



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# Handbuch der Physik zur Selbstbelehrung für jedermann

**Spiller, Philipp**

**Berlin, 1866**

Zweiter Abschnitt. Zurückwerfung von Schwingungen.

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-73841](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-73841)

## Zweiter Abschnitt.

### Zurückwerfung von Schwingungen.

#### Allgemeine Erscheinungen.

Wenn Schwingungen in dem Stoffe eines Körpers sich fortpflanzen und sie treffen auf einen Stoff derselben Art von anderer Dichtigkeit oder auf einen anderen Stoff, so treten verschiedene Veränderungen in ihrer Richtung und Geschwindigkeit ein, die entweder einzeln oder gemeinschaftlich auftreten:

1) sie dringen in den neuen Stoff nicht ein, sondern werden zurückgeworfen;

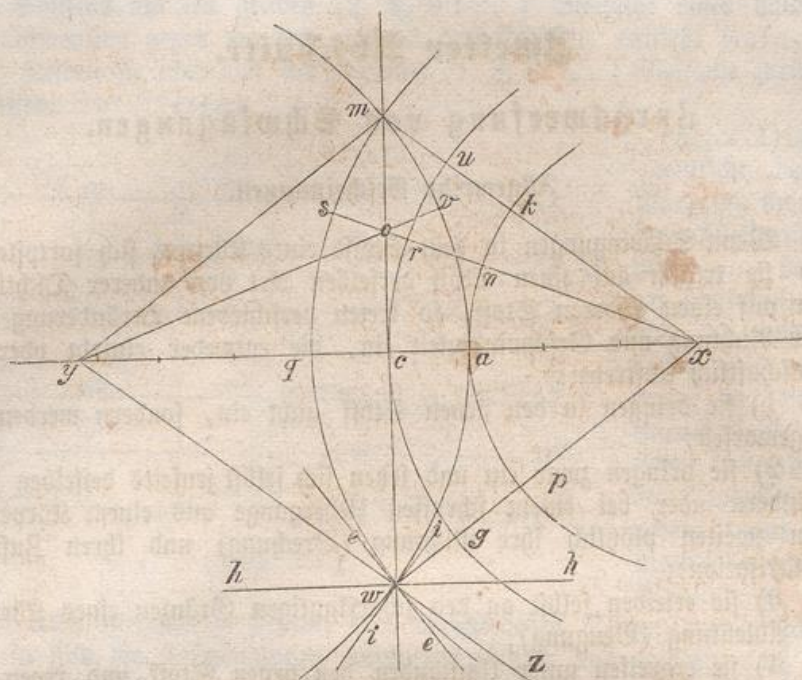
2) sie dringen zwar ein und setzen sich selbst jenseits desselben fort, verändern aber bei einem scharfen Uebergange aus einem Körper in einen zweiten plötzlich ihre Richtung (Brechung) und ihren Zustand (Polarisation);

3) sie erleiden selbst an den scharfkantigen Gränzen eines Körpers eine Ablenkung (Beugung);

4) sie ergreifen unter Umständen den neuen Stoff und regen ihn zu eigenen Schwingungen an (Resonanz); diese Uebertragung kann ohne und mit einem Zwischenkörper (Wirkung auf die Entfernung), ohne und mit Umwandlung der Schwingungsart geschehen.

Eine Zurückwerfung ist bei allen Gattungen von Schwingungen und den dadurch entstehenden Wellen zu erkennen. Erregt man an dem Ende eines angebundenen schlaffen Seiles eine Welle, etwa durch einen hinreichend kräftigen Schlag mit einem Stabe, so pflanzt dieselbe sich nicht nur nach dem festgebundenen Ende fort, sondern kehrt von da aus wieder zurück.

Ist in einer tropfbaren Flüssigkeit eine Wand  $mw$  (Fig. 272) lothrecht auf dem Spiegel der Flüssigkeit gestellt und man erregt vor ihr in  $x$  Kreiswellen, so pflanzen dieselben sich auch nach ihr hin fort. Liegen die drei Kreisbogen  $kap$ ,  $ueg$  und  $mqw$  in den Gränzen zweier Wellen, so sind die Zeiten des Fortschreitens der Wellenbewegung ohne vorhandene Wand in den Zwischenräumen  $ac$ ,  $cq$ ,  $nr$ ,  $rs$ ,  $ku$  und  $um$  einander gleich und die Zeit, in welcher die Welle von  $kap$  nach  $ueg$  fortschreitet, ist auch die Zeit, in welcher sie von  $ueg$  bis  $mqw$  geht. Ist aber die Wand vorhanden, ist von den Wellenstrahlen  $xc$ ,  $xr$ ,  $xu$  der Strahl  $xc$  auf ihr lothrecht und  $xc$  um sich selbst bis  $y$  verlängert, so daß  $cx = cy$  ist; so gelangt in seinem Endpunkte  $c$  die Flüssigkeit zuerst an die Wand, in den Endpunkten der anderen Strahlen um so später, je weiter sie von ihm abliegen, also in  $u$  später, als in  $r$ . Da jedes Flüssigkeitstheilchen in der durch den Wellenradius auf



(Fig. 272.)

das Niveau lothrecht gelegten Ebene schwingt, so ist ihr Stoß auf die Ebene  $mw$  bei  $c$  ein lothrecht, in allen übrigen aber ein schiefer; denn  $r$  kommt bei  $o$  unter dem Winkel  $xoc$  und  $u$  bei  $m$  unter dem Winkel  $xmc$  an, also wird  $c$  allein lothrecht und die anderen aber unter demselben Winkel, unter welchem sie ankamen, zurückgeworfen. Bei dieser Zurückwerfung, welche bei dem Wellenberge eine Stauung an der Wand hervorbringt, geht die Wellenbewegung von  $c$  aus, statt vorwärts bis  $q$  zu gehen, in derselben Zeit durch einen eben so großen Weg bis  $a$  rückwärts;  $r$  geht in der Richtung  $rs$  zuerst bis  $o$  an die Wand und von da den Weg  $ov$ , welcher gleich  $os$  ist, zurück, so daß sein ganzer Weg  $ov + or$  in derselben Zeit so groß wie der des  $c$  ist ( $xs = yv$ ,  $xo = yo$ , also  $os = ov$  und  $so + or = ov + or = ca$ ;  $u$  geht in dieser Zeit bloß bis  $m$  an die Wand und ist dann von  $y$  ebensoweit entfernt, als von  $x$ .

Die Betrachtungen, welche von  $r$  galten, finden für alle Punkte zwischen  $c$  und  $u$  und gleichmäßig zwischen  $c$  und  $g$  statt; d. h.: sowie  $r$  nach seiner Zurückwerfung von der Wand in der Zeit des Fortschreitens einer Welle rückwärts in einem Punkte  $v$  angelangt ist, welcher von einem Punkte  $y$  jenseits der Wand ebensoweit entfernt ist, wie  $x$  diesseits, so gilt dieses von allen Punkten der ankommenden Welle nach ihrer Zurückwerfung.

Daraus ergibt sich als Gesetz:

eine Kreiswelle wird von einer festen Wand so zurückgeworfen, daß der Mittelpunkt der zurückgeworfenen Welle ebensoweit jenseits der Wand liegt, als der Erregungspunkt diesseits.

Denken wir uns bei  $w$  ein außerordentlich kleines Wellstück der ankommenden Welle, dessen Lage durch  $ee$  angegeben sein mag, und als grade Linie angesehen werden kann; so steht es auf dem Wellenradius  $xw$  lothrecht. Dasselbe ist der Fall mit einem dort befindlichen solchen Stücke der zurückgeworfenen Welle, dessen Lage  $ii$  angibt und wozu  $yw$  der Radius ist. Da nun die Strahlen  $xw$  und  $yw$  gegen die Wand dieselbe Lage haben, so besitzen auch die auf ihnen lothrechten Wellenstücke  $ee$  und  $ii$  sowohl gegen sie, als auch gegen das auf ihr in  $w$  gedachte Loth  $hh$  einerlei Lage; d. h. eine Welle wird von einer Wand unter demselben Winkel zurückgeworfen, unter welchem sie aufkommt oder der Ausfallswinkel ist gleich dem Einfallswinkel ( $xwh = h wz$ ).

