

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw. ~~302~~ .....

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Leistungswelt  
üblicher Darstellungen

L. Graeß

# Das Licht und die Farben

Zweite Auflage



Verlag von B. G. Teubner in Leipzig



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296126

Ein vo  
und G

„Aus Natur  
ejes Bandes.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig, Poststraße 3

# Künstlerischer Wandschmuck

für Haus und Schule. Farbige Künstlersteinzeichnungen

Gerade Werke echter Heimatkunst, die einfache Motive ausgestalten, bieten nicht nur dem Erwachsenen Wertvolles, sondern sind auch dem Kinde verständlich. Sie eignen sich deshalb besonders für das deutsche Haus und können seinen schönsten Schmuck bilden. Der Versuch hat gezeigt, daß sie sich in vornehm ausgestatteten Räumen ebensogut zu behaupten vermögen, wie sie das einfachste Wohnzimmer schmücken. Auch in der Schule finden die Bilder immer mehr Eingang. Maßgebende Pädagogen haben den hohen Wert der Bilder anerkannt, mehrere Regierungen haben das Unternehmen durch Ankauf und Empfehlung unterstützt.



J. Bergmann: Seerosen

Größe 100×70 cm. Preis 6 Mark. Ohne Glas gerahmt 14 Mark. Mit Glas gerahmt 19 Mark. Passende Rahmenfarbe dunkelrot.

„Es läßt sich kaum noch etwas zum Ruhme dieser wirklich künstlerischen Steinzeichnungen sagen, die nun schon in den weitesten Kreisen des Volkes allen Beifall gefunden und — was ausschlaggebend ist — von den anspruchsvollsten Kunstfreunden ebenso begehrt werden wie von jenen, denen es längst ein vergeblicher Wunsch war, das Heim wenigstens mit einem farbigen Original zu schmücken. Was sehr selten vorkommt: hier begegnet sich wirklich einmal das Volkes Lust am Beschauen und des Kenners Freude an der künstlerischen Wiedergabe der Außenwelt.“ (Kunst für Alle XII.)

„... Alt und jung war begeistert, geradezu glücklich über die Kraft malerischer Wirkungen, die hier für verhältnismäßig billigen Preis dargeboten wird. Endlich einmal etwas, was dem öden Oldruckbilde mit Erfolg gegenüberreten kann.“ (Pfarrer Naumann in der „Hilfe“.)

Katalog mit ca. 140 farbigen Abbildungen gegen Eins. von 20 Pf. postfrei vom Verlag.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig.

# Künstlerischer Wandschmuck

für Haus und Schule. Farbige Künstlersteinzeichnungen

**Größere Blätter:** Bildgröße 100 > 70 cm und 75 > 55 cm *M.* 6. — und *M.* 5. —  
Erschienen sind ca. 80 Blätter, darunter:

Banzer, Abend.  
Bergmann, Seerosen.  
Biele, Hünengrab — Im Stahlwerk b. Krupp.  
Conz, Schwarzwaldtanne.  
Dettmann, Duffanwerfer bei Stettin.  
Du Bois-Regmond, Alt. Landsch. (Atropolis).  
Gezmer, Volkslied.  
Georgi, Ernte — Pflügender Bauer.  
Georgi, Postkutsche — Tiroler Dörfer.  
Heder, Am Meeresstrand — Mühle am Wäher.  
Hein, Im Wasgenwald — Am Webstuhl.  
Herde, Heimkehr.  
Hoch, Silberboote — Gletscher — Kiefern.  
Kampmann, Mondaufgang.  
Kampmann, Abendrot — Herbstabend.  
Kanzold, Eichen.  
Leiber, Sonntagstillte.

Liebertmann, Im Park.  
Liner, Abendfrieden.  
Matthaei, Nordseeidyll.  
Munzfeld, Winternacht.  
Orlit, Rubenzahl — Hängel und Gretel.  
Otto, Christus u. Klotilde. Maria u. Martha.  
Paczka, Reigen.  
Roman, Paestum — Röm. Campagna.  
Schacht, Einsame Weibe.  
Schinnerer, Waldwiese — Winterabend.  
Schramm-Sittau, Schwäne.  
Strich-Chapell, Lieb Heimatland aber  
— Herbst im Land — Dorf in Dänen —  
Frühlingssäfte — Mondnacht.  
Süß, Sankt Georg.  
Volgt, Kirchgang.  
v. Volkmann, Wogendes Kornfeld.  
Wieland, Matterhorn — Lehtes Leuchten.

## Kleinere Blätter:

Bildgröße 41 > 30 cm. Erschienen sind  
32 Blätter, je *M.* 2.50, darunter:

Bedert, Sächsische Dorfstraße.  
Bendrat, Aus alter Zeit — St. Marien in  
Danzig — Jakobskirche in Thorn —  
Ordensburg Marienwerder — Die  
Marienburg — Ruine Rheden.  
Biele, Christmarkt — Einsamer Hof.  
Daur, Beschnitte Höhen — Kapelle.  
Silentscher, Matmorgen.  
Hein, Das Tal.  
Hilfenbrand, Was der Mond erzählt.  
Kampmann, Herbststürme — Seherabend.  
Lutz, Altes Städtchen.  
Ortleb, Herbstluft.  
Pequet, Am Stadttor.  
Strich-Chapell, Blühende Kastanien.  
Strich-Chapell, Heuernte.  
v. Volkmann, Frühling auf der Weibe.  
Zessing, Dresden. Herbst in der Eifel.  
Leinwandmappe m. 10 Bl. n. Wahl *M.* 28. —  
Kartonmappe m. 5 Blätt. n. Wahl *M.* 12. —

## Bunte Blätter:

Kleinste Künstlersteinzeichnungen.

Blattgröße 33 > 23 cm.

Erschienen sind 16 Blätter,  
je *M.* 1. —, darunter:

Biele, Verjähret.  
Daur, Am Meer.  
Silentscher, Am Waldstrand.  
Glück, Morgenröthe im Hochgebirge.  
Hilfenbrand, Stilles Gähnen.  
Kampmann, Baunblüte — Bergdorf.  
Knapp, Unter dem Apfelbaum.  
Matthaei, In den Marijden.  
Schroedter, Bergschlößchen.  
In Furniterrahmen. . . . . *M.* 1.80  
In massivem Rahmen . . . . . *M.* 3. —  
Leinwandmappe mit 10 Blättern nach  
Wahl . . . . . *M.* 12. —  
Kartonmappe mit 5 Blättern nach  
Wahl. . . . . *M.* 5. —

## Wand-Frieße:

Bildgröße 105 > 44 cm je *M.* 4. —

Rehm-Dietor, Wer will unter die Soldaten  
— Wir wollen die goldene Bräute hauen  
— Schlaraffenland — Schlaraffenleben  
— Englein z. Nacht — Englein z. Hut.  
Lang, Um die Wurst — Heiteres Spiel.  
Herrmann, Im Moor — Aschenbrödel —  
Kottköpchen.  
Rahmen v. *M.* 2. — bis *M.* 17. — laut Katalog.

**Porträts:** Größe 60 > 50 cm *M.* 3. —

Bauer, Goethe — Schiller — Luther.  
Kampf, Kaiser Wilhelm II.  
Bauer, Kleines Schillerbild. Größe  
19 > 29 cm. Preis 1 *M.* in Furnier-  
rahmen 2 *M.* in massivem Rahmen 3 *M.*

**Rahmen:** Zu d. größ. Blättern *M.* 3.80  
bis *M.* 17. — zu d. kleineren *M.* 2. — bis 4. —

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

17. Bändchen

## Das Licht und die Farben

Sechs Vorlesungen

gehalten im Volkshochschulverein München von

Dr. Leo Graeß

Professor an der Universität München

Zweite Auflage

Mit 116 Abbildungen



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig 1905

W 5/3  
270/4



~~I 599~~



I 301680

Akc. Nr. ~~2500~~ / 51

BPK-B-131/2017

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

## Vorwort.

Die hier im Druck vorliegenden Vorlesungen wurden im Winter 1898 im Volkshochschulverein München vor einem Publikum gehalten, welches im wesentlichen aus den gebildeten Klassen und zwar zu einem guten Teil aus Künstlern bestand. Nach der Zusammensetzung des Publikums richtete sich die Form der Vorträge. Für den Inhalt aber war bestimmend, daß keinerlei spezielle Kenntnisse vorausgesetzt werden durften, daß selbstverständlich von jeder Anwendung der Mathematik, so einfach sie auch wäre, abgesehen werden mußte und daß doch das Verständnis für die hauptsächlichsten optischen Erscheinungen erzielt werden sollte. Eine große Reihe sorgfältig ausgewählter Experimente führte, um dieses Ziel in der kurzen Zeit zu erreichen, den Zuhörern alle wichtigen optischen Erscheinungen selbst vor Augen und der Vortragende bemühte sich, aus diesen Erscheinungen vor den Zuhörern die entsprechenden Folgerungen zu entwickeln, die Gesetze der Optik sowohl, wie die Wellentheorie des Lichtes aus ihnen abzuleiten. Es gelang auf diese Weise, in den sechs Vorlesungsstunden, ausgehend von den einfachsten Erscheinungen der geradlinigen Ausbreitung, die Zuhörer allmählich in die Theorie der Farben einzuführen und sie bis zu den Erscheinungen der Polarisation des Lichtes zu leiten, den Zusammenhang zwischen den optischen, thermischen, chemischen und elektrischen Strahlen darzulegen, die Wellentheorie des Lichtes zu begründen und durch Experimente zu stützen und endlich eine große Zahl von Anwendungen optischer Erscheinungen zu besprechen. Da so diese Vorlesungen eine kurze, aber abgerundete Darstellung der gesamten Optik geben,

dürften sie auch, wie ich hoffe, in Buchform dem Ziele entsprechen, welches die Volkshochschulvorlesungen sich gesetzt haben, nämlich gründliches, sicheres Wissen in weitere Kreise zu tragen. Für den Druck wurden die Experimente durch eine große Zahl von Abbildungen ersetzt. Es sei besonders erwähnt, daß dieselben, soweit sie nicht schematisch sind, direkt nach den wirklichen Aufstellungen der betreffenden Apparate hergestellt wurden, so daß es leicht ist, nach ihnen die Versuchsanordnung richtig zu machen. Die zweite Auflage wurde im einzelnen sorgfältig durchgesehen und an einigen Stellen die Darstellung verändert und erweitert.

München, Januar 1905.

Gratz.

## Inhaltsverzeichnis.

### Erste Vorlesung.

Geradlinige Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichts. S. 1—30

Bogenlampe als Lichtquelle. Isolierung schmaler Lichtbündel. Geradlinige Ausbreitung derselben. Camera obscura. Schattenbildung. Regelmäßige Zurückwerfung des Lichts. Bilder von ebenen Spiegeln. Kaleidoskop. Konkavspiegel. Reelle Bilder. Brennlinien. Diffuse Zurückwerfung. Brechung des Lichts. Brechungsgesetz. Totale Reflexion. Linsen. Projektionsbilder.

### Zweite Vorlesung.

Farbenzerstreuung, Farbenmischung. Spektra. S. 31—55  
Goethes und Newtons Theorien der Farben. Dispersion durch Prismen. Zerlegung des weißen Lichts. Homogene Farben. Zusammensetzung weißen Lichts aus den Farben. Komplementäre Farben. Gelb und Blau geben zusammen Weiß. Körperfarben. Absorptionspektra. Mischung von zwei und mehr Farben durch Addition. Purpur. Mischung durch Subtraktion. Farbige Flammen. Emissionspektra. Spektralanalyse.

Fraunhofer'sche Linien. Umkehrung der Natriumlinie. Konstitution der Sonne. Sonnenkorona. Helium.

### Dritte Vorlesung.

Interferenzen. Wellennatur des Lichts. Lichtäther. S. 56—77  
Farben der Seifenblasen. Newtons Farbenglas. Interferenzen. Wellenbewegung. Wellenlänge. Schwingungszahl, Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts. Wann interferieren zwei Wellen? Versuche von Young und Fresnel und Modifikation derselben. Wellenlängen der verschiedenen Farben. Lichtäther.

### Vierte Vorlesung.

Einwände gegen die Wellentheorie. Beugungserscheinungen.

S. 78—93

Warum zeigen nur dünne Platten die Farben? Interferenzen im reflektierten weißen Licht von dickeren Platten und von Seifenlamellen. Kann Licht um Ecken herumgehen? Beugung durch einen Spalt. Beugungsgitter. Normale Spektra. Reflexionsgitter. Die Beugungserscheinungen sind direkte Beweise für die Wellentheorie.

## Fünfte Vorlesung.

Ultrarote, ultraviolette Strahlen. Fluoreszenz. Phosphoreszenz. Photographie. Farbige Photographie. S. 94—122

Wärmewirkung der Strahlen. Ultrarote Strahlen. Wellenlängen derselben. Reflexion und Brechung derselben. Chemische Wirkung der Strahlen. Ultraviolette Strahlen. Fluoreszenzercheinungen. Sichtbarmachung der ultravioletten Strahlen. Fluoreszenz durch elektrisch leuchtende Gase. Phosphoreszenz. Umwandlung der Energie des absorbierten Lichts. Photographie mit Trockenplatten. Stehende Wellen. Lippmannsche Farbenphotographie. Darstellung gewöhnlicher Photographien in natürlichen Farben durch den Farbenmischungsapparat. Joly'sche farbige Photographien.

## Sechste Vorlesung.

Transversale Wellen. Doppelbrechung. Drehung. Elektrische Wellen. S. 123—151

Wellenbewegungen können von zweierlei Art sein, longitudinal und transversal. Beobachtung von Malus. Der reflektierte Strahl ist polarisiert. Die Lichtwellen sind daher transversal. Doppelbrechung durch Kalkspat. Beide Strahlen sind polarisiert. Nicol'sche Prismen. Drehung der Polarisationsebene durch Zucker. Anwendung derselben im Zolldienst. Gipsblättchen zwischen Nicol's. Erklärung der Farbenerscheinungen. Lange Wellen, die durch den elektrischen Funken erzeugt werden. Kohärer. Geradlinige Fortpflanzung. Reflexion, Brechung, Konzentration d. elektr. Wellen. Schluß. S. 152

Register.

## Erste Vorlesung.

### Geradlinige Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichts.

Anders beobachtet der Naturfreund das Licht und die Farben in der Natur, anders der Künstler, anders der Forscher. Der Naturfreund genießt naiv das Zusammenspiel aller der Tausende von Einzelercheinungen des Lichtes, aus welchen das Bild einer Landschaft, eines Menschen, ja jedes einzelnen Gegenstandes sich kombiniert, ohne sich über das Zusammenwirken im allgemeinen irgendwie Rechenschaft geben zu wollen. Der Künstler beobachtet die Natur viel genauer und kennt sie auch viel genauer. Er muß bei jeder Einzelheit, um sie nachzubilden zu können, verweilen, er erkennt, wie sich die Beleuchtung jedes einzelnen Gegenstandes, ja jedes Theiles eines solchen, zusammensetzt aus so und so vielen Quellen, wie jede Veränderung in der Umgebung, wie jeder Wechsel in der Stellung von Gegenständen auch merkbare Unterschiede der Lichtwirkung hervorbringt. Aber ihm kommt es im allgemeinen immer nur auf das Resultat der Zusammensetzung an. Dieses sucht er nachzubilden. Die Gesetze, nach denen die Erscheinungen vor sich gehen, sind ihm nur etwas Nebensächliches. Sie dienen ihm höchstens dazu, nicht direkt Beobachtetes auch richtig darzustellen, aber sie können ihm, eben wegen der Vielseitigkeit der Natur, nie die Beobachtung ersetzen. Diese Gesetze aber gerade sind die Freude und die Domäne des Naturforschers. Ihm löst sich das ganze Bild auf in seine Einzelheiten, von diesen Einzelheiten sucht er sich genaue Rechenschaft zu geben und er findet immer und immer wieder, nicht bloß im Gebiete des Lichtes, daß die Elemente, aus denen sich die Natur zusammensetzt, äußerst einfache sind und daß die wunderbare Mannigfaltigkeit und Kompliziertheit alles dessen, was wir in der Natur vor uns sehen,

sich nur aus dem Zusammenwirken einer sehr großen Menge von Elementen ergibt, die aber selbst die einfachst denkbaren sind.

