = c : C, \text{ also daraus ergibt sich ohne Rücksicht auf}$$

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 Krähnen 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 Krähne 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 Taus über die oberste Rolle des Krähnes geht, während der obere Kloben an ihrer Axt 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 Krähne 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 Krähne, 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.

U h r e n.

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 gleichmäßiger 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).

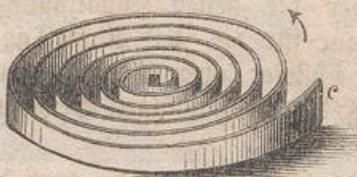
Je weiter die Menschheit vorwärts schritt, desto mehr trat das Bedürfnis einer sorgfältigen Unterabtheilung des Tages ein nicht nur zu den gewöhnlichen häuslichen, sondern auch und vorzüglich zu wissenschaftlichen Zwecken und gegenwärtig ist die Eintheilung der Zeit durch mechanische Werkzeuge oder Uhren 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 Pendeluhrn, letzteres bei den Taschenuhrn.

a) Für Pendeluhrn. 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 30 mal in die 30 Lücken der Zähne des Rades ein, wodurch dem Rade gestattet wird, in einer Minute eine ganze Drehung zu machen.

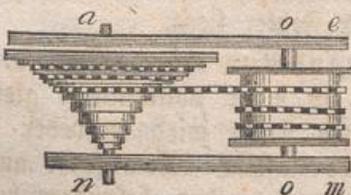
Das die Pendel der Thurm- und Wanduhrn bewegende Gewicht wird bei den Tischuhrn durch eine kräftige streifenförmige Stahlfeder



(Fig. 249.)

rückwärts zu gehen oder sich aufzudrehen, indem das bewegliche Ende zurückgeht, wenn man es losläßt.

Zu weiterem Gebrauche ist die Feder mit einem zylindrischen Gehäuse, dem Federhause, umgeben, durch dessen Mitte die feste Axe



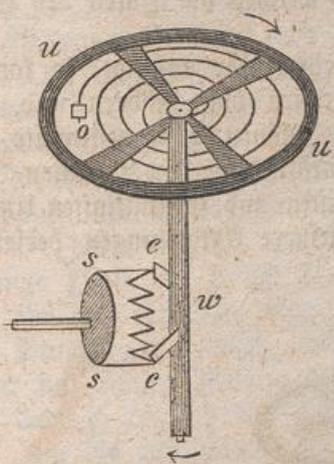
(Fig. 250.)

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.

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 Ase *u* v drehbaren Keil, die Schnecke, auf dessen Mantel schneckenförmig ein Gang für die Aufwicklung der Kette angebracht ist. Die Ase 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 Pendeluhrn 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



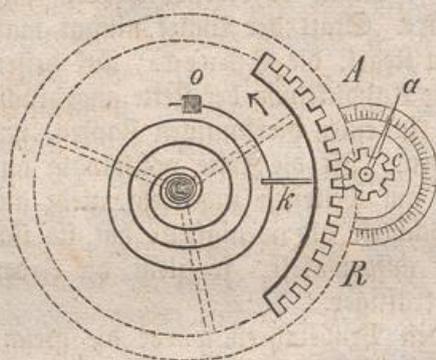
(Fig. 251.)

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 Ase 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 bloß 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.

Bei den Pendeluhrn 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);

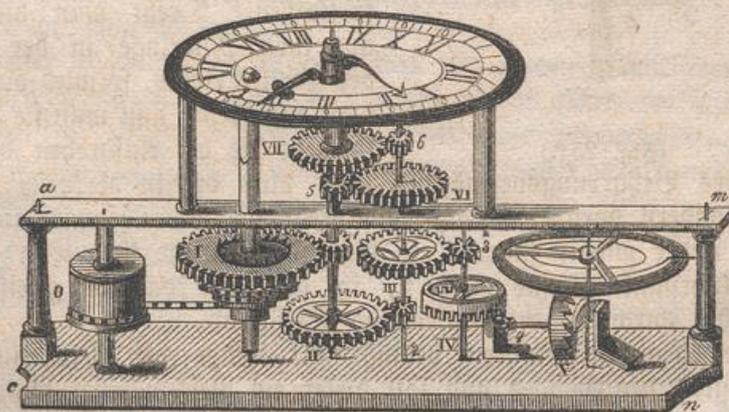
bei den Taschenuhren ist es die Länge der Spiralfeder vom befestigten Ende an: je länger sie von da an ist, desto langsamer schwingt sie. Man bedarf also einer Vorrichtung, um die richtige Länge nach dem Bedürfnisse herzustellen oder die Uhr zu reguliren. Zu diesem Zwecke



(Fig. 252.)