Die angeführten Gesetze gelten in aller Strenge auch von den kugelförmigen Wellen, es mögen nun Schallwellen oder Lichtwellen sein und sind in ihrer Anwendung außerordentlich fruchtbar.

Um in allen Fällen die rückwärts gehende Bahn der Schwingungen zu finden, braucht man nur den Winkel, welchen der Wellenstrahl  $xw$  der ankommenden Welle mit dem Lothe  $wh$  auf der getroffenen Stelle  $w$  bildet, also den Winkel  $xwh$  oder den Einfallswinkel, in derselben Ebene auf die entgegengesetzte Seite des Lothes übertragen, so daß Winkel  $zwh = xwh$  ist und  $wz$  ist dann der zurückgeworfene Wellenstrahl.

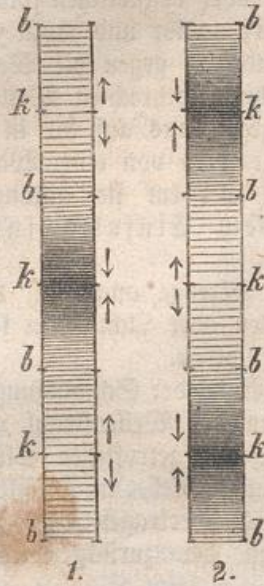
Selbst die elektrischen Schwingungen, welche freilich Wellen in der früher angeführten Bedeutung nicht geben, werden in einem Leitungsdrahte, welcher auf ein Hinderniß durch einen anderen Stoff trifft, zurückgeworfen, was man wohl Polarisation genannt hat.

Wichtig sind zunächst die durch Zurückwerfung gebildeten stehenden Wellen, bei welchen die Knoten und Bäuche eine unveränderte Lage haben, während sie bei den fortschreitenden sich von dem Mittelpunkte der Erregung mehr und mehr entfernen.

Erregt man in der Mitte eines kreisrunden Gefäßes mit einer Flüssigkeit durch rechtzeitiges wiederholtes Einsenken einer Kugel Kreiswellen, deren Breite in dem Radius des Gefäßes genau enthalten ist; so treffen die von der Wand ringsum zurückgeworfenen Wellen mit den ankommenden so zusammen, daß in bestimmten Kreisen die Flüssigkeit das Niveau nicht verläßt (Knoten), daß zwischen zwei benachbarten Kreisen abwechselnd Berg und Thal entsteht und daß zu beiden Seiten eines jeden Berg und Thal mit einander abwechseln. Dieses sind also stehende Kreiswellen.

Stehende Kugelmwellen würden sich in einem hohlkugelförmigen Raume bilden, wenn man in dessen Mittelpunkte anhaltende Tonwellen erregte. Wenn man sich in diesem Raume eine an beiden Enden offene Röhre, deren Stoff gleichgiltig ist, in der Richtung eines Strahles denkt, so befinden sich in ihr auch stehende Wellen.

Man erhält Theile solcher stehenden Kugelmwellen auch, wenn man die Luft in einer an beiden Enden offenen Pfeife (Fig. 273) zum Tönen bringt.



(Fig. 273.)

Ist sie von Glas und erfüllt man ihre Luft mit Tabakrauch, so kann man die Schwingungen der Luft beobachten. Je nach der Höhe des Tones ist die Anzahl der Knotenstellen, die hier mit  $x$  bezeichnet sind, verschieden. Während in der ersten Pfeife in der Mitte die größte Verdichtung ist, befinden sich zu beiden Seiten in der Entfernung zweier Theile bei  $k$  u.  $k$  die größten Verdünnungen; die zweite Pfeife zeigt den Vorgang während der zweiten Hälfte der Schwingungszeit: hier ist in der Mitte die größte Verdünnung und zu beiden Seiten sind die Verdichtungen an den früheren Stellen der Verdünnungen. Die mit  $b$  bezeichneten Stellen der Bäuche erleiden weder Verdichtungen noch Verdünnungen, wohl aber ist dort die größte Schwingungsweite.

In dem gezeichneten Falle enthält die Pfeife  $1\frac{1}{2}$  Tonwellen, denn von den beiden Enden bis zum nächsten Knoten ist  $\frac{1}{4}$  Welle und dazwischen sind noch 4 Viertel. An den offenen Enden können stets nur Bäuche sein. Die beigefegten Pfeile geben die abwechselnden Richtungen der schwingenden Luft an.

Läßt man an einem dünnen Faden einen kleinen mit einem ganz zarten Häutchen überspannten Rahmen in die Pfeife und hat man das Häutchen mit feinem trockenem Sande bestreut, so ist dieser an den Stellen der Bäuche in der lebhaftesten Bewegung, an denen der Knoten ziemlich in Ruhe.

Wenn ein Körper leuchtet, so ist der Lichtäther in ihm in stehenden Schwingungen und ebenso scheinen im elektrischen Blitze stehende Schwingungen stattzufinden. Wird die Dauer des elektrischen Funkens zu  $\frac{1}{1162000}$  einer Sekunde und die mittlere Schwingungszahl des Lichtes zu 600 Billionen angenommen, so ist das Erscheinen des elektrischen Funkens an seiner punktförmig beschränkten Stelle immer noch mit fast 521 Millionen Schwingungen verknüpft.

Wenn der Weltäther durch seine Schwingungen uns die Gestirne, ein angezündetes Licht u. a. sichtbar macht, so sind seine Schwingungen in ihm fortschreitende; stehende aber sind sie, wenn er selbst leuchtet, wie z. B. beim heftigen und schnellen Zusammendrücken von Körpern (des luftfreien Wassers, der Luft beim pneumatischen Feuerzeuge); beim Zerplatzen luftgefüllter kleiner Glaskugeln im luftverdünnten Raume; beim Zerspringen von hohlen und dünnen Glaskugeln von 2—3 Linien Durchmesser mit recht verdünnter Luft (man macht sie im Kohlenfeuer glühend und schmelzt sie schnell zu), wenn man sie auf den Boden fallen läßt; beim Abschließen der ersten Schüsse aus Windbüchsen; beim Eindringen der äußeren Luft in einen mit einer thierischen Blase überspannten Glaszylinder, wenn durch das Verdünnen der Luft in ihm die Blase gesprengt wird; beim Zerspalten von Zucker, von Krystallen, beim Zerspringen der sogen. Glasthränen. — In allen diesen Fällen setzt die plötzliche Bewegung eines massigen Stoffes den Weltäther in leuchtende Schwingungen.

So wie die tönenden und stehenden Luftschwingungen in einer Pfeife durch die fortschreitenden in der äußeren Luft uns hörbar werden, ebenso werden diese stehenden Aetherschwingungen innerhalb eines Körpers uns durch die fortschreitenden in dem außerhalb befindlichen Aether sichtbar.