Der Naturforscher, der Physiker, also muß stets versuchen, aus der verwirrenden Fülle der Erscheinungen aller Art sich die Elemente herauszusuchen, die große Mannigfaltigkeit der Natur zu beschränken, die Erscheinungen zu isolieren. Derjenige, der zum erstenmal bewußterweise in ein dunkles Zimmer durch eine kleine Öffnung einen einzelnen schmalen Strahl von Sonnenlicht hineinfallen ließ, um ihn zu untersuchen, war ein echter Naturforscher. Sein Name ist nicht bekannt, aber seine

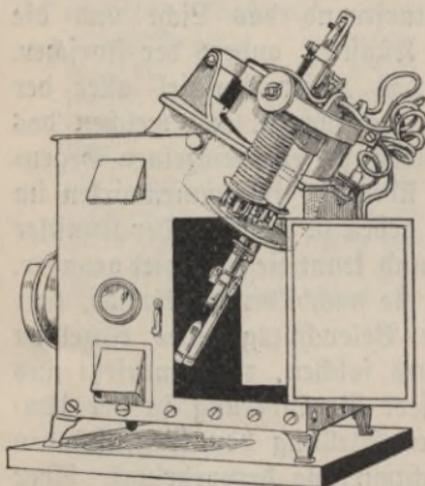


Fig. 1.

Methode war die richtige. Ein solches enges Lichtbündel, gewissermaßen ein einziger Strahl, den wir verfolgen, muß sofort genaue und sichere Auskunft darüber geben, wie sich die verschiedenen Körper dem Licht gegenüber verhalten, viel genauere, als wenn wir diese Auskunft ohne das Experiment, nur aus der Betrachtung der Natur, schöpfen wollten, da diese eben so mannigfaltig ist. Machen wir also dieses Experiment nach und sehen wir zu, was es uns zeigt. Ich kann natürlich wegen der Abendstunden dieser Vorlesungen einen Sonnenstrahl nicht in diesen Raum hineinlassen. Aber auch wenn es Tag wäre, würde ich mich auf die Sonne nicht verlassen, die bei uns zu häufig hinter Wolken versteckt ist, als daß ein Experimentator mit Sicherheit auf sie rechnen könnte. Wir wollen uns eine künstliche Sonne, eine möglichst starke, möglichst weiße Lichtquelle verschaffen. Das elektrische Bogenlicht ist dazu vorzüglich geeignet. Es ist das hellste Licht, das wir künstlich erzeugen können und es ähnelt in seiner Weiße dem Licht der Sonne. Ich habe hier in diesem Metallkasten (Fig. 1), den Sie jetzt geöffnet sehen, eine elektrische Bogenlampe. Bei einer solchen wird bekanntlich der elektrische Strom durch zwei Kohlen ge-

leitet, welche hier einander schräg gegenübergestellt sind. Wenn diese Kohlen sich nicht direkt berühren, sondern einen Abstand von einigen Millimetern zwischen sich haben, so bringt der elektrische Strom eine starke Erhitzung bis zur hellen Weißglut der Kohlenenden hervor und bringt auch die Luftzwischen-schicht zum Leuchten. Dieses helle Licht soll uns also die Sonne ersetzen. Damit das Licht längere Zeit mit möglichst gleicher Stärke strahlt, muß eine solche Bogenlampe eine selbsttätige Regulierung besitzen, welche die Kohlen, auch wenn sie abbrennen, immer wieder in gleichen Abstand voneinander bringt. Diese Regulierungsvorrichtung, die in dem Aufsatz der Lampe, oben in der Figur, enthalten ist, hier zu beschreiben, ist aber für unsere Zwecke nicht nötig. Es genügt uns zu wissen, wie wir unsere helle Lichtquelle erzeugen können. Ganz allerdings

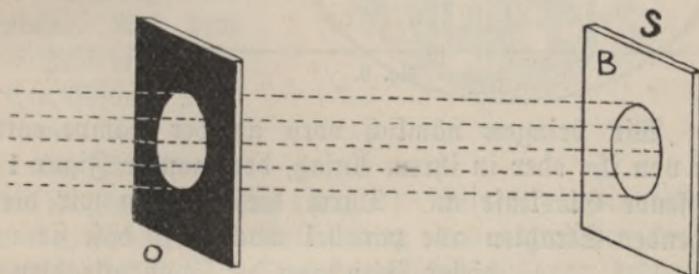


Fig. 2.

ersetzt diese uns die Sonne noch nicht, und zwar aus zwei Gründen. Erstens ist kräftiges Sonnenlicht noch viel heller als elektrisches Licht, ein Umstand, den wir in den Kauf nehmen müssen. Zweitens aber sind die Lichtstrahlen, die von der Sonne kommen, alle, wie man es nennt, parallel. Wenn man Sonnenlicht durch eine kreisförmige Öffnung *O* (Fig. 2) im Fensterladen fallen läßt, so bildet sich auf einer gegenüberliegenden Wand *S* ein heller Kreis *B* ab, der genau ebenso groß ist wie die Öffnung. Das beruht eben darauf, daß die Strahlen von der Sonne, da diese sehr weit entfernt ist, parallel auf die Öffnung fallen. Ganz anders ist es zunächst bei unserer Bogenlampe. Lassen wir das Licht unserer Kohlen (Fig. 3) durch eine kreisförmige Öffnung *B* der Lampe auf die Wand fallen, so wird der dort entstehende Kreis um so größer, je weiter die Wand von der Öffnung absteht, und die Ränder

werden ganz unscharf. Das Licht der Bogenlampe ist eben nicht parallel, sondern es ist divergent.

Wir können aber diesen Mangel durch eine optische Vorrichtung beseitigen, die wir allerdings erst später verstehen lernen

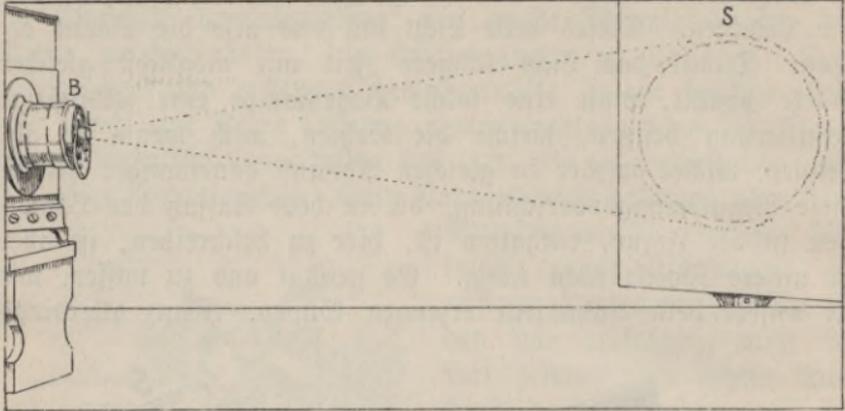


Fig. 3.

werden. Wir bringen nämlich vorn an der Lampe entweder getrennt von ihr oder in ihrem Ansatz, den man in Figur 1 sieht, eine passende Glaslinse an. Durch diese können wir die hindurchgehenden Strahlen alle parallel machen, so daß sie uns in

dieser Beziehung die Sonnenstrahlen möglichst ersetzen. In der That, wenn wir nun vor die Lampenöffnung einen schwarzen Schirm mit einer kreisförmigen Öffnung stellen und das Licht der Lampe durch die Öffnung hindurch auf eine weiße Wand fallen lassen, so erhalten wir dort einen Kreis von derselben Größe wie die Öffnung.

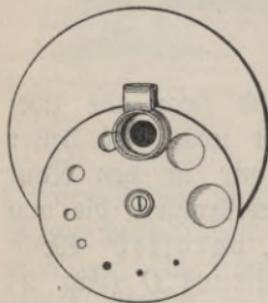


Fig. 4.

Es ist für unsere Zwecke die erste Aufgabe, dünne, schmale Lichtbündel allein zu betrachten. Um solche zu erhalten, bedienen wir uns der in Figur 4 abgebildeten Lochscheibe, die wir vor die Öffnung der Lampe setzen. Durch Drehen der Scheibe wird immer ein Loch von verschiedener Größe für den Durchgang des Lichtes freigelassen. Auch können wir durch den Spalt (Fig. 5) statt eines kreisförmigen Lichtbündels ein schmales spaltförmiges durchgehen lassen. Den Spalt selbst können wir durch Drehen der Schraube beliebig eng oder weit machen.

Wie rasch wir nun neue und präzise Einsichten über die Gesetze des Lichtes gewinnen, wenn wir nur mit sehr dünnen Lichtbündeln operieren, werden wir jetzt an einigen einfachen Experimenten lernen. Wir wollen zuerst das Licht unserer

Bogenlampe direkt, das heißt ohne es durch die Linse parallel zu machen, durch eine enge Öffnung gehen lassen. Wir nehmen also die Linse aus der Lampe heraus und verschließen die Öffnung durch unsere Lochscheibe *B*, deren kleinste Öffnung wir anwenden. Auf dem weißen Schirm, der in etwa 6 m Abstand steht, sehen wir nun ganz direkt eine Abbildung

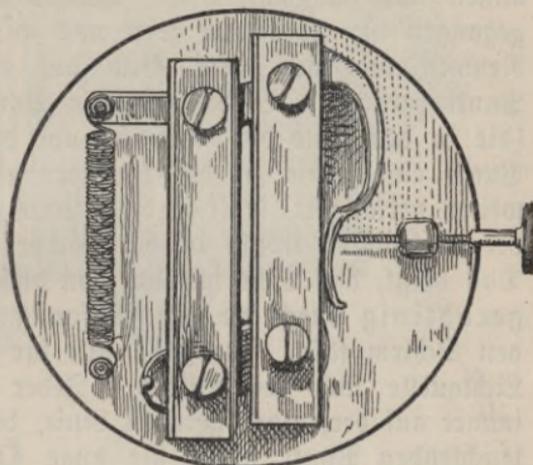


Fig. 5.

unseres Bogenlichts selbst (Fig. 6). Wir sehen die beiden hellleuchtenden Enden der Kohlenstäbe und dazwischen die bläulich leuchtende Luftschicht. Wenn wir aber genauer beobachten, so

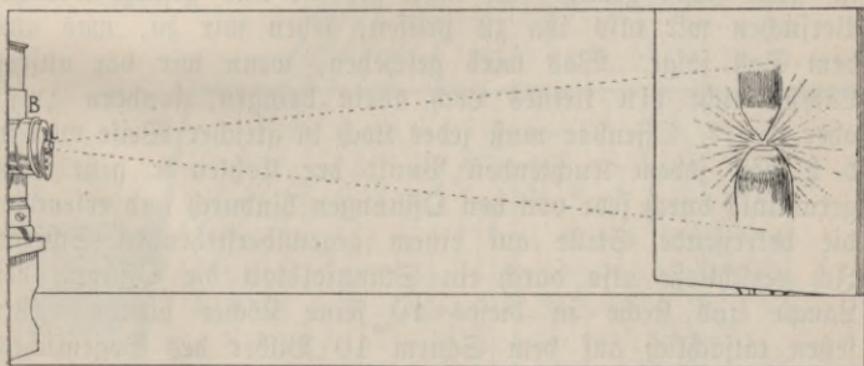


Fig. 6.

finden wir, daß das Bild auf dem Schirm umgekehrt ist. Die Kohle, die in der Lampe oben ist, ist im Bild unten und umgekehrt.

Was sagt uns dieses Experiment aus, wie können wir das am einfachsten in ein Gesetz fassen? Offenbar geht von allen

leuchtenden Stellen des Bogenlichts, von den Kohlen sowohl wie von der leuchtenden Luftschicht, Licht nach allen Seiten aus. Dadurch aber, daß wir die ganze Lampe eingeschlossen und nur die eine kleine Öffnung gelassen haben, dringt nach außen nur dasjenige Licht, welches durch die kleine Öffnung gegangen ist. Und nun zeigt uns unser Experiment folgendes. Nehmen wir von dem Bild auf dem Schirm irgendeinen Punkt heraus, z. B. den obersten Punkt der zugespitzten Kohle (die in dem Bild die obere ist), und denken wir uns von diesem Punkt eine Linie zu der kreisförmigen Öffnung gezogen und weiter verlängert, so trifft diese Linie genau den obersten Punkt der zugespitzten Kohle in der Lampe, die dort die untere ist. Das heißt, das Licht hat sich von diesem Punkt der Kohle ganz geradlinig durch die enge Öffnung fortgepflanzt, bis es auf den Schirm fällt. Dasselbe gilt für jeden anderen Punkt der Lichtquelle und des Bildes. Jeder Punkt des Bildes liegt immer auf derjenigen geraden Linie, die von dem entsprechenden leuchtenden Punkt durch die enge Öffnung gezogen ist. In Figur 6 haben wir einige solche Linien gezogen. Wir können also aus unserem Experiment folgenden Schluß ziehen: Das Licht geht von jedem leuchtenden Punkte aus in geraden Linien fort.

Ein solcher Schluß aber aus einem einzigen Experiment ist nicht sicher genug. Er muß geprüft und gestützt werden. Versuchen wir also ihn zu prüfen, sehen wir zu, was aus dem Satz folgt. Was wird geschehen, wenn wir vor unsere Lampe nicht ein kleines Loch allein bringen, sondern zwei oder drei? Offenbar muß jedes Loch in gleicher Weise wirken, d. h. von jedem leuchtenden Punkt der Kohlen u. geht Licht geradlinig durch jede von den Öffnungen hindurch und erleuchtet die betreffende Stelle auf einem gegenüberstehenden Schirm. Ich verschließe also durch ein Stanniolblatt die Öffnung der Lampe und steche in dieses 10 feine Löcher hinein. Wir sehen tatsächlich auf dem Schirm 10 Bilder des Bogenlichts, wie Figur 7 zeigt. Sind die Löcher aber einander sehr nahe, so überdecken sich die einzelnen Bilder, und die Konturen verschwimmen. Eine weitere Folgerung unseres Satzes ist diese: Bisher nahmen wir an, daß die Öffnung, durch die das Licht geht, sehr klein ist, etwa ein Stecknadelstich. Ist sie aber ausgedehnter, so sieht man ebenfalls leicht, daß man kein deutliches

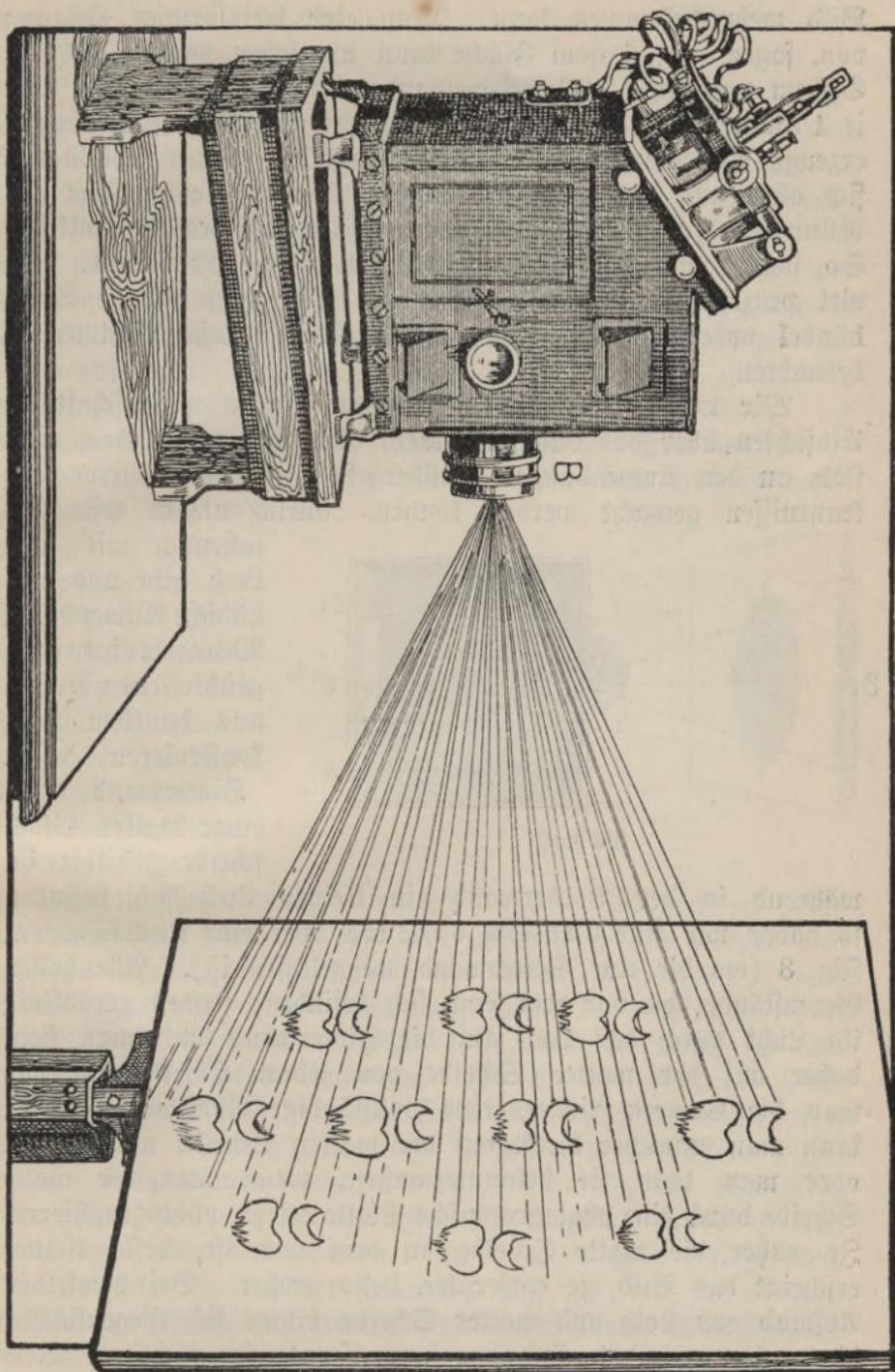


Fig. 7.