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.

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.



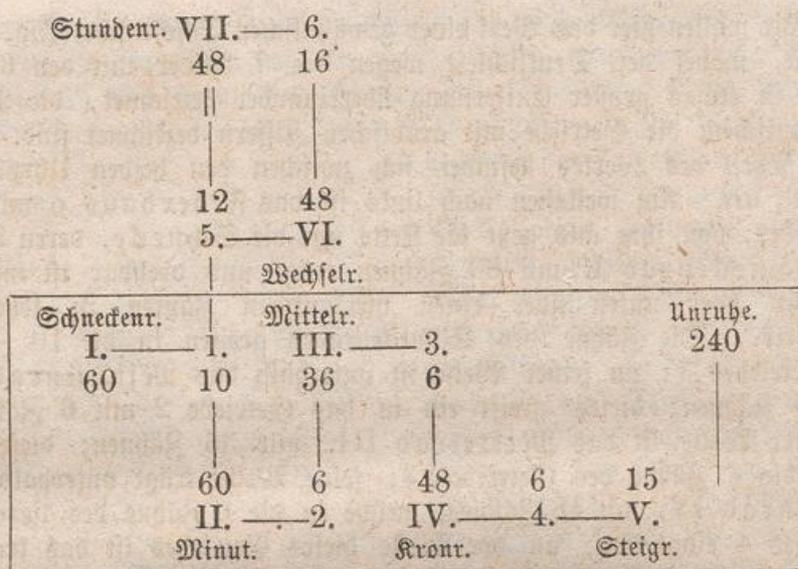
(Fig. 253.)

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 on. 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 beigelegten horizontalen Linien zeigen das Ineinandergreifen der Räder und Getriebe an, die lothrechten die gemeinschaftlichen Axen.



Die Hemmung läßt sich so einrichten, daß das Kronenrad IV. in einer Minute sich einmal um seine Ase 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 Ase befindliche Steigrad V., 8mal 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 8mal 30 oder 240 halbe Schwingungen, die man durch das Anschlagen bei der Hemmung leicht zählen kann. Darans 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 Ase 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 Ase 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 Ase 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.

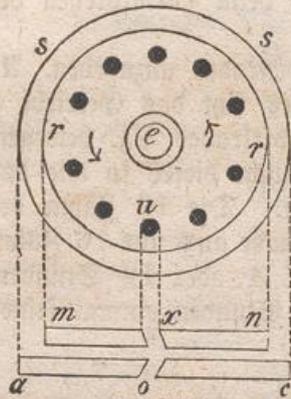
Nun ist nur noch die Bewegung des Stundenrades anzugeben. An der oberen Fortsetzung der Ase des Minutenrades sitzt das Getriebe 5 mit 12 Zähnen, welche die 48 Zähne des Wechselrades VI. bewegen. Da jenes in 1 Stunde sich einmal dreht, so braucht dieses so wie das an derselben Ase befindliche Getriebe 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. wievielmals 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 Kubikfuß zu bestimmen. Die kanelirte Hauptaxe der Trommel setzt eine Scheibe in Bewegung, an welcher durch einen festen Stift die einzelnen Kubikfüße 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 Sirene von Cagniard la Tour, dem 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 Sirene 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.)

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 Aze, diese hat oben eine Schraube ohne Ende, welche in ein gezahntes Rädchen eingreift; die Aze dieses Rädchens trägt einen lothrecht angebrachten Stift, welcher nach jeder einmaligen Drehung einen Zahn eines zweiten Rädchens fortstößt. Tragen die Azen 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.