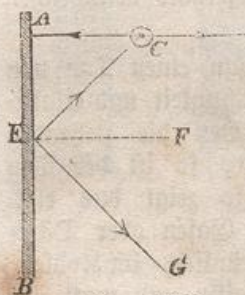
Eine Pfeife von bestimmter Länge gibt nur dann einen Ton von ganz bestimmter Höhe, wenn die Luft darin ihre Dichtigkeit und Elastizität nicht ändert. Bilden aber verschiedene Luftarten die stehenden Schwingungen oder wird die bestimmte Luft erwärmt, so ist der Ton ein anderer (wird durch Erwärmung höher). Ebenso zeigt das elektrische Licht verschiedene Farbentöne in verschiedenen Gasen oder Dämpfen: es ist z. B. im Alkohol- oder Aetherdampfe grünlich, im Kohlenensäuregase lebhaft grünlichblau, im Wasserstoffe karmoisin und matt, im Stickstoffe purpurroth, in Salzsäure fast weiß. Wie aber die Verschiedenheit der Tonhöhe von der Beschaffenheit der schwingenden irdischen Körper abhängig ist, so ist der Farbenton des Lichtes von der durch die irdischen Körper bedingten Beschaffenheit des in ihnen vorhandenen Weltäthers abhängig. In beiden Fällen erleiden die Schwingungszahlen, also auch die Wellendicken Abänderungen, in jenem durch die irdischen Körper, in diesem durch den Weltäther.

So wie die stehenden Luftschwingungen einer tönenden Pfeife außerhalb derselben zu fortschreitenden werden, so erzeugen die stehenden Aetherschwingungen des elektrischen Funkens auch fortschreitende, durch welche in jenem Falle der Ton hörbar, in diesem der Funke sichtbar wird. Ebenso in anderen Fällen. Sehen wir z. B. eine glühende Eisenstange, so werden die stehenden Schwingungen in ihr durch die fortschreitenden außerhalb ihr für uns wahrnehmbar gemacht.

Ercheinungen, welche durch die Form der zurückwerfenden Körper bedingt sind.

Je mehr die an den Gränzen eines Körpers vorhandenen Theilchen in einer Fläche liegen, desto glatter ist der Körper; vollkommen glatte Oberflächen nennt man Spiegel. Steht reines Quecksilber in einem Gefäße ruhig, so bildet seine Oberfläche, wenigstens gegen die Mitte in einem größeren Gefäße, einen ebenen Spiegel, in einer engeren Röhre aber einen halbkugelförmigen; ähnlich ist es bei anderen Flüssigkeiten. Schöne Krystalle haben ebene spiegelnde Flächen; die Thautropfen aber Kugelflächen. Dreht man eine halbe Ellipse (Vd. I. S. 14) um ihre große Ase  $mn$  bis in ihre ursprüngliche Lage, so entsteht eine elliptisch gekrümmte Fläche. Schneidet man einen Kegel in der Richtung einer Seitenlinie mit einer Ebene, so heißt die Schnittfläche eine Parabel (Vd. I., S. 344); wird dieselbe nun um ihre Mittelnie oder Ase gedreht, so beschreibt die krumme Linie eine gekrümmte Fläche, welche man als innere Spiegelfläche eine Reverbere nennt.

1) Erscheinungen durch ebene Flächen und Spiegel.



(Fig. 274.)

Ist  $AB$  (Fig. 274) der Durchschnitt einer ebenen Wand und erregt man in  $C$  Schallwellen, so wird deren senkrecht auffallender Theil  $CA$  in sich selbst zurückgeworfen; der schiefe Schallstrahl  $CE$  mit dem Einfallswinkel  $CEI$  geht unter dem gleichen Ausfallswinkel  $FEG$  von  $E$  nach  $G$  und ein dort befindlicher Beobachter glaubt, außer dem von  $C$  aus unmittelbar zu ihm gelangenden Schalle noch einen von  $E$  kommenden Schall zu vernehmen, gleichwie man von  $C$  aus den von  $A$  zurückgeworfenen Schall auch hört, wenn nur die Entfernung der Wand so groß ist, daß eine zur Wahrnehmung nothwendige Zwischenzeit verfließt. — Nehmen wir an, daß man in 1 Sekunde 8 in gleichen Zelteln hervorgebrachte Töne oder Schalle überhaupt als einzelne selbstständige wahrnehmen kann und daß der Schall in 1 Sekunde den Weg von  $32 \cdot 32$  Fuß zurücklegt; so hat er in  $\frac{1}{8}$  Sekunde  $4 \cdot 32$  Fuß durchlaufen. Wenn man also den in  $C$  während  $\frac{1}{8}$  Sekunde hervorgebrachten Laut von  $A$  aus als einen selbstständigen hören will, so muß die Wand  $2 \cdot 32 = 64$  Fuß entfernt sein, damit der Hinweg  $CA$  und Rückweg  $AC$  zusammen  $4 \cdot 32$  Fuß betragen.

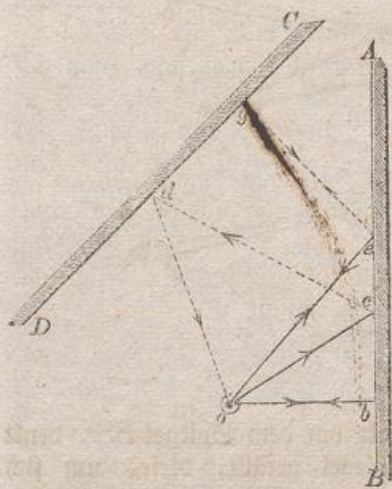
Ist die zurückwerfende Wand weniger weit als 64 Fuß von  $C$  entfernt, wie es z. B. in Zimmern der Fall ist, so fallen die beiden Schalle, der hervorgebrachte und der zurückgeworfene, fast zusammen und

der erste wird nur verstärkt, was man Nachhall nennt; den selbstständig wahrnehmbaren zurückgeworfenen Schall aber nennt man Echo.

In G würde man ein Echo des Schalles in C hören, wenn der Weg CE + EG um 4. 32 Fuß größer wäre, als der grade Weg CG. — Bringt man in C hintereinander mehre Laute oder Silben, jede in  $\frac{1}{8}$  Sek. hervor, so erscheint immer nur das Echo der letzten Silbe selbstständig, während die anderen zusammenfallen; soll also ein 2, 3, 4... silbiges Echo entstehen, so muß die Wand 2, 3, 4...mal 64 Fuß von C entfernt sein.

Stehen zwei lothrechte Wände in hinreichender Entfernung einander parallel gegenüber, und erregt man in deren Mitte einen Schall, so hört man von beiden Wänden gleichzeitig, also ein verstärktes Echo; dieses tritt aber in diesem Falle wieder als ursprünglicher Schall auf, indem die Wellen von der einen Wand nach der anderen gehen und man hört somit ein vielfaches immer schwächer werdendes Echo, welches einen klagenden Charakter hat, indem selbst jedes einzelne gewissermaßen hinstirbt. — Bringt man den Schall nicht in der Mitte beider Wände hervor, so können schon die beiden ersten Echos der Zeit nach so weit aus einander liegen, daß sie selbstständig erscheinen und werden durch ihre Wiederholung eine große Vervielfältigung erzeugen. Ein hübsches Echo der Art ist u. a. zwischen den beiden hohen Mauern an dem sogen. großen Ueberfalle der Warthe in der Festung Posen.

Auch im Wasser hört man ein Echo durch die zurückwerfenden Ufer, was im Genfer See ermittelt worden ist.



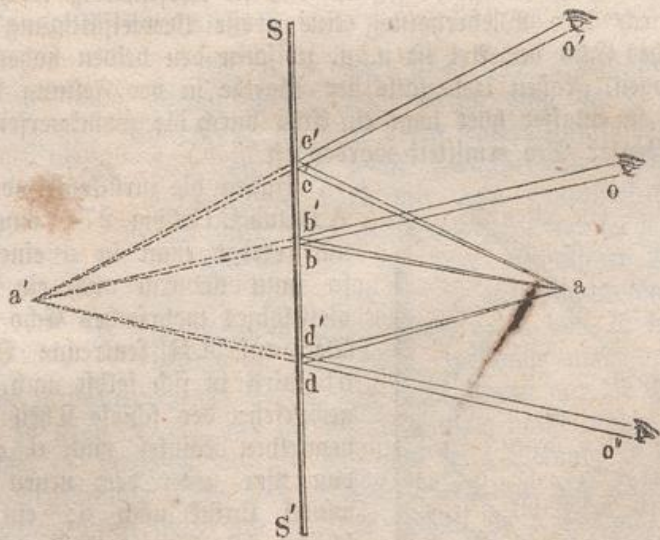
(Fig. 275.)