Bild mehr bekommen kann. Denn eine kreisförmige Öffnung von, sagen wir, 1 qcm Fläche kann angesehen werden als ein System von etwa 100 nebeneinander liegenden Öffnungen von je 1 qmm Fläche. Jede von den letzteren sehr kleinen Öffnungen erzeugt ein scharfes Bild. Diese einzelnen Bilder überlagern sich aber und das Resultat ist eine ziemlich gleichmäßige Erhellung des Schirms, aber keine Abbildung des Bogenlichts. So sieht man schon hier bei unserem ersten Experiment, wieviel präziser die Einsichten werden, wenn man dünne Lichtbündel untersucht, als wenn man beliebig große Lichtmengen betrachtet.

Wir wollen zwar in diesen Vorlesungen wissenschaftliche Einsichten über das Licht gewinnen, aber wir wollen doch nicht stolz an den Anwendungen vorübergehen, die von unseren Erkenntnissen gemacht werden können. Gleich unsere erste Er-

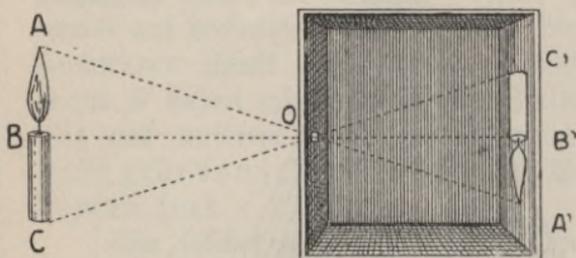


Fig. 8.

fahrung mit dem Loch gibt uns eine hübsche Anwendung. Wenn wir einen ganz geschlossenen Kasten aus dunklem Holz konstruieren, dessen Hinterwand von einer matten Glasscheibe gebildet ist,

während in der Vorderwand ein kleines Loch sich befindet so haben wir eine Camera obscura oder eine Lochcamera, Fig. 8 (wo die eine Seitenwand weggelassen ist). Alle hellen Gegenstände, die vor dem Loch sich befinden, senden geradlinig ihr Licht durch das Loch auf die Hinterwand und man sieht daher auf der matten Scheibe von jedem Objekt, auf das man die Camera richtet, eine vollständige Abbildung. Diese kann man entweder direkt auf der matten Scheibe nachzeichnen oder man kann sie bekanntermaßen, wenn man die matte Scheibe durch eine photographische Platte ersetzt, photographieren. Je näher die matte Scheibe an dem Loch ist, desto kleiner erscheint das Bild, je entfernter, desto größer. Bei demselben Abstand von Loch und matter Scheibe bilden sich Gegenstände, die nahe am Loch sind, groß, entfernte im richtigen Verhältnisse klein ab. In unserer Figur erzeugt das Licht  $ABC$

auf der matten Scheibe ein verkleinertes, umgekehrtes Bild  $A'B'C'$ .

Eine weitere Folgerung unseres Gesetzes von der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes ist die Bildung der Schatten. Die Erscheinungsweisen desselben sind verschieden, je nachdem das Licht von einer sehr kleinen, punktförmigen Lichtquelle, oder von einem ausgedehnten Körper ausgeht. Ich kann das Licht unserer Bogenlampe, nachdem es durch die Öffnung der Laterne hindurchgegangen ist, dadurch, daß ich eine Linse in passender Entfernung vorstelle, zu einem Strahlenkegel zusammendrängen, der sich in einem Punkt vereinigt und dann wieder auseinandergeht. Die Wirkungsweise der Linse, die das verursacht, werden wir später besprechen. Hier wollen wir nur die Eigenschaft derselben benutzen. Von dem Vereinigungspunkte  $O$  (Fig. 9)

geht also ein leuchtender Kegel aus, der auf der weißen Wand einen hellen Lichtkreis erzeugt. Ich bringe in diesen Lichtkegel eine Holzku-  
 gel  $BB'$  hinein und wir sehen auf der Wand einen ganz scharf be-

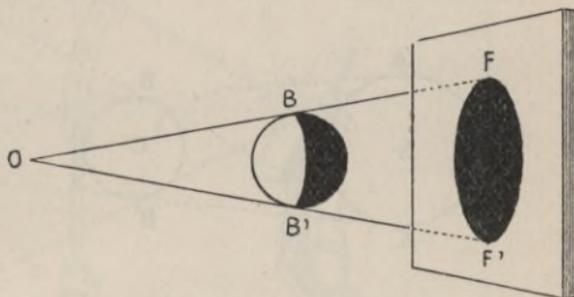


Fig. 9.

grenzten tiefschwarzen Schatten  $FF'$ . Alle Lichtstrahlen gehen geradlinig fort. Wo sie von dem undurchsichtigen Körper aufgehalten werden, erscheint auf der Wand Dunkelheit. Ganz anders aber wird die Erscheinung, wenn ich nicht von einem Punkte aus das Licht ausgehen lasse, sondern wenn ich eine ausgedehnte Lichtquelle anwende. Ich brauche bloß die Linse fortzunehmen. Dann wird das Schattenbild unserer Kugel sofort ein anderes. Um den tiefdunkeln Schatten in der Mitte bildet sich ein ausgedehnter, weniger dunkler Schatten, der allmählich, aber nicht scharf, in die Helligkeit übergeht. Den ersten Teil nennt man den Kernschatten, den zweiten den Halbschatten. Der Kernschatten entsteht dadurch, daß an die betreffenden Stellen der Wand von keinem Punkte des leuchtenden Körpers aus Licht hingelangt, der Halbschatten dadurch, daß dort von einigen Teilen der Lichtquelle das Licht hinkommt, von anderen

abgehalten wird. In Figur 10 ist das Schattenbild derselben Kugel gezeichnet, wenn sie von einer leuchtenden Kugel  $AA'$  bestrahlt wird. Zum Kreise  $K$  kommt gar kein Licht, nach  $H$  kommt Licht zum Teil von oben, zum Teil von unten, so daß diese Stellen bloß halbbeschattet sind.

Also auch die Schattenbildungen beweisen das Gesetz von der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes. Und doch, so scharf es durch die vorhergegangenen Experimente bewiesen erscheint, das Gesetz ist nicht ganz streng richtig. Wir werden später finden, daß in gewissen Grenzen, die allerdings gewöhnlich sehr

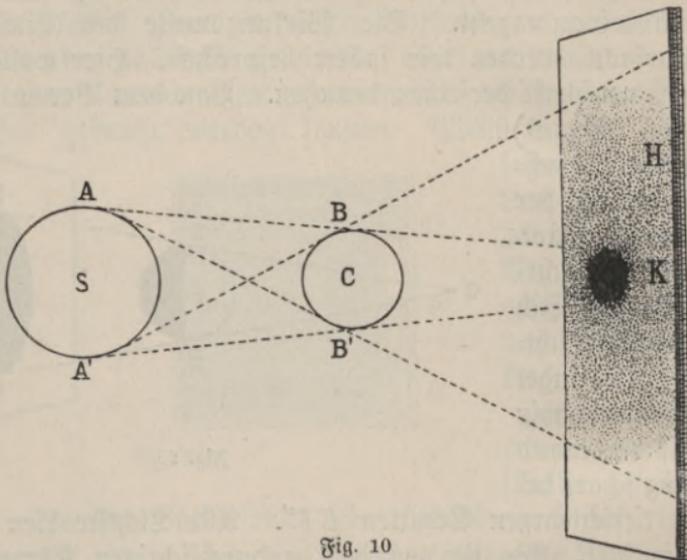


Fig. 10

eng sind, das Licht auch von der geradlinigen Bahn abweicht und um Ecken herum biegt. Aber solange wir auf solche Erscheinungen nicht stoßen, wollen wir die geradlinige Ausbreitung als tatsächlich vorhanden ansehen.

Im gewöhnlichen Leben haben die Spiegel nur die Aufgabe, unser mehr oder minder liebliches Konterfei wiederzugeben. In der Optik sind die Spiegel ebenfalls vielgebrauchte Apparate. Aber natürlich benutzt der Physiker die Spiegel nicht aus Eitelkeit, sondern er will wissen, welchem Gesetze des Lichts der Spiegel seine Fähigkeit verdankt. Befragen wir also wieder unsere dünnen Lichtbündel. Ich setze vor meine Lampe jetzt den schmalen Spalt aus Figur 5 und mache das aus der Lampe



und zugleich die Richtung der Strahlen in Zahlen ausdrücken lassen. Nun sehen wir leicht an den Wegen der Lichtbündel: Der von dem Spiegel zurückgeworfene Strahl  $R$  bildet mit dem Zeiger immer genau denselben Winkel, wie der auf den Spiegel fallende Strahl, den wir den einfallenden Strahl  $E$  nennen wollen, mit dem Zeiger bildet. In der Figur ist jeder von beiden Winkeln  $40^\circ$ . Drehen wir den Spiegel, so daß der Zeiger auf  $20^\circ$  steht, so geht der reflektierte Strahl bei  $40^\circ$  vorbei. Den Zeiger, der senkrecht auf dem Spiegel befestigt ist, bezeichnen wir als das Einfallslot oder kürzer und gelehrter als die Normale des Spiegels und wir können also aus diesem Experiment aussagen: Der reflektierte Strahl bildet mit der Normale des Spiegels immer denselben Winkel wie der einfallende Strahl, oder noch kürzer in leicht verständlicher Ausdrucksweise: Der Reflexionswinkel  $a$  ist immer gleich dem Einfallswinkel  $b$ . Dies ist das Gesetz und zwar das einzige der Spiegel.

Wenn das aber das einzige Gesetz der Spiegel ist, so müssen wir alle Erscheinungen, die die Spiegel zeigen, daraus ableiten können. Also zunächst die Tatsache, daß ein Spiegel uns unser Abbild oder das Bild jedes anderen Gegenstandes wiedergibt. Nichts ist in der That leichter als das. Es sei in Fig. 12  $MM'$  eine spiegelnde Fläche und vor dem Spiegel befinde sich der Pfeil  $AB$ . Von jedem Punkte des Pfeils aus gehen Lichtstrahlen nach allen Seiten geradlinig fort. Wir betrachten bloß diejenigen Lichtstrahlen, die von der äußersten Spitze und von dem äußersten Ende des Pfeiles ausgehen. An beiden Stellen sind eine Anzahl solcher ausgehenden Strahlen gezeichnet. Die von  $A$  ausgehenden kommen in der Nähe von  $C$  an den Spiegel und werden dort nach dem Spiegelgesetz unter gleichen Winkeln reflektiert, ebenso werden die von  $B$  ausgehenden in der Nähe von  $D$  reflektiert. Aus der Richtung der reflektierten Strahlen sieht man, daß in ein Auge bei  $O$  von  $C$  aus Strahlen kommen, die alle von einem Punkte  $A'$  hinter dem Spiegel auszugehen scheinen, ebenso von  $D$  aus Strahlen, die von  $B'$  auszugehen scheinen. Das Auge glaubt die Ausgangspunkte dieser auseinandergehenden (divergierenden) Strahlen in  $A'$  und  $B'$  zu finden und sieht dort das Bild des Pfeiles. Dieses Bild ist nicht wirklich vorhanden, da die Strahlen von  $C$  und  $D$  aus sich tatsächlich nicht hinter den Spiegel erstrecken,

sondern es ist nur ein subjektives oder wie man es nennt, virtuelles Bild. Zugleich sieht man, daß der Punkt  $A'$  genau so weit hinter dem Spiegel ist, als  $A$  vor demselben, und dasselbe gilt für  $B$  und  $B'$ . Also haben wir den Satz: Jeder ebene Spiegel entwirft von einem Objekt ein virtuelles Bild, dessen einzelne Punkte ebensoweit

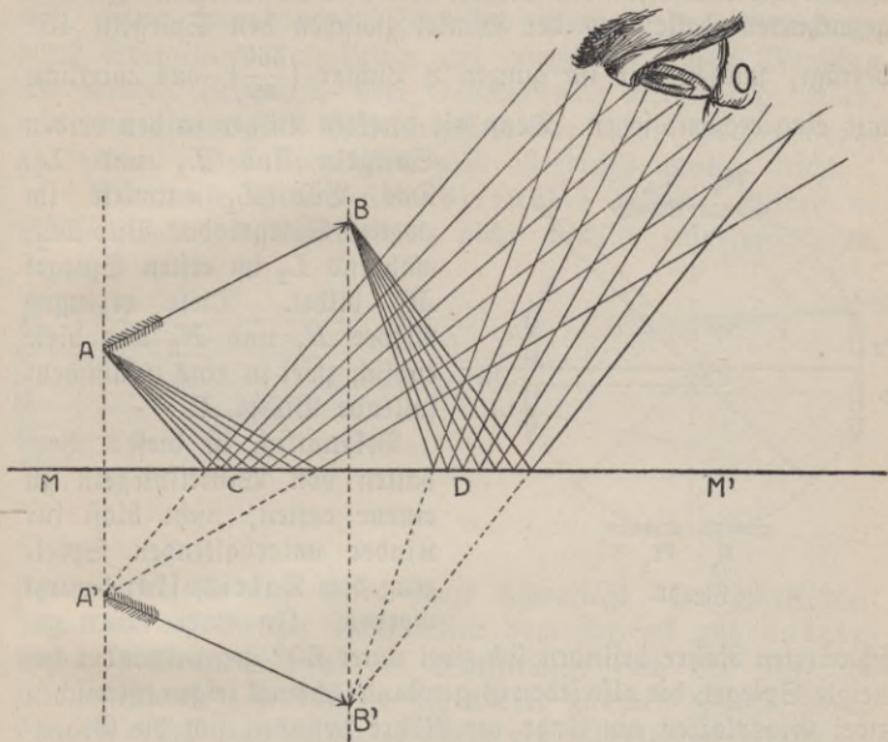


Fig. 12.

hinter dem Spiegel liegen, als die entsprechenden Objektpunkte vor dem Spiegel.

Wir übersehen nun leicht, wie die Erscheinungen an Spiegeln sich in komplizierteren Fällen darstellen werden. Wenn z. B. zwei ebene Spiegel sich einander gegenüberstehen und wir treten dazwischen, so müssen wir eine ganze Reihe von Bildern unseres Gesichts und unseres Hinterkopfs sehen. Der Spiegel, den wir anschauen, gibt uns zunächst unser Gesicht. Der andere Spiegel erzeugt ein virtuelles Bild des Hinterkopfs, welches wieder im ersten Spiegel ein neues virtuelles Bild

erzeugt und es wirken immer weiter die virtuellen Bilder wieder als Gegenstände zur Erzeugung neuer Bilder. In jedem Friseurladen machen wir die Probe auf diese Erscheinung.