Wirden die zurückwerfenden Wände AB und CD (Fig. 275) einen Winkel und erregt man in o einen Schall, so kann dadurch auch ein ein- oder vielsilbiges mehrfaches Echo entstehen. Der auf AB senkrechte Wellentheil ob wird in sich selbst nach o zurückgeworfen; der schiefe Theil oe unter demselben Winkel nach d auf CD, von hier unter dem neuen Einfallswinkel zurück nach o; ein anderer schiefer Strahl oe geht von e aus lothrecht nach CD, wird von g aus in sich selbst zurückgeworfen und geht daher von e aus auch wieder nach o zurück. Man hört also in o bei gehöriger Differenz der Wege der drei zurückgeworfenen Wellentheile drei selbstständige Echos. Da aber von o aus auch nach der Wand CD unmittelbare Wellen gelangen und auch diese theils von CD allein, theils von CD und AB nach o



zurückgeworfen werden, so kann das Echo in o ein vielfaches sein. — Weil die Schallwellen selbst für hohe Töne eine ziemlich bedeutende Dicke haben, sind glatte Flächen für die Erzeugung eines Echos nicht unbedingt nothwendig: nicht nur raue Mauern und Felsen, sondern auch dichtes Strauchwerk, die Baumstämme an der Gränze eines Waldes, die Wolken und selbst eine ruhende Luftschicht eines langen Ganges sind geeignet, ein Echo zu erzeugen. Der gewaltige und die Erde in weitem Umkreise erschütternde Donner ist eine Echoerscheinung des mit der Gewitterentladung verbundenen einfachen Knalles: die dichteren und näheren Wolken werfen den Schall stärker und schneller zurück, als die lockeren und entfernteren und wegen der so vielgestaltigen Gruppierung derselben ist dieses Echo auch sehr zusammengesetzt, wobei später ankommende Echos oft stärker sind, als die früheren. So entsteht das Rollen des Donners.

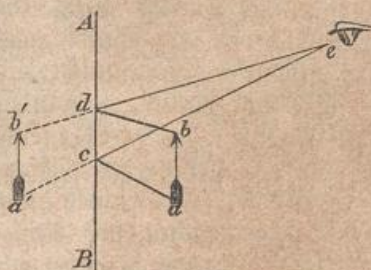
Sollen zurückgeworfene Lichtwellen einen lebhafteren Eindruck auf unser Auge hervorbringen, so müssen bei der geringen Dicke der Lichtwellen die Flächen möglichst vollkommene Spiegel sein und man braucht ein dicht zusammenliegendes Strahlenbündel.



(Fig. 276.)

Ist a (Fig. 276) ein leuchtender Punkt vor dem Spiegel SS', denkt man sich von ihm das Loth auf den Spiegel gefällt, dieses um sich selbst verlängert, so ist sein Endpunkt a' als der Mittelpunkt der zurückgeworfenen Wellen anzusehen. Wenn nun von a aus einzelne Strahlenbündel, wie acc', abb', add', auf den Spiegel gehen, so werden die Strahlen von jedem unter demselben Winkel zurückgeworfen und divergiren dabei so, daß sie alle, rückwärts verlängert, in a' einander treffen.

Jedes in der Richtung dieser drei und anderer zurückgeworfener Strahlenbündel befindliche Auge  $o$ ,  $o'$ ,  $o''$  versetzt den Gegenstand  $a$  nach  $a'$  hin, oder sieht ihn in der Richtung, in welcher das Auge von den Strahlen getroffen wird.



(Fig. 277.)

Ist nun vor einem ebenen Spiegel AB (Fig. 277) ein Gegenstand  $ab$  von größerer Ausdehnung, so findet man die Lage seines Spiegelbildes, wenn man von seinen äußersten Punkten  $a$  und  $b$  auf den Spiegel die beiden Lothrechten fällt und jede um sich selbst verlängert, wodurch man als Endpunkte  $a'$  und  $b'$ , also als Bild  $a'b'$  bekommt. Gehen von  $a$  und  $b$  nach dem Spiegel zwei schiefe Strahlen  $ac$  und  $bd$ , so werden die zurückgeworfenen Strahlen bei ihrer Verlängerung einander in  $e$  treffen und ein dort befindliches Auge sieht das Bild von  $a$  in der Richtung  $ec$ , das von  $b$  in der Richtung  $ed$ .

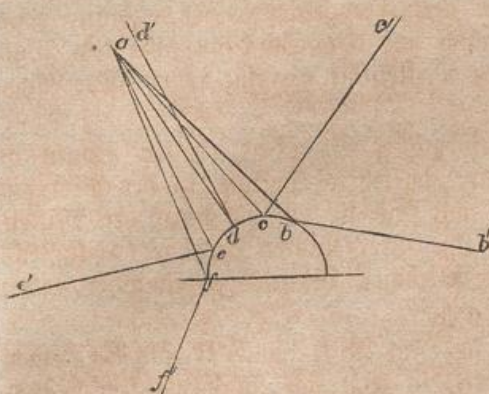
Das Spiegelbild zeigt die rechte Seite des Gegenstandes links und die linke Seite rechts, übrigens aber in derselben Lage gegen den Spiegel; neigt man daher einen Spiegel gegen den Horizont unter einem halben rechten Winkel, so erscheint ein liegender Gegenstand als Bild stehend und ein stehender liegend; ist der Spiegel horizontal (Wasserspiegel), so erscheint ein senkrechter Gegenstand, z. B. ein Baum, Haus umgekehrt.

Damit ein Mensch in einem mit ihm parallel stehenden Spiegel sich ganz wahrnehme, braucht der Spiegel nur halb so hoch und breit zu sein, als er selbst. Man kann einen Punkt eines Gegenstandes durch den Spiegel nur dann noch sehen, wenn die vom Bilde des Punktes nach dem Auge gezogene gerade Linie die Spiegelfläche noch trifft.

Will man also durch einen am Fenster außerhalb angebrachten Spiegel die Personen auf der Straße sehen, so muß der Spiegel gegen die Straße und gegen den Beschauer eine dem gemäße Neigung haben.

**Lichtzerstreuung.** Je vollkommener ein Spiegel ist, desto weniger wird er selbst gesehen. Hat er Unebenheiten, so werden von ihnen aus die Strahlen nach sehr verschiedenen Seiten geworfen und sie selbst sind daher von vielen Seiten sichtbar. Man sagt dann: das Licht wird zerstreut.

Fig. 278 mag den Vorgang mittelst einer allerdings sehr auffällig gezeichneten Unebenheit verdeutlichen. Ist  $a$  der leuchtende Punkt, fallen in  $f$ ,  $e$ ,  $d$ ,  $c$ ,  $b$  Strahlen von ihm auf, so werden sie, jeder unter seinem Einfallswinkel zurückgeworfen und zwar nach  $f'$ ,  $e'$ ,  $d'$ ,  $c'$ ,  $b'$ , so daß ein Auge in allen diesen Richtungen das Licht von dem Punkte  $a$  sieht.

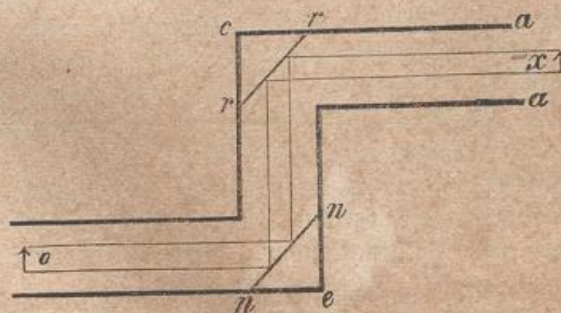


(Fig. 278.)

den, desto mehr geht von dem unmittelbaren Sonnenlichte durch Zerstreuung verloren. Je klarer die Luft ist, desto geringer ist zwar die Tageshelle, desto größer aber die direkte Beleuchtung eines Gegenstandes.

Je weniger ein Körper Licht zurückwirft, desto weniger ist er unsichtbar; gäbe es Körper, welche gar kein Licht zurückwürfen, so wären sie als absolut schwarze uns unsichtbar; aber selbst einer der schwärzesten, nämlich der Kleinruß, wirft noch viele Lichtstrahlen zurück. — Die Planeten, ihre Monde, die Kometen sind für uns nur durch das von ihnen zu uns zurückgeworfene Sonnenlicht sichtbar. Das Mondlicht ist gewissermaßen ein Echo des Sonnenlichtes.

Parallel einander gegenüber gestellte Spiegel würden einen leuchtenden Punkt unendlich oft zeigen, wenn die Unvollkommenheit selbst der besten Spiegel die Bilder nicht bald undeutlicher machte.



(Fig. 279.)

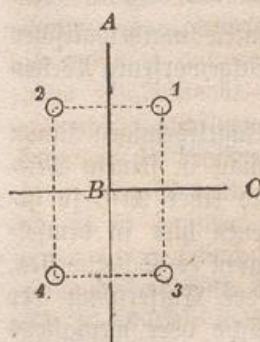
man von  $o$  aus einen entfernten Gegenstand vor  $x$  in seiner richtigen Lage, denn durch den Spiegel  $rr$  wird der stehende Gegenstand als Bild liegend und dieses liegende Bild wird durch  $nn$  wieder stehend gemacht. Man hat dieses Instrument *Polemiskop* genannt, weil man

Nur durch diese unregelmäßige Zurückwerfung sind uns die Körper, welche nicht selbst leuchten, sichtbar; ohne sie würden uns selbst am Tage alle die Körper, auf welche die Sonne nicht unmittelbar scheint, unsichtbar sein. Die Tageshelle selbst rührt von der unregelmäßigen Zerstreuung des Lichtes durch die Lufttheilchen der Atmosphäre her und je näher wir uns der Erdoberfläche befinden,

Hat man eine doppelt gebogene Röhre  $aceo$  (Fig. 279), deren Mittelglied auf den beiden anderen lothrecht steht und befinden sich in den beiden Knieen zwei parallele, einander zugewendete Spiegel  $rr$  und  $nn$  unter einer Neigung von  $45^\circ$  gegen die Röhrentheile; so sieht

im Kriege hinter einem Walle u. dergl. ungefährdet sehen kann, was vor dem Walle vorgeht, indem man nur das Stück  $ca$  über den Wall hält. Für diesen Zweck wird das Mittelstück  $ce$  eine angemessene Länge haben müssen.

Sind auf einem halbkreisförmigen Brettchen, dessen Bogen in Grade eingetheilt ist, zwei einander zugetehrte Spiegel in der Richtung zweier Radien lothrecht aufgestellt und sind sie um die durch den Mittelpunkt lothrecht gehende Linie als eine ihrer Kanten drehbar (wenigstens der eine); so kann man sie unter beliebigen Winkeln zu einander stellen und man hat einen Winkelspiegel.

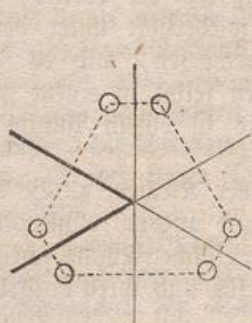


(Fig. 280.)

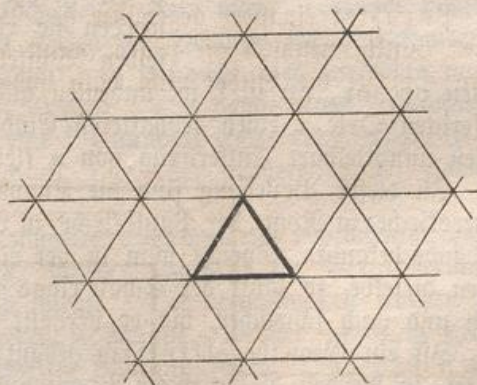
Lage des Gegenstandes gegen die beiden Spiegel.

Bilden sie (Fig. 280) wie  $AB$  und  $BC$  einen rechten Winkel, so zeigt sich ein dazwischen befindlicher Gegenstand 1 durch den Spiegel  $AB$  als Bild in 2 und durch  $BC$  als Bild in 3; aber das Bild 2 ist für  $BC$  ein Gegenstand und hat sein Bild in 4; ebenso ist das Bild des Bildes 3 durch den Spiegel  $BA$  in 4. Ein außerhalb zwischen den Spiegeln befindliches Auge sieht also einen Gegenstand 4 mal.

Wäre der Winkel 60 Grade (Fig. 281), so erschiene der Gegenstand sechsmal in paarweise oder in überhaupt gleichen Abständen, je nach der



(Fig. 281.)



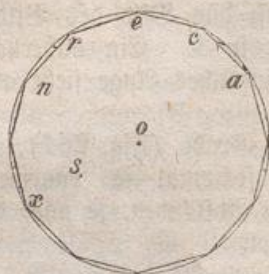
(Fig. 282.)

Bringt man drei Spiegel, welche die Form von übereinstimmenden Oblongen haben, mit ihren langen Seitenkanten zu einem offenen Prisma aneinander (Fig. 282), so erscheint das Gesichtsfeld beim Hineinsehen von dem einen Ende aus in lauter gleichseitige Dreiecke aufgelöst und ein Gegenstand an dem anderen Ende in gleicher Weise vervielfacht. — Schließt man solche Winkelspiegel in ein etwa 10 Zoll langes Rohr von 2 Zoll Durchmesser ein, läßt an dem einen Ende eine nur kleine

Öeffnung zum Hineinsehen, schließt man das andere Ende mit zwei etwa  $\frac{1}{2}$  Zoll von einander entfernten Gläsern, von denen das äußere matt geschliffen ist, und bringt man in den Zwischenraum mancherlei bunte kleine Gegenstände; so gewährt dieses Kaleidoskop durch die Mannigfaltigkeit der Bildergruppen eine angenehme Unterhaltung. Bei der Drehung der Röhre kommen die Gegenstände in eine andere Lage und zeigen auch ein anderes Bild. Die Winkel können auch abgeändert werden.

## 2) Erscheinungen durch mathematisch gekrümmte Flächen.

Haben Flächen eine Krümmung nach bestimmten mathematischen Gesetzen, so ergeben sich auch für die von ihnen zurückgeworfenen Wellen aller Art bestimmte Regeln.



(Fig. 283.)

Hat man einen hohlkugelförmigen Raum (Fig. 283) und erregt man in seinem Mittelpunkte o Wellen irgend einer Art, so gelangen die zurückgeworfenen hier in demselben Augenblicke an. Waren es Schallwellen, so geben sie je nach der Entfernung der Kugeloberfläche ein starkes Echo oder wenigstens einen starken Nachhall.

Erregt man in der Nähe der Wand, z. B. in der Richtung ac die Wellen, so werden sie ringsum wiederholt unter demselben Winkel zurückgeworfen, wie es die

Linien ce, er, rn u. s. w. andeuten und erzeugen selbst in einem sehr entfernten Orte x einen lebhafteren Eindruck, als in einem Punkte s, dessen unmittelbare Entfernung von a kleiner ist.

In dieser Beziehung sind die Kuppeln mancher Kirchen, z. B. der Peterskirche zu Rom, der Paulskirche zu London und andere so gewölbte Gebäude bekannt. Spricht man in der Nähe einer solchen Wand schräge gegen dieselbe, so läuft der Schall rings um dieselbe und wird natürlich nach und nach schwächer, bis er verhallt ist.