Saben wir andererseits zwei Spiegel, welche gegeneinander unter einem Winkel geneigt sind, wie die beiden Spiegel  $CA$  und  $CB$  der Fig. 13 und bringen wir zwischen sie ein Licht, so müssen wir eine bestimmte Anzahl von Bildern erblicken. In dem gezeichneten Falle, wo der Winkel zwischen den Spiegeln  $45^\circ$  beträgt, müssen wir im ganzen 8 Lichter  $\left(\frac{360}{45}\right)$ , das wirkliche mit eingerechnet, sehen. Denn die direkten Bilder in den beiden

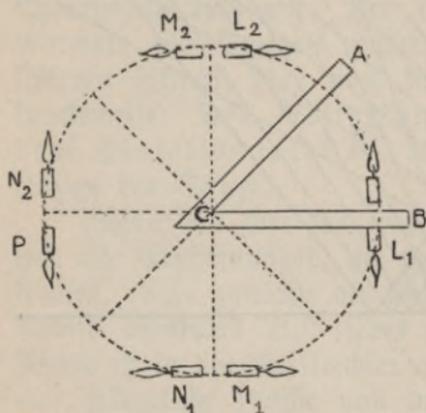


Fig. 13.

Spiegeln sind  $L_1$  und  $L_2$ . Das Bild  $L_1$  entwirft im zweiten Spiegel das Bild  $M_2$ , während  $L_2$  im ersten Spiegel  $M_1$  bildet. Diese erzeugen wieder  $N_1$  und  $N_2$  und diese endlich zwei in eins zusammenfallende Bilder  $P$ .

Bekanntlich ist dieses Verhalten von Winkelspiegeln zu einem netten, nicht bloß für Kinder unterhaltenden Spielzeug, dem Kaleidoskop benutzt worden. In einer innen ge-

schwärzten Röhre befinden sich zwei unter  $60^\circ$  gegeneinander geneigte Spiegel, die also jeden Gegenstand sechsmal zeigen. Zwischen zwei Glasplatten am Ende der Röhre befinden sich die Gegenstände, bunte Gläser, Metallstückchen usw., vorn an der Röhre ist ein Loch zum Durchschauen. Man sieht die sechs Bilder sich zu den zierlichsten und beim Schütteln stets wechselnden Figuren aneinanderreihen. Wenn ich auf die beiden etwas schief gestellten Spiegel paralleles Licht von meiner Bogenlampe fallen lasse und vor den Apparat eine Linse stelle, kann ich, wie Sie sehen, diese Kaleidoskopbilder auch allen sichtbar auf unseren weißen Schirm projizieren.

Das Reflexionsgesetz, das wir gefunden haben, erlaubt nun in allen möglichen Fällen, wo Spiegel in Anwendung kommen, von vornherein zu sagen, welche Erscheinungen auftreten. Wir haben bisher nur von gewöhnlichen ebenen Spiegeln

Gebrauch gemacht. Wir können aber auch Kugelflächen als Spiegel benutzen, oder Zylinder, oder Kegelflächen, oder auch Flächen beliebiger Art. Die Lachkabinette, die man bei allen Volksbelustigungen sieht, geben eine praktische Anwendung dieser verschiedenen Formen. Man sieht da auf einen Blick, wie verschiedenartig verzerrt die Bilder erscheinen, wenn sie von gekrümmten Spiegeln entworfen werden. Es gelingt leicht, aus einem sadendünnen Schneider einen dicken Bierbrauer durch Spiegelung herzustellen und umgekehrt, einem Menschen mit geraden Beinen X- oder O-Beine nach Belieben zu geben, aus dem anmutigsten Mädchengesicht eine scheußliche Hexenfratze zu machen. Das Umgekehrte geht allerdings weniger leicht.

Alle diese Bilder sind virtuelle Bilder, Bilder an Stellen, wo die Lichtstrahlen nicht wirklich zusammentreffen,

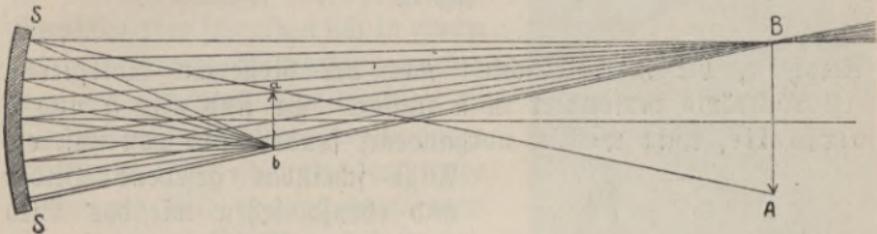


Fig. 14.

sondern wo sie nur unser Auge hinverlegt. In Wirklichkeit gehen die reflektierten Lichtstrahlen vom Spiegel aus auseinander. Wenn dagegen die Lichtstrahlen nach der Reflexion zusammenlaufen, so daß sie sich wieder in einem Punkte schneiden, so erhält man an dieser Stelle ein wirkliches, objektives, reelles Bild des die Strahlen aussendenden Punktes. Man sieht z. B. in Fig. 14, wie ein reelles Bild entsteht. Ein kleiner konkav gekrümmter Spiegel  $SS$  empfängt Licht von einem Pfeil  $AB$ . Vom Punkte  $B$  z. B. gehen eine Reihe von Lichtstrahlen aus, die auf den Spiegel fallen und sich nach der Reflexion im Punkte  $b$  schneiden. Es ist also  $b$  das reelle Bild von  $B$ . Ebenso schneiden sich die von  $A$  ausgehenden Lichtstrahlen in  $a$ . Man sieht also ein reelles Bild des Pfeiles in  $ab$ . Umgekehrt gibt der auf der konvexen Seite benutzte Spiegel  $SS$  ein virtuelles Bild. Auch wenn ich auf der konkaven Seite, wie in Fig. 15, den Pfeil nahe an den Spiegel heranrücke, gibt er ein virtuelles Bild. Denn die von der

Pfeilspitze *A* ausgehenden Strahlen gehen vom Spiegel an auseinander und würden sich erst rückwärts verlängert im Punkte *a* treffen. Ebenso würden sich die von *B* ausgehenden

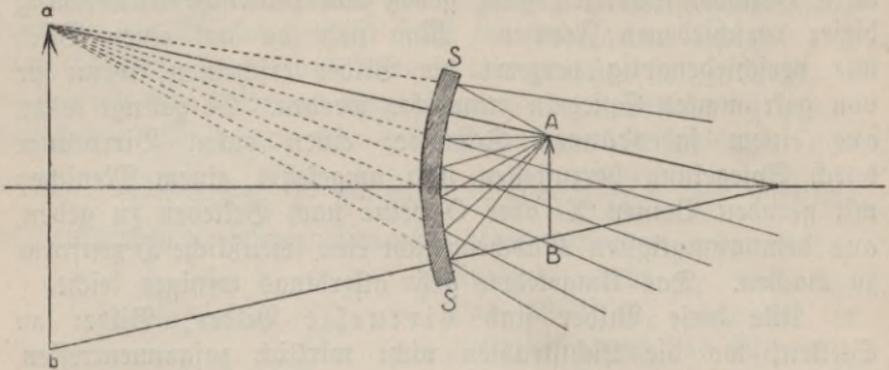


Fig. 15.

Strahlen, die in Wirklichkeit nach der Reflexion divergieren, erst rückwärts verlängert in *b* treffen. Es sind also *a* und *b* virtuelle, nicht wirklich vorhandene, sondern nur von unserem

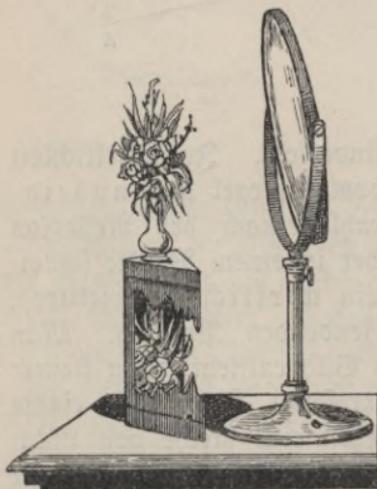


Fig. 16.

Auge scheinbar gesehene Bilder und ebenso sehen wir das Bild des ganzen Pfeiles nur virtuell.

Ein reelles Bild kann man direkt bei passender Beleuchtung in der Luft sehen, oder auf einem Schirm auffangen, sogar unter Umständen, ohne daß man den Spiegel bemerkt, ein virtuelles Bild dagegen sieht man nur im Spiegel. Mit reellen Bildern von Spiegeln, Konkavspiegeln, kann man sehr merkwürdige Effekte hervorbringen. Ich habe z. B. hier einen Blumenstrauß, wie Fig. 16 zeigt, unten in einem schwarzen

Kästchen angebracht und zwar umgekehrt, beleuchte ihn kräftig durch eine Lampe und bringe nun außen einen passend geneigten Konkavspiegel an. Es erscheint ein reelles Bild des Blumenstraußes und durch veränderte Neigung des Spiegels kann ich bewirken, daß dieses Bild gerade aus der Base herauszukommen

scheint, die Sie auf dem Kästchen stehen sehen. Jeder in passender Richtung in das Zimmer Tretende wird wirklich den Blumenstrauß zu sehen glauben, während er in der That nur sein reelles Bild sieht.

Es ist durchaus nicht notwendig, daß die Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte auf einen gekrümmten Spiegel fallen, sich wieder nach der Reflexion in einem Punkte, sei es in einem reellen oder in einem virtuellen, vereinigen. Im Gegenteil, meistens geschieht das nicht. Schon bei konkaven Kugelspiegeln ist das nicht mehr der Fall, wenn dieselben ziemlich große Fläche haben und ebensowenig bei Zylinderspiegeln. Von den sukzessiven Auffallspunkten der Strahlen am Spiegel gehen die reflektierten Strahlen aus und zwei benachbarte reflektierte Strahlen schneiden sich zwar immer in einem Punkte, die folgenden Strahlen aber schneiden sich in einem anderen Punkte, die nächsten wieder in einem anderen. Das Resultat ist also, daß ein solcher Spiegel eine ganze leuchtende Linie oder eine leuchtende Fläche als Bild erzeugt, wenn man ihn von einem Punkte aus bestrahlt. Der Versuch wird Ihnen das zeigen. Ich lasse von meiner Bogenlampe



Fig. 17.

aus durch die kleine Öffnung divergentes Licht auf den gebogenen zylindrischen Spiegel (Fig. 17) fallen und Sie sehen die leuchtende Linie, die das reflektierte Licht bildet. Man nennt dies die Brennlinie oder Katakaustik. Bei jedem glänzenden Metallgefäß, ja bei jedem Glas- oder Porzellangeschirr werden Sie eine solche Katakaustik bei passender Beleuchtung schon beobachtet haben.

Es ist nämlich der Begriff des Spiegels, optisch genommen, ein weiterer als man ihn im Sprachgebrauch des Zimmerschmucks oder der Toilette nimmt. Jede glatte Fläche ist in optischer Beziehung ein Spiegel, weil sie das Licht regelmäßig reflektiert. Es ist gar nicht nötig, daß der Spiegel mit Silber oder Quecksilber belegt ist, oder daß er direkt aus glattem Metall besteht, wie die Silber Spiegel der alten jungen Römerinnen. Eine Wasserfläche nennt man ja auch im gewöhnlichen Sprachgebrauch noch einen Wasserspiegel, er wirft uns auch unser Bild zurück. Aber auch jedes gewöhnliche glatte Fensterglas, ja sogar jede

glatte Porzellanfläche, jede glattpolierte Holzfläche ist optisch ein Spiegel. Man kann auch tatsächlich an solchen Flächen alle Gegenstände gespiegelt sehen, wenn auch nicht in der Lichtstärke, wie es bei den eigentlich sogenannten Spiegeln der Fall ist. Wir achten gewöhnlich nicht darauf, daß alle glatten Gegenstände spiegeln; aber die Maler wissen das sehr genau und auch wir würden ein Bild gleich als unrichtig empfinden, wenn der Maler dieses zurückgeworfene Licht nicht überall richtig nachbilden würde.

Das materielle Kennzeichen des Spiegels ist also die Glätte, auf das Material kommt es nicht an. Das optische Kennzeichen ist die regelmäßige Zurückwerfung des Lichts. Nehmen wir den anderen Grenzfall an, Körper, welche eine sehr rauhe Oberfläche haben, z. B. eine Samtdecke. Wenn das Licht auf diese fällt, so wird es zwar auch an jeder Stelle, wo es auftrifft, zurückgeworfen. Aber da die einzelnen Teile der rauhen Oberfläche ganz verschiedene Richtungen haben, ihre Normalen also ganz verschieden liegen, schon bei zwei sehr nahe aneinander befindlichen Punkten, so wird das reflektierte Licht nicht nach einer bestimmten Richtung zurückgeworfen, wie bei spiegelnden Flächen, sondern nach allen Richtungen hin zerstreut. Auch solche Flächen reflektieren also das Licht, aber sie reflektieren es, wie man sagt, diffus, sie diffundieren das Licht. Sie geben keine Bilder von leuchtenden Körpern, sondern sie werfen nur allgemein auffallendes Licht nach allen Richtungen zurück. Diese Diffusion des Lichts ist immer, bei jedem Körper, vorhanden. Auch bei spiegelnden Flächen. Denn selbst die glatteste Oberfläche, die wir herstellen können, zeigt schon unter dem Mikroskop Rauigkeiten, Erhebungen und Vertiefungen verschiedener Form, gibt also Veranlassung zur Diffusion. Nur ist eben bei den Spiegeln die regelmäßige Reflexion weit überwiegend. Die Diffusion des Lichts ist es überhaupt, durch welche wir beleuchtete Körper erst sehen. Von jeder kleinen Fläche eines beleuchteten Körpers gehen eben nach allen Seiten hin Strahlen aus, von denen diejenigen, die in unser Auge fallen, eben bewirken, daß wir den betreffenden beleuchteten Punkt sehen. Wenn ich wieder (wie in Fig. 11, S. 11) das Licht unserer Lampe durch den schmalen Spalt auf unseren drehbaren Spiegel fallen lasse, so sehen wir zunächst in der Luft den Gang des einfallenden und des reflektierten Strahles.

Wir sehen dies nur durch die Diffusion. In der Luft schweben Milliarden von Staubtheilchen, an denen das Licht diffus reflektiert wird, wodurch es auch in unser Auge gelangt. Wir sehen weiter auf der Decke oder Wand unseres Raumes den hellen schmalen Spalt. Daß wir ihn sehen, kommt auch wieder durch die Diffusion. Von jedem beleuchteten Flächenstück der Decke gehen Lichtstrahlen nach allen Seiten, von denen ein Teil in unser Auge fällt. Wir sehen endlich auf dem Spiegel selbst den hellen rechteckigen Schein, der das Abbild des Spaltes ist. Würde der Spiegel nur regelmäßig reflektieren, so käme von ihm aus kein Licht in unser Auge, sondern es ginge nur in der Richtung der reflektierten Strahlen. Da er aber dabei auch diffus reflektiert, so sehen wir den Spiegel selbst. Also die Sichtbarkeit aller nicht selbstleuchtenden Körper, wenn sie beleuchtet werden, beruht nur auf ihrer diffusen Reflexion.

Diese Kenntniss haben wir einzig erlangt durch Anwendung unseres dünnen Strahlenbüschels, indem wir das einfache Gesetz der Reflexion, das wir dabei ermittelt haben, auf immer weitere und verwickeltere Fälle angewendet haben.

Ist aber die Reflexion, sei es die regelmäßige oder die diffuse, die einzige Art und Weise, wie die Körper auf das Licht, das auf sie fällt, wirken? Offenbar nicht. Wir wissen aus unzähligen Erfahrungen, daß es durchsichtige Körper gibt, die also nicht das Licht an ihrer Oberfläche zurückwerfen, sondern die es durch sich hindurchlassen. Wir müssen zusehen, was unsere dünnen Lichtbündel für Eigenschaften zeigen werden, wenn sie auf durchsichtige Körper fallen. Ich bringe wieder meinen engen Spalt vor die Lampe, mache ihr Licht parallel und stelle nun in den Weg des Lichtbündels eine Glasplatte, die ich beliebig neigen kann. Wir sehen tatsächlich, daß das Licht durch die Glasplatte hindurchgeht und daß sich ein Bild des Spaltes auf der Wand abzeichnet. Zugleich aber sehen wir auch, daß von der Glasplatte das Licht reflektiert wird, und daß wir ein anderes, schwächeres Bild des Spaltes oben auf der Decke bemerken. Wir schließen zuerst daraus, daß ein durchsichtiger Körper das Licht durch sich hindurchläßt, einen Teil des Lichts aber zugleich an seiner Oberfläche reflektiert. Die Durchsichtigkeit und die Reflexion schließen sich also nicht aus, sondern bestehen nebeneinander.

Es dringt also, um nun unsere neue Erscheinung genauer ins Auge zu fassen, das auffallende Licht in einen durchsichtigen Körper ein. Ich habe hier eine große Glaswanne, welche ich mit Wasser fülle. Um den Weg der Strahlen deutlich sichtbar zu machen, löse ich in dem Wasser etwas Fluoreszein auf. Das schmale Lichtbündel von meinem Spalt, oder das enge kreisförmige Lichtbündel von meiner Lochscheibe zeichnen ihren Weg durch das Wasser in einer hellgrün leuchtenden Bahn ab.

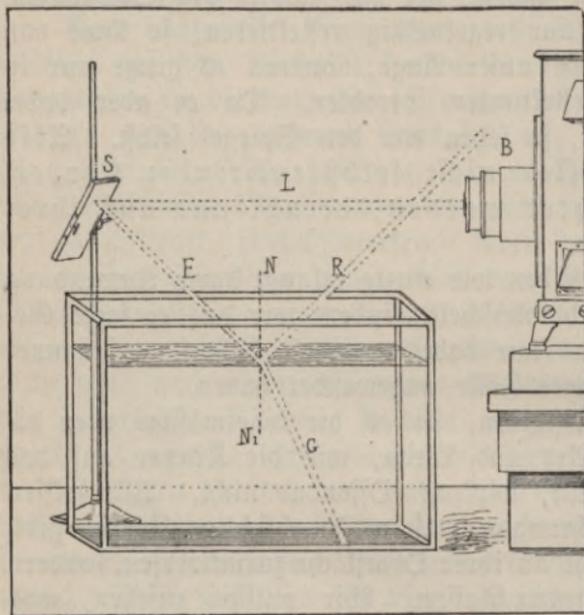


Fig. 18.

Zugleich sehen Sie hinten an dem Schirm, daß das Licht nach dem Durchgang rötlich gefärbt ist. Doch interessiert uns diese Färbung hier noch nicht weiter. Ich möchte nun ebenso wie bei dem Spiegelversuch das Licht unter verschiedenen Winkeln auf die Wasseroberfläche fallen lassen und sehen, welche Lage der im Wasser verlaufende Strahl hat. Zu dem Zweck stelle ich am einfachsten hinter die Wanne einen drehbaren Spiegel S (Fig. 18) auf und lasse den Strahl L von der Bogenlampe B auf den Spiegel und von diesem auf die Wasserfläche fallen. Wir sehen den einfallenden Strahl E und bemerken zunächst wieder, daß von der Wasserfläche aus ein reflektierter Strahl R in der Luft verläuft. Zugleich aber sehen wir den grün gefärbten Strahl G im Wasser und wir beobachten, daß das Lichtbündel im Wasser eine andere Richtung hat, als das einfallende Lichtbündel, daß der einfallende Strahl an der Wasserfläche gebrochen erscheint. Man sagt tatsächlich, das in einen durchsichtigen Körper eindringende Licht erleidet eine Brechung. Wenn ich den Spiegel S drehe, so bildet der auf die Wasser-

Zugleich sehen Sie hinten an dem Schirm, daß das Licht nach dem Durchgang rötlich gefärbt ist. Doch interessiert uns diese Färbung hier noch nicht weiter. Ich möchte nun ebenso wie bei dem Spiegelversuch das Licht unter verschiedenen Winkeln auf die Wasseroberfläche fallen lassen und sehen, welche Lage der im Wasser verlaufende Strahl hat. Zu dem Zweck

fläche einfallende Strahl  $E$  andere und andere Winkel mit der Normale der Wasserfläche. Zugleich ändert sich auch die Richtung des gebrochenen Strahls  $G$ , aber es findet immer eine Knickung der beiden Strahlen an der Wasserfläche statt. Wir können das auch so ausdrücken: Der Winkel, welchen der gebrochene Strahl  $G$  mit der Normale  $N_1$  im Wasser bildet, ist immer ein anderer als der Winkel, welchen der einfallende Strahl  $E$  mit der Normale  $N$  in der Luft bildet. Wir bezeichnen den Winkel zwischen  $E$  und  $N$  wieder wie früher als Einfallswinkel, den Winkel zwischen  $G$  und  $N_1$  als Brechungswinkel. Also können wir sagen: Der Brechungswinkel ist immer ein anderer als der Einfallswinkel. Nur in dem Falle, wo das Licht senkrecht auf die Wasserfläche fällt, geht es ungebrochen in das Wasser hinein. Dabei ist als der Einfallswinkel 0 und der Brechungswinkel auch 0. Es wäre nun interessant, den Zusammenhang zu ermitteln, der zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel besteht. Ein solcher besteht natürlich. Denn ändert sich der eine, so ändert sich der andere. Aber dieser Zusammenhang ist hier nicht so leicht zu finden wie bei der Reflexion und in der That ist er erst im Jahre 1620 von Snellius und unabhängig von ihm noch einmal im Jahre 1637 von Descartes entdeckt worden. Auch ist er nicht in Worte zu fassen, wenn man nicht die Kenntnis derjenigen Größe voraussetzen darf, welche die Mathematik den Sinus eines Winkels nennt. Der Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel und dem Brechungswinkel ist bei einer bestimmten brechenden Substanz nämlich der, daß bei kleinen Einfallswinkeln das Verhältnis der beiden Winkel immer dasselbe ist, bei größeren Einfallswinkeln ist es nicht mehr das Verhältnis der Winkel selbst, welches konstant bleibt, sondern das ihres Sinus. Bleiben wir, um das Gesetz zu erläutern, bei den kleinen Einfallswinkeln stehen. Wenn wir eine Vorrichtung anbringen würden, um bei unserem Wassertrug den Einfallswinkel und den Brechungswinkel genau zu messen, so würden wir z. B. folgende Tabelle finden:

Einfallswinkel	$0^\circ$	$1^\circ$	$2^\circ$	$3^\circ$	$4^\circ$	$5^\circ$
Brechungswinkel	$0^\circ$	$\frac{3}{4}^\circ$	$1\frac{1}{2}^\circ$	$2\frac{1}{4}^\circ$	$3^\circ$	$3\frac{3}{4}^\circ$

Aus diesen Zahlen sieht man, daß das Verhältnis:

$$\frac{\text{Einfallswinkel}}{\text{Brechungswinkel}}$$

für alle angeführten Winkel dasselbe ist, nämlich gleich  $\frac{4}{3}$ .  
Denn es ist:

$$\frac{1}{3} = \frac{2}{1\frac{1}{2}} = \frac{3}{2\frac{1}{4}} = \frac{4}{3} = \frac{5}{5\frac{3}{4}}.$$

Die Zahl  $\frac{4}{3}$  kommt hier in Betracht, wo wir das Licht aus Luft in Wasser haben gehen lassen. Hätten wir es in Petroleum oder Glas oder Diamant gehen lassen, so hätten wir eine andere Zahl gefunden, welche jedesmal das Verhältnis des Einfallswinkels zum Brechungswinkel angegeben hätte. Diese Zahl nennt man den Brechungsindex der betreffenden Substanz gegen Luft. Es ist also der Brechungsindex von Wasser  $\frac{4}{3}$ , der von gewöhnlichem Glas ist  $\frac{3}{2}$ , von Schwefelkohlenstoff ist er  $\frac{5}{3}$ , von Diamant ist er nahezu  $\frac{5}{2}$ . Diamant hat also einen sehr großen, den größten bekannten Brechungsindex.

Es war notwendig, dieses Brechungsgesetz anzuführen. Denn ebenso wie früher das Reflexionsgesetz alle Erscheinungen zusammenfaßte, die auch in den kompliziertesten Fällen der Zurückwerfung des Lichtes auftraten, so faßt dieses Brechungsgesetz durchaus alles zusammen, was sich auf das Eindringen des Lichtes aus einem Körper in einen anderen, aus einem Medium in ein anderes bezieht. Während aber in bezug auf die Reflexion des Lichtes sich kein Unterschied ergab, ob der reflektierende Körper aus Metall oder Glas oder Wasser bestand, spielt hier bei der Brechung die Natur des Körpers insofern eine Rolle, als sie die Größe des Brechungsindex bestimmt. Der allgemeine Verlauf der gebrochenen Strahlen ist bei allen brechenden Körpern zwar der nämliche, aber die quantitativen Verhältnisse sind je nach der Natur des Körpers etwas verschieden.

Wenn Licht aus Luft an die Grenzfläche eines anderen durchsichtigen Mediums kommt, entsteht also immer neben dem reflektierten noch ein gebrochener Strahl. Dagegen ist das Umgekehrte nicht immer der Fall. Wenn Licht in einem durchsichtigen Medium, z. B. Wasser, verläuft und an die Grenzfläche des Wassers gegen Luft kommt, so tritt zwar für gewöhnlich auch ein gebrochener Strahl in die Luft ein, unter gewissen Umständen aber nicht. Es folgt dies aus der genaueren Form des Brechungsgesetzes, ich will Ihnen aber die Erscheinung nur rein experimentell zeigen.

Zu dem Zweck nehme ich wieder meine Wanne mit gefärbtem Wasser und setze in dieselbe jetzt (Fig. 19) einen kleinen Apparat, der unten einen Spiegel *T* enthält, den ich von oben durch die Schraube *C* beliebig drehen kann. Ich lasse das Licht der Bogenlampe auf den Spiegel *S* und von diesem auf den Spiegel *T* fallen,

dann geht der am unteren Spiegel reflektierte Strahl *E* im Wasser bis an

die Grenzfläche gegen Luft und bildet dort den im Wasser reflektierten Strahl *R* und den in die Luft hinein gebrochenen Strahl *G*. Wir sehen, daß der Strahl *G* in der Luft immer schiefer verläuft, als der Strahl *E* im Wasser. Wenn ich nun den Spiegel *T* drehe, so daß *E* auch immer schiefer

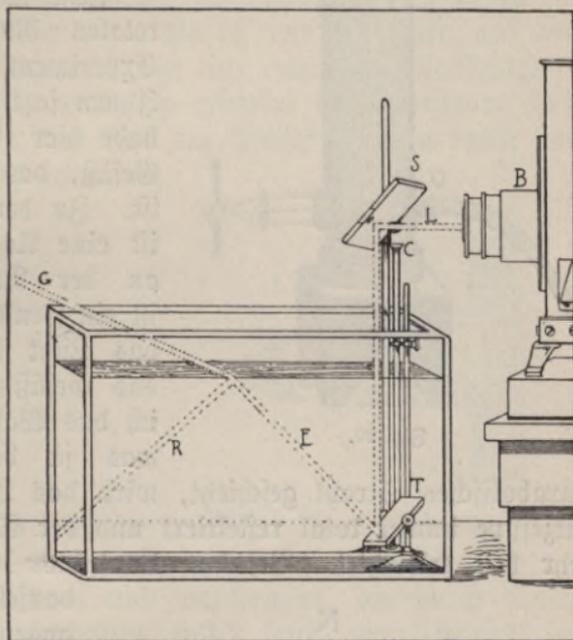


Fig. 19.

wird, so nähert sich *G* immer mehr der Grenzfläche des Wassers und bei einer bestimmten Stellung des Spiegels *T* gibt es gar keinen Strahl *G* mehr. Dann wird das ganze Licht, das an die Grenzfläche kommt, in das Wasser zurückreflektiert, man sieht zugleich den Strahl *R* sehr hell werden und es wird nichts mehr gebrochen. Diese Erscheinung bezeichnet man als totale Reflexion des Lichts. Sie tritt nur auf, wenn Licht aus Wasser oder Glas oder dergleichen in die Luft eintreten will, nicht umgekehrt, oder überhaupt, wenn Licht aus einem Körper mit größerem Brechungsindex in einen solchen mit kleinerem Brechungsindex einzudringen sucht, nie im umgekehrten Fall. Je größer der Brechungsindex einer Substanz ist, desto leichter tritt der Fall der totalen Reflexion ein. Das ist der Grund für das prächtige Leuchten von geschliffenen

Diamanten. Das Licht, das in den Diamanten eingedrungen ist, bleibt durch totale Reflexion an seinen Schlißflächen größtenteils in ihm und erhellt ihn dadurch so prächtig. Unsere Damen wissen also sogar die komplizierten Gesetze der Optik zu ihrem Schmuck anzuwenden.

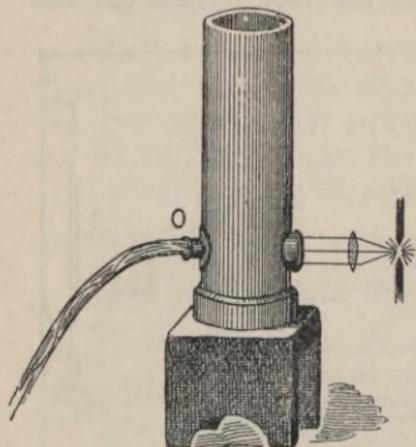


Fig. 20.

parabolischen Strahl geschieht, wird das Licht in dem Strahl sukzessive immer total reflektiert und der Strahl erscheint daher sehr hell erleuchtet. Bei den Fontaines lumineuses hat man

daselbe Prinzip im großen angewendet. Eine schöne Anwendung der totalen Reflexion ist in dem Experiment gemacht, das ich Ihnen jetzt vorführen will. Ich habe hier (Fig. 20) ein hohes Gefäß, das mit Wasser gefüllt ist. In der Nähe des Bodens ist eine Ausflußöffnung *O* und an der Rückwand der Röhre ist ein Fenster, durch welches ich das Licht der Bogenlampe in das Gefäß hineinsende. Sowie ich das Wasser ausfließen lasse, was ja bekanntlich in einem

Wir wollen nun verfolgen, was uns unser Brechungsgesetz ergibt, wenn wir jetzt das Licht durch Körper von bestimmten einfachen Formen gehen lassen. Zunächst will ich eine dicke rechteckige Glasplatte nehmen, deren gegenüberliegende Seiten parallel sind.

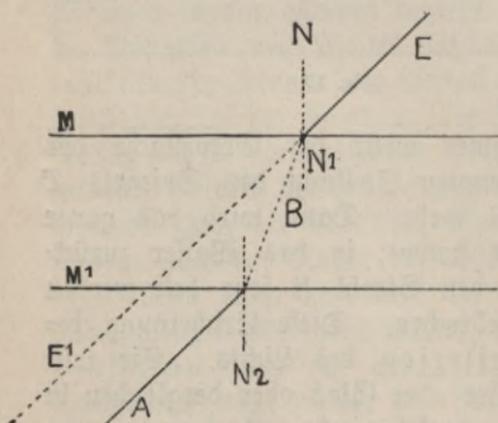


Fig. 21.

(Fig. 21) auf die Fläche *M* der Platte fällt, so erscheint in der Platte der gebrochene Lichtstrahl *B*. Dieser kommt an die Fläche *M*<sub>1</sub> und wird nach dem Brechungsgesetz nach *A* hinaus gebrochen. Das Licht verfolgt also den Weg *EBA*,

Wenn ein Lichtstrahl *E*

während, wenn die Platte nicht vorhanden wäre, es den punktierten Weg  $EE'$  verfolgt hätte. Man sieht, daß eine solche Platte den Lichtstrahl parallel mit sich verschiebt. Das Experiment wird diese Überlegung bestätigen. Ich verschließe die Öffnung meiner Bogenlampe (Fig. 22) durch ein Blech, aus welchem ein Pfeil ausgeschnitten ist, und kann nun durch ein Linse  $L$  ein scharfes Bild dieses Pfeils, wie Sie sehen, auf den Schirm projizieren. Wenn ich jetzt eine rechteckige Glasstange  $G$  irgendwo vor den Pfeil halte, so erscheint der betreffende Teil des Pfeiles verschoben, das Bild des Pfeiles ist also durch das Vorhalten der Stange gebrochen.

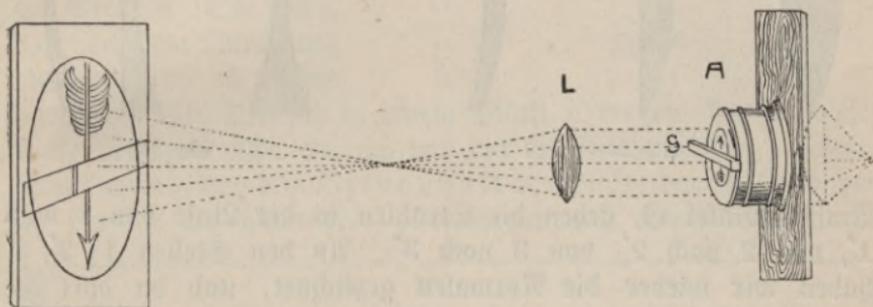


Fig. 22.