Ist ein Gewölbe elliptisch gebaut oder ein Spiegel elliptisch gestaltet, so werden die in einem Brennpunkte erregten Schall-, Licht- oder Wärmewellen von der inneren Fläche so zurückgeworfen, daß sie gleichzeitig in dem anderen Brennpunkte ankommen und dort einen fast ungeschwächten Eindruck hervorbringen, während derselbe in allen anderen Punkten geringer ist. Die gleichzeitige Ankunft beruht in dem Wesen der Ellipse (Vd. I. S. 14).

Selbst wenn man zwei durch eine ziemliche Entfernung getrennte Stücke von solchen Spiegeln einander grade gegenüber hält, so daß die Mittelpunkte der Spiegel und die der Spiegelstücke in einer graden Linie

liegen, zeigt sich diese Erscheinung in ganz bestimmten Stellen vor den Spiegeln.

Für diesen Zweck sind parabolisch (Vd. I. S. 344) ausgehöhlte Spiegel besser, weil die von dem Brennpunkte des einen Spiegels ausgehenden Strahlen von ihm parallel nach dem anderen zurückgeworfen werden und sich im Brennpunkte dieses zweiten Spiegels wieder sammeln.

Parabolische Reverberieren sind für die Leuchtthürme wichtig, weil sie die zurückgeworfenen Lichtstrahlen parallel machen und somit auf große Entfernungen die Lichtstärke erhalten, so daß auf deren Abschwächung nur die Beschaffenheit der Atmosphäre Einfluß hat. Sie würden also auf ungeheure Strecken leuchten, wenn nicht die Luft und Dünste eine Zerstreung des Lichtes bewirkten.



(Fig. 284.)

Zur weiten Fortpflanzung des Schalles sind in dieser Beziehung die Sprachröhre wichtig (Fig. 284), denn spricht man in das am engeren Ende befindliche Mundstück, so werden die Schallwellen auf der inneren Kegelfläche so zurückgeworfen, daß ihre Strahlen bei dem Herausstritte so ziemlich parallel sind. Schon der Mund wirkt einigermaßen als Sprachrohr und noch mehr, wenn man die Hände rings um ihn legt; denn wenn man im Freien die Stimme des Sprechenden vor ihm auf etwa 100 Fuß vernimmt, so geschieht dies seitwärts nur auf 75 und nach hinten nur auf 30 Fuß. Die Länge eines Sprachrohres, welches die Stimme bis auf eine  $1\frac{1}{2}$  stündige Entfernung trägt, ist etwa zu 52, der kleine Durchmesser zu  $1\frac{1}{2}$ , der größere zu 13 Zollen zu nehmen.

Das Hörrohr ist ein umgekehrt verwendetes Sprachrohr von bedeutend kleineren Abmessungen, welches eigentlich zur Vergrößerung der Ohrmuschel für Schwerhörige dient. Die Schallwellen werden durch Zurückwerfung nach dem engeren Ausgange, welcher ins Ohr gehalten wird, verstärkt. — Das historisch bekannte sogen. Ohr des Tyrannen Dionysius war ein gewölbtes Gefängniß in den Steinbrüchen von Syrakus, dessen Wände die Wellen nach einer oberhalb befindlichen Oeffnung warfen, wo sie verstärkt ankamen, so daß man auch ein leises Gespräch im Gefängnisse durch die Oeffnung wohl vernehmen konnte.

Die Kommunikationsröhren sind zylindrische Röhren, welche dazu dienen, selbst auf sehr große Entfernungen zu sprechen oder einen Schall überhaupt zu vernehmen. Biot hörte durch eine fast 3000 Fuß (951 Meter) lange Röhre das Ticken einer Taschenuhr noch sehr deut-

lich. Es ist natürlich, daß die Fortpflanzung in graden Röhren am besten geschieht, daß rechte und spitze Winkel ganz vermieden werden müssen und daß bei Veränderung der Richtung eine möglichst allmähliche Biegung zu machen ist. Solche Kommunikationsröhren werden in Wohn- und Geschäftsräumen, auf Schiffen und anderwärts noch viel weniger angewendet, als es zur Bequemlichkeit und Zeiterparniß wünschenswert wäre.

Diese Wirkung der zylinderförmigen Röhren zeigt sich selbst im Großen. In dem Karnatidensaale des Louvre zu Paris ist die Decke zylinderförmig gewölbt, so daß die Aze mit der Längenausdehnung des Saales parallel geht. Wenn man in die eine der beiden Vasen, welche an den Enden stehen, spricht, so hört man den Schall gewissermaßen aus der zweiten kommen. Die Schallwellen gehen von der ersten Vase schräge aufwärts nach der Decke, werden dort bei der wiederholten Zurückwerfung zusammengehalten, und gehen am Ende wieder schräge abwärts nach der zweiten Vase. — In der Wasserleitung des Claudius soll man den Schall mehre italienische Meilen weit gehört haben. Auch Schächte, Brunnen, Schornsteine, Luftheizungskanäle pflanzen den Schall weit fort.

Die Wirksamkeit der Kommunikationsröhren hat man auch dazu benutzt, um Leute, welche nicht gewohnt sind, sehr nachzudenken, durch mancherlei Vorrichtungen, denen man u. a. die Namen: das unsichtbare Mädchen, der wahr sagende Türke, das akustische Orakel gab, arg zu täuschen. Von dem Munde einer Figur, welche in einem Zimmer scheinbar frei stand, ging durch ihr Inneres und den Fußboden, von da aus weiter unterhalb bis in ein benachbartes Gemach, welches nur durch eine ganz dünne Wand getrennt war, ein Kommunikationsrohr. Richtete man nun an die Figur eine Frage, so konnte von einer im Nebengemache befindlichen Person leicht eine passende Antwort mittelst des Rohres gegeben werden, weil sie ja die Frage gehört hatte. — Statt einer Figur läßt sich an der Decke eines kleinen Tempels eine Kugel mit einer trompetenartigen Oeffnung anbringen. Der Verbindungsschlauch ist dann in der etwas dicken Schnur zum Aufhängen der Kugel und geht von der Decke an versteckt weiter.

Soll ein Saal zu musikalischen und rhetorischen Aufführungen geeignet, also akustisch gebaut sein, so muß der Schall an dem Entstehungsorte möglichst zusammengehalten und von da aus theils unmittelbar, theils durch Zurückwerfung nach dem Zuhörerraume gelangen. Theoretisch betrachtet würde ein Sprechender am besten vernommen werden, wenn sein Mund im Brennpunkte eines parabolischen Gewölbes sich befände. Wenn diese Form nicht genommen wird, so ist es angemessen, an den Seitenwänden geneigte Flächen anzubringen, daß sie den ankommenden Schall weiter vorwärts, nicht aber zurückwerfen oder etwa, daß sich die Schallwellen durch wiederholte Zurückwerfung verfangen.

Wenn durch die Wände ein Nachhall erzeugt wird, so ist dieses, namentlich beim schnellen Sprechen, für die deutliche Wahrnehmung sehr nachtheilig und die Wände sind dann mit wenig elastischen Gegenständen zu bekleiden. Es wird sich in einem bestimmten Saale an der Stelle am vernehmlichsten sprechen lassen, an welcher der Sprechende seine Stimme selbst stärker zu hören glaubt; nur darf er dann nicht allzuschnell sprechen. — In einem leeren Zimmer klingt die Stimme wegen der gleichmäßigeren Zurückwerfung der Schallwellen stärker, als in einem mit vielerlei Sachen besetzten und bekleideten.

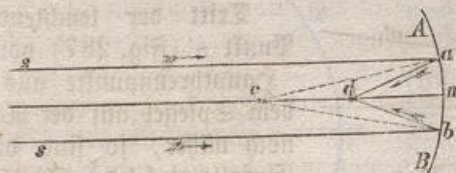
#### Lichtwellenzurückwerfung durch Kugelspiegel.