Solche Verschiebungen und Brechungen, die durch durchsichtige Platten hervorgebracht sind, kann man häufig beobachten. Unsere gewöhnlichen Fensterscheiben zeigen sie schon, noch besser aber die  $\ell$ . Fensterscheiben der  $\ell$ . Eisenbahnwagen, die gewöhnlich aus schlechtem, verzogenem Material bestehen. Schaut man durch diese zum Beispiel auf die Schienen des nebenan befindlichen Geleises, so erscheinen diese in einer Weise verzerrt und gebrochen, daß, wenn man sich des optischen Grundes nicht bewußt wäre, man lebhaft seinem Feind wünschen könnte, daß er dieses Geleise benutzen müsse.

Bei weitem die wichtigste Anwendung aber des Gesetzes der Brechung machen wir in den Linsen. Man unterscheidet bekanntlich Konvexlinsen, wie in Figur 23, die in der Mitte dicker als am Rande sind, und Konkavlinsen, wie in Figur 24, die in der Mitte dünner als am Rande sind. Das Gemeinsame bei beiden ist, daß ihre Grenzflächen entweder beide kugelförmig sind, oder daß eine kugelförmig, die andere eben ist. Ein wesentlicher Unterschied der beiden Arten von Linsen

wird sofort sich ergeben, wenn wir versuchen, den Verlauf der Strahlen zu zeichnen, die von einem Punkte ausgehen, die Linse durchsetzen und dann wieder austreten. Machen wir das zuerst bei der Konverglinse (Fig. 25). Vom Punkte *A* aus zeichnen wir eine Reihe von Strahlen, die auf die Linse auf- fallen. An den Stellen 1, 2, 3 haben wir die Normalen an- gedeutet und danach, da der Brechungswinkel kleiner als der

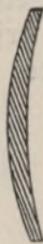


Fig. 23.

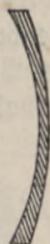


Fig. 24.

Einfallswinkel ist, gehen die Strahlen in der Linse von 1 nach 1', von 2 nach 2', von 3 nach 3'. An den Stellen 1', 2', 3' haben wir wieder die Normalen gezeichnet, und da dort die Strahlen aus Glas in Luft austreten, so ist der Brechungswinkel größer als der Einfallswinkel, d. h. die Strahlen laufen nun schärfer zusammen und treffen sich in einem Punkte. Also die von *A* ausgehenden Strahlen konvergieren wieder in einem

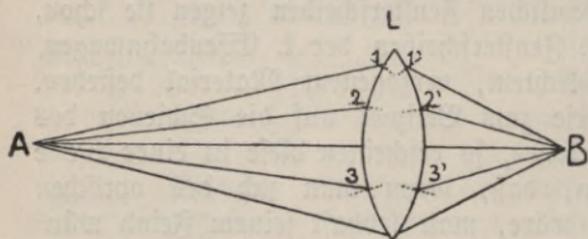


Fig. 25.

Punkte *B*, sie sammeln sich dort. Diese Eigenschaft der Konverglinsen ist die Ursache, daß man ihnen auch den Namen **Sammellinsen** gibt. Ganz das Gegen- teil tritt bei einer Kon-

kavlinse auf (Fig. 26). Die von *A* ausgehenden Strahlen werden bei 1, 2, 3 weiter zerstreut, beim Austritt, nämlich bei 1', 2', 3' noch weiter zerstreut, so daß sie durchaus nicht zusammen- laufen, sondern noch mehr divergieren als vorher. Deshalb nennt man solche Linsen **Zerstreungslinsen**.

Mittels Konverglinsen kann man also die Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, wieder in einem Punkte vereinigen,

d. h. man kann von einem Gegenstand durch sie ein reelles Bild bekommen. Das ist diejenige Eigenschaft, durch welche solche Linsen, die Sammellinsen, eine so große Anwendbarkeit besitzen. Wir wollen daher einmal eine solche Konvergenzlinse  $L$  (Fig. 27), die ich hier in einer Fassung mit Fuß habe, experimentell auf ihr Verhalten prüfen. Ich mache das Licht unserer Bogenlampe  $B$  parallel, lasse es durch unseren Spalt gehen und stelle die Linse in den Weg des Strahls. Sie sehen, daß nach dem Durchgang durch die Linse die vorher parallelen Strahlen sich in einem Punkt  $F$  treffen, der bei dieser Linse beiläufig etwa 25 cm von der Glasfläche absteht. Diesen Punkt nennt man den Brennpunkt der Linse, den Abstand von 25 cm die Brennweite. Der Brennpunkt einer Linse ist also

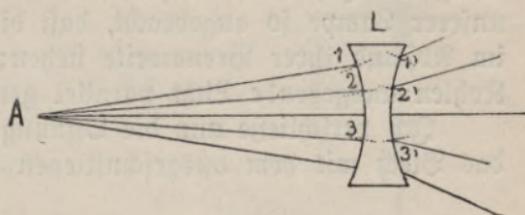


Fig. 26.

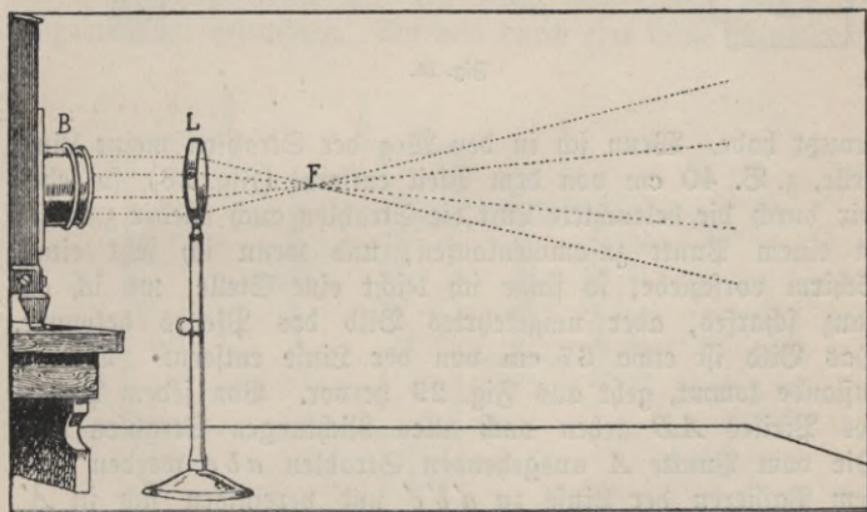


Fig. 27.

derjenige Punkt, in welchem sich parallele Strahlen nach dem Passieren der Linse vereinigen. Je stärker gekrümmt die Linsenflächen sind, desto näher liegt der Brennpunkt an der Linse, desto kleiner ist also die Brennweite. Ich habe hier Linsen von 5, 15, 25, 50 cm Brennweite. Man klassifiziert die

Linse nach der Brennweite. Wenn ich umgekehrt in den Brennpunkt einer Linse, also im Abstand der Brennweite, einen leuchtenden Körper aufstelle, so werden die Strahlen von ihm nach dem Passieren der Linse parallel. Jetzt verstehen wir also, wie wir bei unserer Bogenlampe paralleles Licht hervorbringen. Ich habe einfach eine Konvexlinse in der Öffnung unserer Lampe so angebracht, daß die glühenden Kohlen gerade im Abstand ihrer Brennweite stehen; dadurch ist das von den Kohlen ausgehende Licht parallel gemacht.

Ich verschließe nun die Öffnung unserer Bogenlampe durch das Blech mit dem ausgeschnittenen Pfeil, das ich schon vorhin

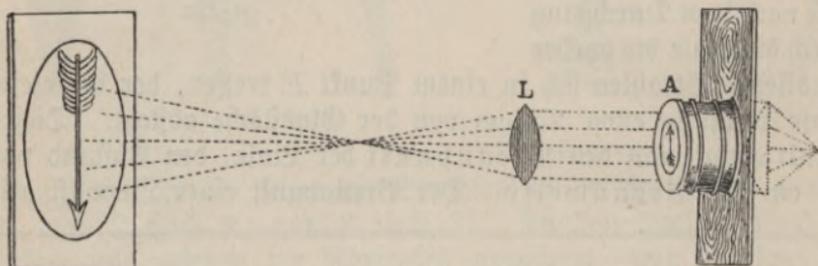


Fig. 28.

benutzt habe. Wenn ich in den Weg der Strahlen meine Linse stelle, z. B. 40 cm von dem Pfeil entfernt (Fig. 28), so sehen wir durch die beleuchtete Luft die Strahlen auch wieder zunächst in einem Punkt zusammenlaufen, und wenn ich jetzt einen Schirm vorschiebe, so finde ich leicht eine Stelle, wo ich ein ganz scharfes, aber umgekehrtes Bild des Pfeiles bekomme. Das Bild ist etwa 67 cm von der Linse entfernt. Wie es zustande kommt, geht aus Fig. 29 hervor. Von jedem Punkte des Pfeiles  $AB$  gehen nach allen Richtungen Strahlen aus. Die vom Punkte  $A$  ausgehenden Strahlen  $abc$  werden nach dem Passieren der Linse zu  $a'b'c'$  und vereinigen sich in  $A'$ , ebenso die von  $B$  in  $B'$ . So bekommen wir ein umgekehrtes Bild in  $A'B'$ . Das Bild ist hierbei größer als das Objekt. Stelle ich die Linse in 50 cm Abstand von dem Objekt, so ist das Bild auch in 50 cm und von derselben Größe; stelle ich endlich die Linse noch weiter 60, 70 cm von dem Objekt auf, so erhalte ich nun ein verkleinertes Bild, etwa 42 und 39 cm von der Linse entfernt. Also wir sehen, bei jedem bestimmten

Abstand des Objekts von der Linse gibt es einen bestimmten Abstand, in welchem ich einen Schirm vor der Linse aufstellen muß, um ein scharfes Bild zu erzeugen. Ist umgekehrt, wie hier, die Stellung des Objekts und die Lage des Schirms fest

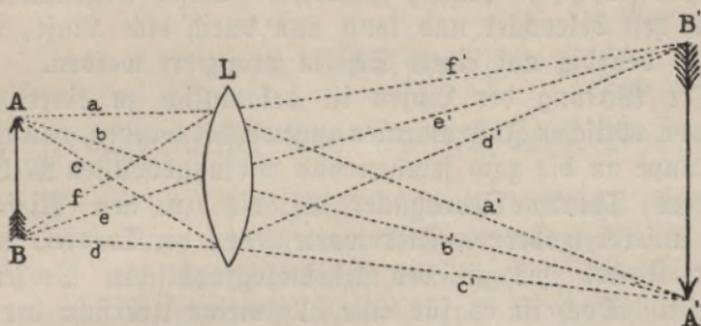


Fig. 29.

gegeben, so kann ich die Linse immer so verschieben, daß ich von dem Objekt auf dem Schirm ein scharfes Bild bekomme. Die Bogenlampe dient mir nur dazu, das Objekt oder seine Umgebung zu beleuchten. Um dem durch eine Linse abzubilden-

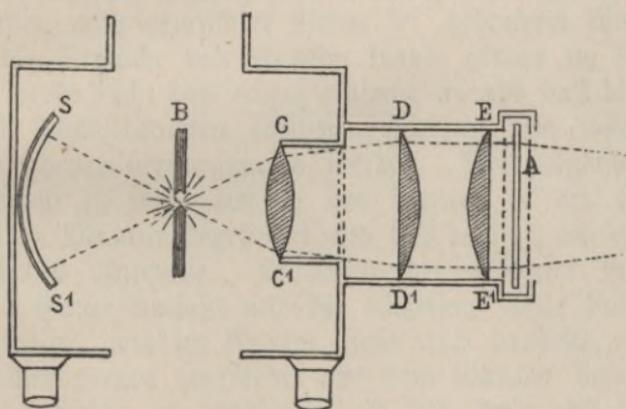


Fig. 30.

den (zu projizierenden) Objekt möglichst viel Licht zuzuführen, werden die Bogenlampen mit einem sogenannten Kondensator versehen, welcher die auseinandertretenden Strahlen des Lichtbogens auf das abzubildende Objekt kondensiert. Fig. 30 zeigt den Durchschnitt und den Strahlengang einer solchen Projektions-

lampe. Die Strahlen des Lichtbogens, die hinten durch einen versilberten Hohlspiegel  $SS'$  noch zurückreflektiert werden, werden durch das Linsensystem  $CC'$ ,  $DD'$  und  $EE'$  konvergent oder parallel gemacht und auf den abzubildenden Gegenstand  $A$  (etwa eine photographische Platte) geworfen. Dieser Gegenstand wird dadurch hell beleuchtet und kann nun durch eine Linse, wie in Fig. 28, beliebig auf einen Schirm projiziert werden.

Die Wirkung der Linsen ist bekanntlich zu einer großen Reihe von optischen Instrumenten angewendet worden, von der einfachen Lupe an bis zum feinsten und wirkungsvollsten Mikroskop, von dem Theater-Operngucker an bis zu den Riesenfernrohren unserer modernen Sternwarten, von der Laterna magica unserer Kinder bis zu den kinematographischen Projektionsapparaten. Doch ist es für eine allgemeine Übersicht der Optik nicht angebracht, in die Details dieser Apparate einzugehen, obwohl eine Darstellung der allmählichen Verbesserungen, welche menschlicher Scharfsinn bei ihnen angebracht hat, so daß sie heute auf einer ungeahnten Stufe der Vollendung stehen, ein Kapitel von besonderem Reiz bilden würde.

## Zweite Vorlesung.

### Farbenzerstreuung, Farbenmischung, Spektra.

Es ist eine in der Geschichte seltene, vielleicht einzig dastehende Erscheinung, daß zwei Männer allerersten Ranges, zwei Männer mit unerreicht hohen Geistesgaben, über eine und dieselbe naturwissenschaftliche Tatsache tief und gründlich nachgedacht haben und daß sie beide nicht zu denselben, sondern zu diametral entgegengesetzten Anschauungen gelangt sind. Diese beiden Männer sind Newton und Goethe und der Gegenstand ihres Nachdenkens und ihrer Meinungsverschiedenheit sind die Farben und speziell die Natur des weißen Lichtes. Während Newton auf Grund von Experimenten behauptet, daß das weiße Licht kein einfaches Licht sei, sondern zusammengesetzt sei aus allen Farben, also gemischter Natur sei, behauptet Goethe, obwohl er die Versuche von Newton kennt, gerade im Gegenteil, daß das weiße Licht das einzig einfache sei und daß die Farben nur durch Modifikationen entstehen, die an dem weißen Licht durch die Körper hervorgerufen werden. Der Gegensatz dieser Anschauungen ist wohl tief in der Natur, in der Geistesart dieser beiden Männer begründet und hat dadurch ein erhebliches psychologisches Interesse. Während der Künstler mit einem Blicke das Ganze umfaßt und die einzelnen Teile des Ganzen, halb instinktiv, mit im Ganzen sieht und darstellt, sucht der Naturforscher gerade umgekehrt aus dem Ganzen die einzelnen Teile aus, welche es enthält, sucht die Teile erst genau zu verstehen, um aus ihnen das Ganze zusammenzusetzen. So sind für den Naturforscher die Farben das Erste, die Bausteine, aus denen er das weiße Licht zusammensetzt. Für den Künstler aber ist das weiße Licht das Erste, das Ganze. In diesem Gegensatz aber behält der analytische Naturforscher recht. Die Natur kann eben nicht erraten, sondern nur erforscht werden. Es wird von Interesse sein, zu erkennen, auf welche Gründe

sich diese Anschauung Newtons, die heute allgemein als richtig erkannt sind, stützt.

Wenn Sie unsere Linsenexperimente in der vorigen Vorlesung etwas schärfer beobachtet haben, so werden Sie bemerkt haben, daß der Pfeil, den ich durch die Linse auf unseren Schirm abgebildet habe (Fig. 28), im Bilde mit farbigen Rändern versehen war, auf der einen Seite war der Rand blau, auf der andern rotgelb. Weit prächtiger aber erhält man bekanntlich die Farben, wenn man Licht durch ein Prisma gehen läßt. Ein Prisma ist für die Optik ein Körper mit zwei gegen einandergeneigten Flächen; auf die dritte Fläche, die auch gewöhnlich mattiert ist, kommt es nicht an. Die Kante, in der die beiden Flächen zusammenstoßen, nennt man die brechende

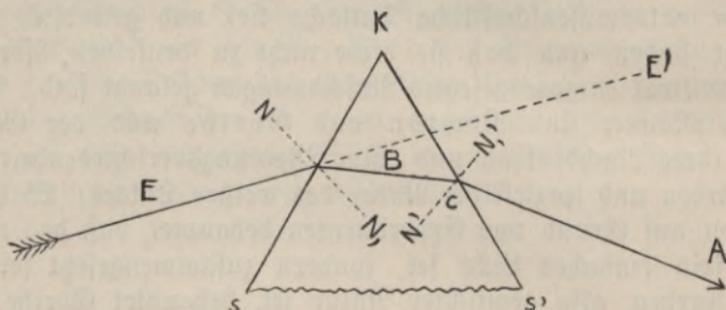


Fig. 31.

Kante. Wenn ich durch ein solches Prisma einen Lichtstrahl gehen lasse, so werden wir aus dem Brechungsgesetz zunächst folgendes erwarten müssen: Wenn auf die Fläche  $KS$  (Fig. 31) ein Lichtstrahl  $E$  fällt, so kann ich den gebrochenen Lichtstrahl  $B$ , der im Prisma verläuft, durch das Brechungsgesetz finden, wenn ich die Normale  $NN_1$  zeichne und den Brechungsindex kenne, der etwa  $\frac{3}{2}$  für Glas ist.  $B$  sei also der gebrochene Strahl. Wenn dieser an die zweite Fläche  $KS'$  kommt, so wird er, wieder durch Konstruktion der Normalen  $N'N_1'$ , nach  $A$  hinaus gebrochen. Ein Lichtstrahl, der in der Richtung  $E$  auf das Prisma fällt, geht also nicht in der Richtung  $E'$  weiter, sondern bekommt nachher die Richtung  $A$ , eine ganz andere Richtung. Er wird, wie man sieht, von der Kante  $K$  fortgebogen. Wir werden also erwarten müssen, daß, wenn wir durch unsern Spalt eine Lichtlinie erzeugen, und eine Linse so aufstellen, daß sie auf dem Schirm ein scharfes Bild dieses

Spaltes entwirft, daß dann, wenn nun das Prisma in den Weg der Strahlen gestellt wird, nichts anderes geschieht, als daß wir das Bild des Spaltes stark seitlich abgelenkt finden, von der brechenden Kante *K* fort. Ich mache das Experiment (Fig. 32). Von der Bogenlampe *B* schicke ich das Licht durch den Spalt, lasse es durch die Linse *L* gehen und dann durch ein Prisma *P*. Wir sehen tatsächlich, daß wir ein Bild sehr stark seitlich abgelenkt bekommen. Aber wir erhalten nicht, wie wir erwarteten, das Bild des Spaltes, sondern wir erhalten ein breites farbiges Band, in welchem wir oberflächlich hauptsächlich die Farben Rot, Grün, Blau und Violett sehen. Dieses breite Band nennt man ein Spektrum. Es ist, wie Sie bemerken, eine sehr glänzende Erscheinung, eine der

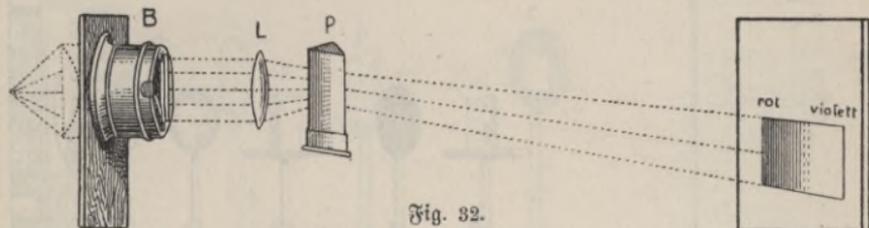


Fig. 32.

glänzendsten, die die Optik kennt. Wenn wir näher zusehen, so finden wir, daß in ihm alle Farben und Farbenübergänge vorhanden sind. Zur Bequemlichkeit teilte Newton das Spektrum in sieben Farben ein, die er bezeichnete als: Rot, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Indigo, Violett. Aus der Lage der Farben sehen wir, daß der rote Teil des Spektrums am wenigstens aus der ursprünglichen Richtung des Strahles abgelenkt ist, der violette am meisten. Wir sagen deshalb, der rote Teil ist am wenigsten gebrochen, der violette am meisten. Wie haben wir uns nun das Zustandekommen eines solchen Spektrums zu erklären? Es sind offenbar bloß zwei Möglichkeiten vorhanden: entweder enthält das weiße Licht selbst alle Farben und das Prisma hat nur die Eigenschaft, das Gemisch in feine Teile zu zerlegen, oder das Prisma, die Substanz desselben, ist es, welche das weiße Licht so verschiedenartig färbt. Die erste Auffassung ist die von Newton, und sie ist die richtige, die zweite ist die von Goethe, und sie ist die falsche. Nach Newton also enthält das weiße Licht selbst alle Farben und das Prisma zerstreut bloß dieselben, die vorher vereinigt waren. Da die

Ablenkung eines Strahls durch das Prisma um so größer ist, je größer der Brechungsindex ist, so folgt also aus dieser Annahme, daß der Brechungsindex des Glases für die verschiedenen Farben ein verschiedener ist, für die roten Strahlen ein geringerer, als für die gelben, grünen usw., daß der Brechungsindex am größten ist für die violetten Strahlen. Man bezeichnet diese Eigenschaft der durchsichtigen Substanzen, daß ihr Brechungsindex für die verschiedenen Farben verschieden groß ist, als Dispersion und bezeichnet ebenso auch als Dispersion die Zerlegung des weißen Lichtes durch ein Prisma. Die Erscheinung des Spektrums erklärt sich also so, daß das Bild des Spaltes infolge der Dispersion des Glases für die verschiedenen Farben

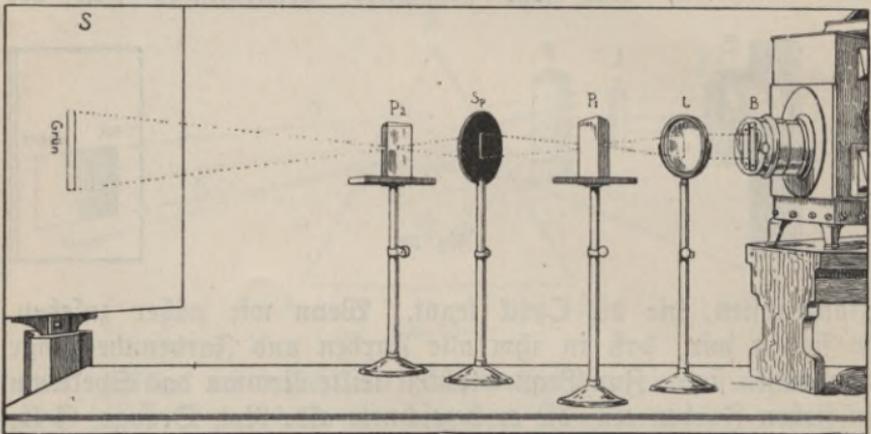


Fig. 33.

an verschiedene Stellen zu liegen kommt, so daß man also im Spektrum eine große Reihe von Spaltbildern nebeneinander hat.

Ist diese Erklärung richtig, sind die einzelnen Farben einfacher Natur, und ist nur das weiße Licht zusammengesetzt, so muß folgendes eintreten: Wenn wir jetzt irgendeinen Strahl von einfacher Farbe, einen roten oder grünen oder blauen aus dem Spektrum herausnehmen und ihn wieder durch ein Prisma gehen lassen, so darf dieser nicht wieder zu einem Spektrum ausgedehnt werden, sondern er darf nur eine Ablenkung erfahren. Wir wollen diesen Versuch machen. Ich erzeuge durch dieselbe Aufstellung Lampe B, Linse L, Prisma  $P_1$  ein Spektrum, lasse aber (Fig. 33) die auseinandergehenden farbigen Strahlen, die Sie in der Luft des Zimmers einigermaßen er-

kennen können, auf einen schwarzen Schirm  $Sp$  fallen, in dem sich ein enger Spalt befindet, und kann nun diesen Spalt in alle Teile des Spektrums bringen. Dann geht nur rotes oder grünes oder blaues oder violettes Licht durch den Spalt hindurch. Dieses, z. B. das grüne, sende ich jetzt durch das Prisma  $P_2$ , und Sie sehen auf dem Schirm  $S$  hinten, daß wir von ihm nicht mehr ein Spektrum bekommen, sondern daß wir ein grünes, nur abgelenktes Bild des Spaltes erhalten. Es folgt also: die einzelnen Farben des Spektrums sind nicht mehr dispergierbar, sondern sie sind einfach. Bei der zweiten, Goetheschen Auffassung der Erscheinung ist dieses Resultat nicht zu verstehen.

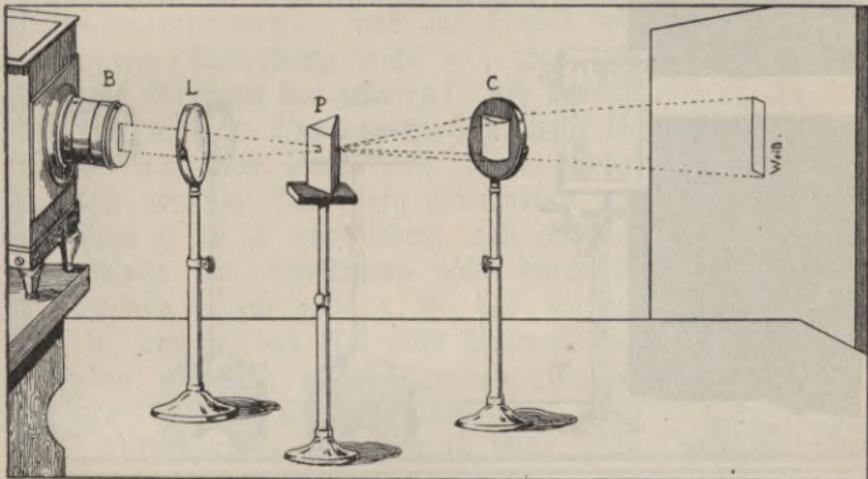


Fig. 34.

Eine weitere Folgerung der Newtonschen Auffassung ist aber die: Besteht das weiße Licht aus allen den einfachen Farben, ist es nur ein Gemisch aus ihnen, aus dem unser Auge die einzelnen Farben nicht mehr unterscheiden kann, so muß, wenn wir alle Farben des Spektrums zusammenmischen, wieder Weiß entstehen. Auch diese Folgerung können wir durch das Experiment bestätigen. Ich lasse zu dem Zweck (Fig. 34) das aus dem Prisma  $P$  auseinandertretende Bündel von farbigen Strahlen auf eine zylindrische Linse  $C$  fallen, die die Strahlen nach ihrem Durchgang wieder in eine Linie konzentriert. Sie sehen, daß wir auf dem Schirm jetzt wieder ein weißes Bild des Spaltes bekommen: die Farben des Spektrums geben zusammen Weiß.

Da diese Auffassung des weißen Lichts von besonderer Wichtigkeit ist, so wollen wir sie noch durch andere Experimente stützen. Wir behaupten also: im Weiß sind alle Farben enthalten, wir können sie bloß mit dem Auge, ohne besondere optische Hilfsmittel nicht trennen oder auch: wenn alle Farben des Spektrums gleichzeitig auf dieselbe Stelle des Auges fallen, so sieht das Auge die Farben nicht getrennt, sondern hat den Eindruck des Weißen. Da unser Auge den Eindruck einer Lichterscheinung eine kurze Zeit nachbehält, so können wir auch, statt gleichzeitig, vielmehr sehr rasch nacheinander die einzelnen Farben auf dieselbe Stelle unseres Auges fallen lassen und werden

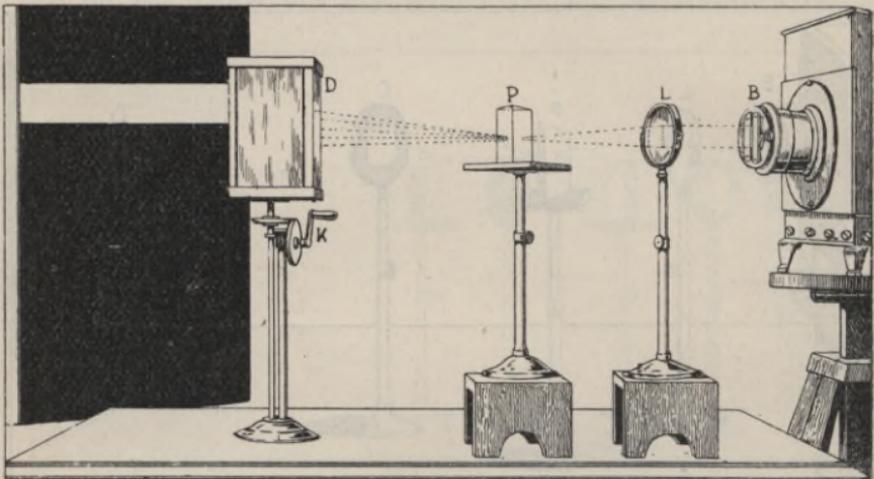


Fig. 35.

dann auch den Eindruck des Weiß bekommen müssen. Um dies auszuführen, habe ich hier einen drehbaren Spiegel *D* (Fig. 35), ein drehbares Kästchen, das auf seinen vier Seiten mit Spiegeln belegt ist, und auf welches ich das Spektrum fallen lasse. Von diesem wird es reflektiert auf die Wand hinten geworfen. Sobald ich nun den Spiegel drehe, bewegt sich das reflektierte Spektrum und es kommt sukzessive und rasch hintereinander an die Stelle einer Farbe eine folgende und dritte usw. Sie sehen tatsächlich, daß Sie bei rascher Drehung des Spiegels die Farben nicht mehr unterscheiden können, sondern ein weißes Band auf der Wand sehen.

Noch auf eine dritte Art können wir dasselbe beweisen. Newton hat auf eine kreisförmige Scheibe (Fig. 36) farbige Papiere so in Sektoren aufgeklebt, daß erstens die Hauptfarben

des Spektrums unter ihnen vertreten waren und daß zweitens die Größe der einzelnen Sektoren etwa der Ausdehnung der betreffenden Farben im Spektrum entsprach. Wenn ich diese Farbenscheibe durch ein Uhrwerk (Fig. 36) drehe, so verschwinden Ihnen auch die einzelnen Farben und Sie sehen ein etwas graues Weiß. Der grauliche Ton kommt daher, daß wir es hierbei nicht mit reinen Spektralfarben zu tun haben.

Durch diese Experimente überzeugen wir uns von der Richtigkeit der Newtonschen Auffassung, daß das weiße Licht der Sonne, oder auch das weiße Licht des elektrischen Lichtbogens alle Farben enthält. Wenn wir nun aber aus den vielen Farben des Spektrums einige herausnehmen — und das können wir bei unserer Anordnung leicht —, was gibt dann die Mischung der anderen? Ich brauche bloß in unserer Anordnung Fig. 34, wo ich das Spektrum durch eine Linse wieder zu Weiß vereinigt habe, ein Kartenblatt vor der Linse  $C$  so zu verschieben, daß ich einzelne Teile des Spektrums nicht durch sie hindurchlasse. Ich halte z. B. das Kartenblatt so, daß ich das Rot nicht hindurchlasse; es gehen noch die gelben, grünen, blauen, violetten Farben hindurch und Sie sehen unser Bild auf dem Schirm ist schön grün gefärbt. Ich halte das Kartenblatt von der anderen Seite vor, so daß ich die violetten und blauen Strahlen abfange, das Bild auf dem Schirm ist orangegelb gefärbt. Ich halte einen schmalen Kartonstreifen in das Gelb, um es abzufangen und Sie sehen, daß die übrigen Farben zusammen Blau geben. Also sagt dieses Experiment zunächst aus, daß wir durch Mischung von einigen der sieben Farben des Spektrums wieder eine der sieben Farben erhalten, keine neue.

Wir können dieses Experiment noch interessanter so gestalten (Fig. 37): Ich bringe vor die Zylinderlinse, auf welche der Farbenfächer fällt, meinen schmalen eckigen Glasstab  $G$  von Fig. 22 an. Dieser lenkt das durch ihn hindurchgehende Licht seitlich ab und wir sehen jetzt auf dem Schirm zwei Bilder, eines herrührend von den Strahlen, die durch den Glasstab gegangen sind, das andere von den übrigen Strahlen.

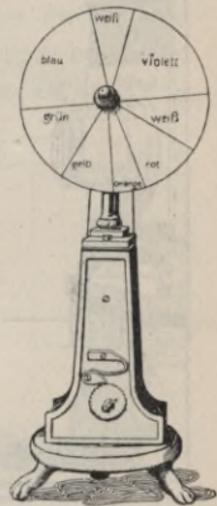


Fig. 36.