Für die Lichtwellen besonders sind die Kugelspiegel wichtig. Nachdem eine Kugelfläche auf der inneren oder auf der äußeren Seite polirt ist, hat man einen hohlen (konkaven) oder erhabenen (konvexen) Spiegel.

Es ist natürlich, daß man für Hohlspiegel nur einen von einem Kreise begränzten Abschnitt der Kugelfläche gebraucht. Wenn man den Mittelpunkt einer solchen Kugelkappe mit dem Mittelpunkte der dazu gehörigen Kugel verbindet, so heißt diese grade Linie die *Axe* des Spiegels.

Um die Lage und Größe der durch solche Spiegel erzeugten Bilder zu ermitteln, müssen wir zunächst die Lage des Bildes von einem einzelnen leuchtenden Punkte angeben, welcher entweder in der *Axe* liegt oder außerhalb ihr.

Kämen die Lichtstrahlen von einem unendlich entfernten in der *Axe* liegenden Punkte, so würden die auf den Spiegel fallenden Strahlen parallel sein. Wegen der außerordentlich großen Entfernung der Sonne von uns, können wir die auf den verhältnißmäßig sehr engen Raum eines solchen Spiegels fallenden Strahlen, ohne einen bemerkenswerthen Fehler zu begehen, als parallel ansehen. Halten wir nun den



(Fig. 285.)

Spiegel (Fig. 285), von welchem AB den Durchschnitt bedeuten soll, der Sonne so gegenüber, daß die auffallenden Strahlen, z. B. sa und sb mit der *Axe* cm parallel gehen, und zeichnet man die Spiegelradien ca und cb nach den Einfallspunkten a und b, so sind sac und sbc die Einfallswinkel, weil die Radien ca und cb auf den getroffenen Stellen, zu denen man sich die Tangenten denken muß, lothrecht stehen. Werden nun diese Einfallswinkel auf die entgegengesetzten Seiten der Strahlen in derselben Ebene übergetragen, so erhält man die zurückgeworfenen Strahlen ad und bd, welche einander in dem Punkte d der *Axe* treffen.

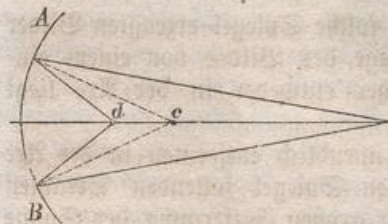


Je näher die parallel auffallenden Strahlen der Aze liegen, desto genauer treffen die zurückgeworfenen einander in dem Punkte  $d$ , welcher der Halbierungspunkt des Strahles  $em$  ist. Kommen in dieser Weise Wärmestrahlen auf den Spiegel, also z. B. die mit den Lichtstrahlen der Sonne gleichzeitig ausgehenden Wärmestrahlen, so kann in  $d$  eine so bedeutende Hitze entstehen, daß ein daselbst befindlicher und leicht brennbarer Gegenstand anbrennt und daher heißt dieser Punkt  $d$  der Hauptbrennpunkt und seine Entfernung  $dm$  vom Spiegel die Brennweite und ein solcher Spiegel ein Brennspiegel.

Es wird erzählt, daß Archimedes feindliche römische Schiffe bei der Belagerung von Syrakus, 213 v. Chr., mittelst eines Brennspiegels angezündet habe. Dieser Spiegel wird wohl aus ganz kleinen ebenen Spiegeln zu einem großen mit kugelhähnlicher Form und großem Radius zusammengesetzt gewesen sein, weil man so große Kugelhohlspiegel zu schleifen nicht vermochte.

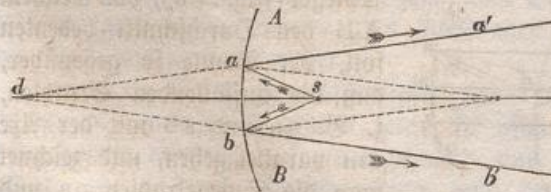
Wenn der leuchtende Punkt in  $d$  wäre, so würden die Strahlen nach der Zurückwerfung parallel sein und ein Bild des Punktes nicht geben können.

Rückt der leuchtende Punkt aus der unendlichen Entfernung auf der Aze dem Punkte  $d$  näher (Fig. 286), so fallen seine Strahlen divergent,



(Fig. 286.)

d. h. auseinandergehend, auf den Spiegel, bilden also mit den als Einfallsloten anzusehenden Strahlen kleinere Winkel als im vorigen Falle, so daß auch die Ausfallswinkel kleiner sind und das Bild des Punktes muß sich von dem Spiegel und dem Brennpunkte entfernen. Ist der leuchtende Punkt im Krümmungsmittelpunkte  $c$ , so ist auch sein Bild dort; sowie aber jener dem Spiegel noch näher kommt, entfernt sich dieser von  $c$ .



(Fig. 287.)

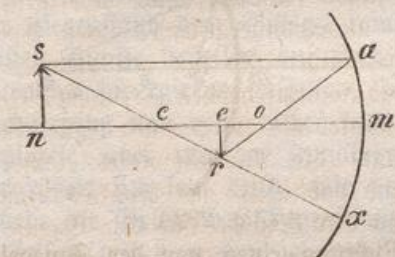
der Fall war und die zurückgeworfenen Strahlen  $aa'$  und  $bb'$  divergieren vom Spiegel an oder sie fahren auseinander und können nach dieser Seite ein wirksames Bild des Punktes nicht bilden, wohl aber erscheint dasselbe im Punkte  $d$  hinter dem Spiegel, welcher der Treffungspunkt ihrer Verlängerung ist. Je näher  $s$  dem Spiegel kommt, desto mehr

Tritt der leuchtende Punkt  $s$  (Fig. 287) vom Hauptbrennpunkte aus dem Spiegel auf der Aze noch näher, so sind die Einfallswinkel der Strahlen  $sa$  und  $sb$  größer, als es im Brennpunkte

divergiren seine zurückgeworfenen Strahlen, desto eher also und dem Spiegel auf der Rückseite näher muß das Bild entstehen.

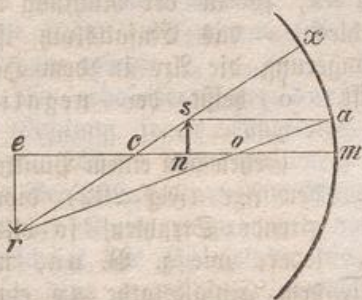
Je nach der Lage des leuchtenden Punktes entsteht also beim Hohlspiegel sein Bild entweder vor ihm und kann mittelst eines mattgeschliffenen weißen Glases oder eines durchscheinenden Papiers in der Luft aufgefangen werden oder es entsteht hinter ihm: in jenem Falle heißt es ein physisches, in diesem ein mathematisches Bild. Die Bilder bei ebenen Spiegeln waren nur mathematische.

Will man die Lage des Bildes eines außerhalb der Aze befindlichen Punktes erhalten, so braucht man nur den Durchschnittspunkt zweier vom Spiegel zurückgeworfenen und von ihm ausgehenden Strahlen bestimmen und zwar des durch den Krümmungsmittelpunkt gegangenen Hauptstrahles und des mit der Aze parallel auffallenden; jener wird in sich selbst zurückgeworfen, dieser nach dem Hauptbrennpunkte, so daß dann ihr Durchschnittspunkt der Sammelpunkt (Brennpunkt) aller zurückgeworfenen Strahlen ist und das Bild des Punktes gibt. Wir können dann, wenn wir die Lage des Bildes von einem in der Aze befindlichen Punkte dazu nehmen, sofort die nöthigen Aufschlüsse über die Lage, Größe und Entfernung der Bilder ganzer Gegenstände erhalten.



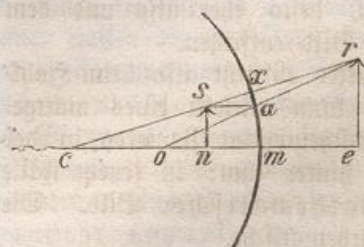
(Fig. 288.)

Ist der leuchtende Punkt s (Fig. 288) in größerer Entfernung vom Spiegel, als der Krümmungsmittelpunkt, so erscheint sein Bild jenseits der Aze in r zwischen dem Brennpunkte o und dem Krümmungsmittelpunkte c; denn der durch c von s ausgehende Strahl sx wird in sich selbst und der mit der Aze parallele sa nach dem Brennpunkte o in der Richtung aor zurückgeworfen. Von dem Gegenstande sn erscheint also ein verkleinertes und umgekehrtes Luftbild re.



(Fig. 289.)

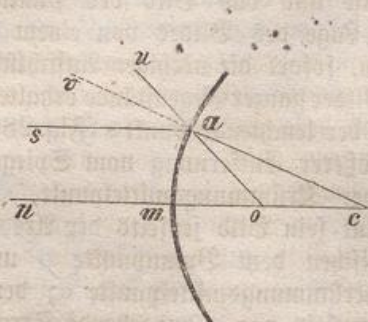
Ist umgekehrt der Gegenstand sn (Fig. 289) zwischen c und o, so erscheint sein verkehrtes und vergrößertes Bild re jenseits des Mittelpunktes des Spiegels. Wenn sich der Gegenstand innerhalb dieser Gränze dem Krümmungsmittelpunkte nähert, so nähert sich ihm auch das Bild und wird kleiner; nähert sich aber der Gegenstand dem Brennpunkte, so entfernt sich das Bild und wird größer, bis es endlich verschwindet, wenn der Gegenstand im Brennpunkte selbst ist, weil dann die zurückgeworfenen Strahlen parallel sind.



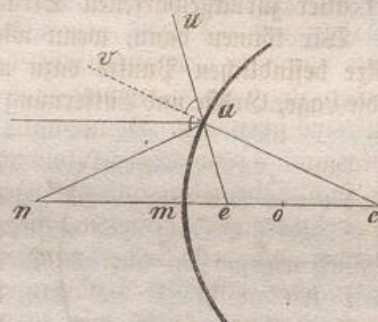
(Fig. 290.)

Ist der Gegenstand  $sn$  (Fig. 290) zwischen dem Brennpunkte  $o$  und dem Spiegel, so entsteht hinter dem Spiegel ein mathematisches grades und größeres Bild  $re$ , welches mit der Annäherung des Gegenstandes an den Spiegel sich ihm auch nähert und dabei kleiner wird, bis beide einander gleich sein würden, wenn der Gegenstand dem Spiegel bis zur Berührung sich nähern könnte.

Bei erhabenen Kugelspiegeln kann zwar eine vollständige Kugel vorhanden sein, aber man kann einen Gegenstand höchstens nur einer der beiden Hälften zur Spiegelung darbieten. Die Bilder sind stets hinter dem Spiegel, also mathematische und kleiner, als der Gegenstand.

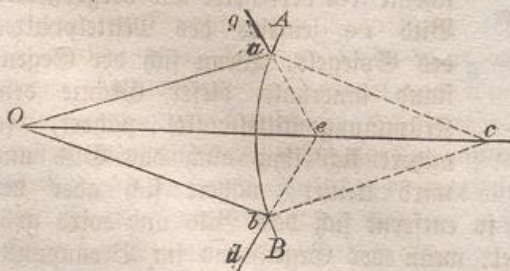


(Fig. 291.)



(Fig. 292.)

Jeder auf den Spiegel in der Richtung eines von der Spiegelfläche an verlängerten Kugelradius auffallende Lichtstrahl wie  $nm$  (Fig. 291) wird in seiner eigenen Richtung zurückgeworfen; jeder mit der Axe  $nc$  parallele Strahl, wie etwa  $sa$ , so in der Richtung  $au$  (wobei  $av$  als Verlängerung des Strahles  $ca$  das Einfallslot ist), daß die von  $a$  rückwärts gehende Verlängerung die Axe in dem Halbirungspunkte  $o$  des Kugelradius trifft.  $o$  heißt der negative Brennpunkt.

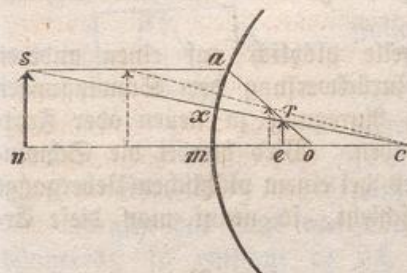


(Fig. 293.)

Gehen von einem Punkte  $n$  der Axe (Fig. 292) divergierende Strahlen, so bildet jeder, wie z. B.  $na$ , mit dem Einfallslot  $av$  einen größeren Einfallswinkel  $van$ , als der mit der Axe parallele Strahl; der zurückgeworfene Strahl  $au$  wird also bei

seiner Rückwärtsverlängerung die Aze in einem dem Spiegel näheren Punkte  $e$  treffen.

Läßt man von  $o$  aus (Fig. 293) zwei Strahlen  $oa$  und  $ob$  gehen und sind  $ag$  und  $bd$  ihre zurückgeworfenen Strahlen, so geben deren Verlängerungen rückwärts in ihrem Treffungspunkte  $e$  das Bild von  $o$ , welches dem Spiegel näher liegt, als der negative Brennpunkt.



(Fig. 294.)

Gehen die Strahlen von einem außerhalb der Aze liegenden Punkte  $s$  (Fig. 294) divergirend aus, so geht der nach dem Krümmungsmittelpunkte  $c$  gerichtete  $sx$  in sich selbst zurück, der mit der Aze parallele  $sa$  bei seiner Verlängerung rückwärts durch den Brennpunkt  $o$ , also entsteht in dem auf derselben Seite der Aze liegenden Durchschnittpunkte  $r$  beider Linien das Bild von  $s$ .

Ist nun vor dem Kugelspiegel ein ganzer Gegenstand  $sn$ , so entsteht von ihm ein aufrechtes und verkleinertes Bild  $re$  jenseits des Spiegels zwischen dem Brennpunkte  $o$  und dem Spiegel. — Je näher der Gegenstand dem Spiegel kommt, je mehr also die von einem gewissen Punkte desselben auf zwei gewisse Punkte des Spiegels fallenden Strahlen divergirend auffallen, desto mehr divergiren sie nach der Zurückwerfung und desto näher tritt auch das Bild auf der Rückseite dem Spiegel; aber mit der Annäherung des Gegenstandes an den Spiegel vergrößert sich sein Bild, wie es die punktirte Zeichnung andeutet und würde die Größe des Gegenstandes erreichen, wenn es möglich wäre, denselben mit dem Spiegel zur Berührung zu bringen.

Vollständige Kugelspiegel gewähren in hübschen Gegenden, Parkanlagen und anderwärts durch ihre theils todten, theils lebenden Bilder einen angenehmen Anblick. Man nimmt dazu hohle Glasfugeln, deren innere Fläche mit einem schwarzen oder metallisch glänzenden Stoffe überzogen wird.

Ein erhabener Zylinderspiegel verlängert einen Gegenstand in der Richtung seiner Längsaxe und ein Kegelspiegel nach seiner Spitze. Wenn man die durch solche Spiegel erhaltenen Verzerrungen eines Gegenstandes auf eine Ebene rings um den als Basis des Spiegels dienenden Kreis zeichnet und dann den Spiegel auf diesen Kreis setzt; so erscheint das Spiegelbild des Zerrbildes in seiner richtigen Gestalt. Diese, eine angenehme Unterhaltung gewährenden Darstellungen nennt man katoptrische Anamorphosen.