Diese beiden Bilder sind verschieden gefärbt. Halte ich den Glasstab in das Rot, so ist das von ihm erzeugte Bild rot, das andere grün, halte ich ihn in das Orange, so ist das andere Bild blau, halte ich ihn ins Gelbgrün, so ist das andere Bild violett, ist der Glasstab im Grün, so ist das andere Bild rot, ist er im Blau, so ist das andere orange, und ist er im Violett, so ist es gelbgrün. Wir haben also die Farben des Spektrums in zwei Teile geteilt und gemischt. Diese beiden Bilder ergeben, wenn ich sie zusammenbringe, immer Weiß, —

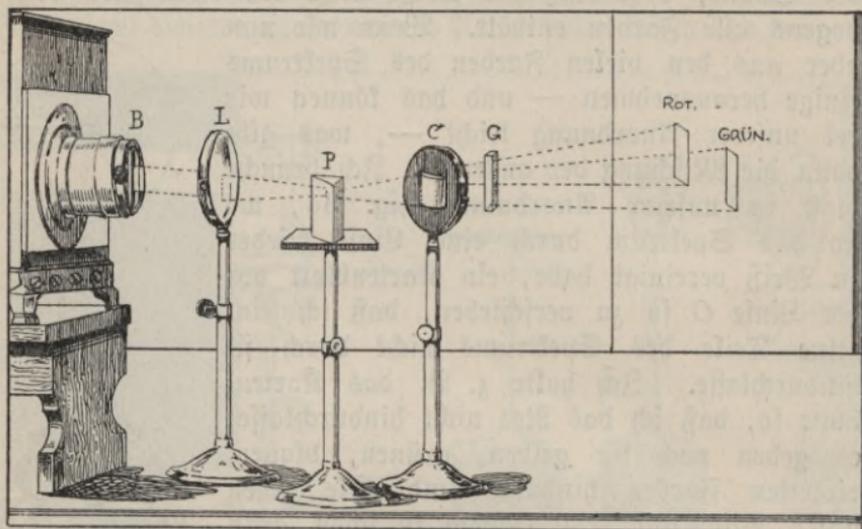


Fig. 37.

denn sie enthalten zusammen alle Farben des Spektrums. Wir nennen zwei Farben, die zusammen den Eindruck des Weiß ergeben, komplementäre Farben und wir müssen also sagen, unsere beiden Bilder sind stets komplementär gefärbt. Komplementärfarben sind also Rot und Grün, Gelb und Blau, Gelbgrün und Violett.

Was uns hier am meisten auffällt, ist die Behauptung, daß Gelb und Blau komplementäre Farben sind, daß sie zusammen Weiß ergeben. Alle unsere Erfahrungen, die wir von Jugend auf mit unseren ersten Tuschversuchen gewonnen haben, sprechen gegen die Richtigkeit dieser Behauptung. Alle unsere Erfahrungen und die aller Künstler sagen uns, daß Blau und Gelb gemischt nicht Weiß, sondern Grün geben. Ich möchte Ihnen deshalb zuerst noch auf eine direkte Weise

zeigen, daß Gelb und Blau zusammen Weiß ergeben, und Ihren Augen werden Sie trotz aller Voreingenommenheit trauen. Allerdings brauche ich dazu eine Anordnung, deren Einzelheiten ich Ihnen hier noch nicht auseinandersetzen kann. Ich bringe nämlich (Fig. 38) vor der Öffnung *A* meiner Bogenlampe ein sogenanntes Nicol'sches Prisma *N* an, konzentriere die Strahlen durch eine Linse *L* auf ein sogenanntes doppeltbrechendes (Senarmont'sches) Prisma *S* und setze nun zwischen das Nicol'sche Prisma und die Linse ein dünnes Gipsblättchen *G*. Sie sehen auf dem Schirm zwei kreisförmige getrennte Bilder erscheinen, von denen das erste grün, das andere rot gefärbt ist, komplementär. Ein anderes Gipsblättchen gibt auch zwei Bilder, die aber nun gelb und blau gefärbt sind. Das hängt von der Dicke des Gipsblättchens ab. Diese beiden getrennten Bilder will

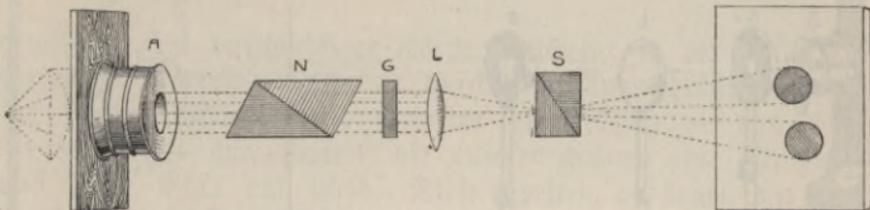


Fig. 38.

ich aber nun zur teilweisen Deckung bringen. Das erreiche ich dadurch, daß ich ein anderes Senarmont'sches Prisma an Stelle von *S* bringe, welches etwas spitzer ist. Wir haben jetzt die Anordnung, die in Fig. 39 gezeichnet ist. Das Nicol'sche Prisma mit dem Gipsblättchen ist bei *N*, das Senarmont'sche Prisma bei *S* gezeichnet. Sie sehen, daß die beiden gefärbten Kreise sich schneiden und da, wo sie sich überdecken, bilden die beiden Komplementärfarben Weiß. So gibt hier das eine Gipsblättchen einen roten und einen grünen Kreis, die in der Über-einanderlagerung Weiß bilden, und so gibt dieses andere Blättchen einen blauen und einen gelben Kreis, die auch in der Über-einanderlagerung weiß erscheinen. Der Augenschein beweist also, daß blaues und gelbes Licht zusammengemischt Weiß ergeben.

Woher kommt nun aber der Widerspruch, in dem diese Tatsache mit der uns geläufigen Tatsache steht, daß blaue und gelbe Farbstoffe zusammengemischt Grün ergeben? Schon aus der Bezeichnung werden wir die Richtung erkennen können,

in der wir suchen müssen. Das eine Mal haben wir es mit farbigen Lichtern, das andere Mal mit farbigen Körpern zu tun. In der That wird diejer Unterschied alles aufklären, und unsere nächste Aufgabe muß es nun sein, zu untersuchen, worin denn die Farben der Körper eigentlich bestehen.

Die Art und Weise, wie wir das untersuchen wollen, ist eigentlich sehr naheliegend. Wir wollen zunächst durchsichtige farbige Körper, z. B. gefärbte Gläser nehmen, unser weißes Licht durch diese hindurchgehen lassen und das aus ihnen austretende farbige Licht auf ein Prisma fallen lassen und so zerlegen. Ich brauche also nur bei unserer Anordnung in Fig. 32 vor den Spalt solche farbige Körper zu halten. Sehr gut

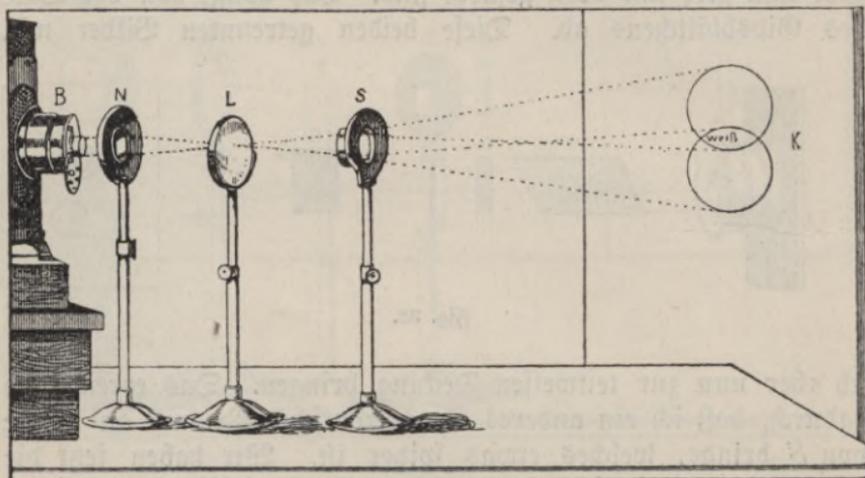


Fig. 39.

eignen sich zu diesen Versuchen gefärbte Gelatineblätter, wie man sie jetzt im Handel bekommt. Ich setze also diese rote Gelatine vor meine Lampe; Sie sehen (Fig. 40), daß das Spektrum jetzt ein ganz eigenes Aussehen hat. Man sieht noch den roten Teil des Spektrums und den orangefarbenen und gelben, aber an Stelle des grünen Teils ist das Bild ganz dunkel, ebenso im blauen, und nur ein Teil des violetten erscheint wieder. Ich bringe zweitens diese grüne Gelatine (Fig. 41) vor den Spalt. Das Spektrum sieht wieder ganz anders aus. Hier ist der grüne und gelbe Teil und ein wenig vom blauen Teil noch vorhanden, aber der rote und violette ist verschwunden, an ihrer Stelle sehen wir nichts, Dunkelheit

im Spektrum. Was können wir daraus schließen? Offenbar das, daß von allen Farben, die im weißen Licht enthalten sind, und die auf die gefärbten Körper auffallen, ein Teil in diesen zurückgehalten wird und nur ein anderer Teil durch sie hindurchgelassen wird. Dieses Zurückhalten von einzelnen Farben, die also dann nicht durch die Gelatine durchdringen, nennen wir Absorption. Ein Teil des weißen Lichtes wird also in den farbigen Körpern absorbiert und nur der Rest wird durch-

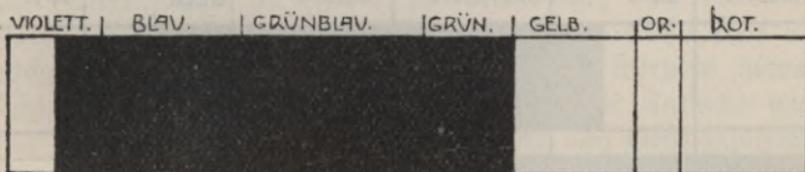


Fig. 40.

gelassen. Ein durchsichtiger Körper erscheint in der Mischung derjenigen Farben, welche er durch sich hindurchläßt. So ist die Farbe unserer roten Gelatine eine Mischung von Rot, Orange, Gelb und Violett, die unserer grünen eine Mischung von Grün, Blau und Gelb. Diese Spektren, in denen ein Teil der Farben fehlt, weil sie durch Absorption zurückgehalten sind, nennt man Absorptionsspektren. Ich zeige Ihnen hier (Fig. 42) die Absorptionsspektren verschiedener Gelatinen, die die Färbungen

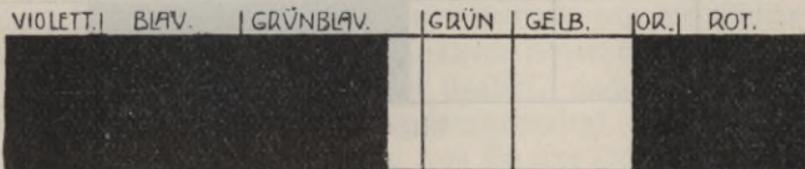


Fig. 41.

rot (1), gelb (2), grün (3), blau (4) und violett (5) haben. Wir sehen unter anderem daraus, daß diese rote Gelatine (1) ein etwas anderes Spektrum hat, wie die rote Gelatine der Fig. 40. Das Gelbe fehlt hier ganz, dafür ist mehr Violett und Blau darin. In der Tat zeigen von diesen beiden roten Gelatinefolien die eine ein mehr violettes, die andere eine mehr gelbes Rot.

Auch farbige Flüssigkeiten, wie Lösungen von Kupfervitriol, übermangansaurem Kali, zeigen die gleiche Art von Absorptionss-

Spektren. Auf zwei von diesen Spektren bitte ich Sie besonders zu achten, auf das von der gelben Gelatine (2) und das von der blauen (4). Das erstere enthält nur rote, gelbe und grüne Strahlen, die violetten und die blauen sind absorbiert. Das zweite enthält fast nur blaue, grüne und violette Strahlen, die roten und gelben sind absorbiert. Wenn ich jetzt die beiden Gelatineblätter übereinander lege, was wird dann eintreten?

	VIOLETT.	BLAU.	GRÜNBLAU.	GRÜN.	GELB.	ROT.
1			■			
2	■					
3	■			■		
4				■		
5			■			

Fig. 42.

Aus der gelben Gelatine treten rote, gelbe und grüne Strahlen in die blaue ein. Die blaue Gelatine aber absorbiert die roten und gelben und es treten also aus dieser nur die grünen Strahlen hindurch. Das Licht, das durch gelbe und blaue Körper hintereinander gegangen ist, ist grün insolge der Absorption. Wir können sagen, daß wir hier eine Farbmischung durch Subtraktion haben. Von den aus dem ersten gefärbten Körper austretenden Strahlen hat der zweite wieder diejenigen fortgenommen, die er absorbiert, so daß das grüne durchgelassene bloß die Differenz des weißen Lichtes abzüglich der zwei Absorptionen ist.

Wir kennen nun auch eine Menge farbiger Körper, welche nicht durchsichtig sind, z. B. hier diese bunten Papiere. Woher entsteht deren Färbung? Wir können ohne weiteres sagen, daß sie, also z. B. ein rotes Papier, von allen Strahlen, die im weißen Licht enthalten sind, nur die roten diffus zurückwerfen. Die übrigen absorbieren sie. Um diese Absorption erklären zu können, müssen wir freilich annehmen, daß auch bei undurchsichtigen Körpern das auffallende Licht eine gewisse, wenn auch sehr kleine Strecke weit in den Körper eindringt, daß dabei die Absorptionen stattfinden und daß das von dieser kleinen Tiefe aus zurückgeworfene Licht dann die Färbung des Körpers hervorbringt. Daraus werden wir nun auch jetzt die Tatsache leicht erklären können, daß die Malerfarben Blau und Gelb zusammen Grün ergeben. Diese Farben bestehen gewöhnlich aus pulverförmigen Substanzen. Die gelben Farbstoffe werfen nun hauptsächlich gelbe, grüne und rote Strahlen zurück, die blauen dagegen blaue, violette und grüne. Beim Zusammenwirken kommt das Licht in unser Auge nicht bloß aus der obersten Schicht, sondern auch aus tieferen Schichten, wobei die gelben und roten Strahlen von dem blauen Pulver, die blauen und violetten von dem gelben absorbiert werden, wodurch also vermittels der Subtraktion nur die grüne Farbe erscheint. Die Ursache dieser Erscheinung bei der Farbenmischung ist also eine doppelte. Erstens, daß die Farben der einzelnen Farbstoffe überhaupt keine einfachen, sondern gemischte sind, und zweitens, daß die Mischung ihrer Farben durch Subtraktion, durch Absorption entsteht.

Man kann aber auch zwei Farben, auch wenn sie nicht einfach, sondern selbst schon zusammengesetzt sind, noch auf andere Weise mischen, nämlich so, daß sich ihre Lichter summieren, daß also, wie man es nennen kann, eine Mischung durch Addition anstatt der bisherigen durch Subtraktion entsteht. Dabei bekommt man auch ganz andere Resultate. Solche addierende Mischungen kann man sehr schön mit dem Farbenmischungsapparat (Fig. 43) hervorbringen und demonstrieren. Derselbe wird vor die Öffnung einer Laterne für elektrisches Licht gesetzt. Das Kästchen, das Sie sehen, ist durch Scheidewände in drei Kammern I, II, III eingeteilt, von denen jede vorn eine Linse enthält. In die mittlere Kammer dringt das Licht von der Bogenlampe direkt durch eine Glasplatte G, in die beiden äußeren wird es durch Brechung und Spiegelung

an den Spiegeln  $Sp$  hineingeleitet. Die Linsen  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  werden so gestellt, daß die drei Lichtbündel nach dem Durchgang auf dieselbe Stelle eines Schirmes fallen, also sich übereinander lagern. Man kann durch einen Hebel die drei Kammern I, II, III mit ihren Linsen auseinander ziehen. Dann erhält man drei getrennte helle Kreise auf einem Schirm und durch Zusammenschieben der Kammern vereinigen sich diese Kreise in einen. Das mittlere von den drei Bildern ist weitaus heller als die seitlichen, weil das Licht in der mittleren Kammer nicht durch Spiegelung und Brechung geschwächt ist. Für unsere Zwecke der Farbmischung brauchen wir nun bloß zwei von den drei

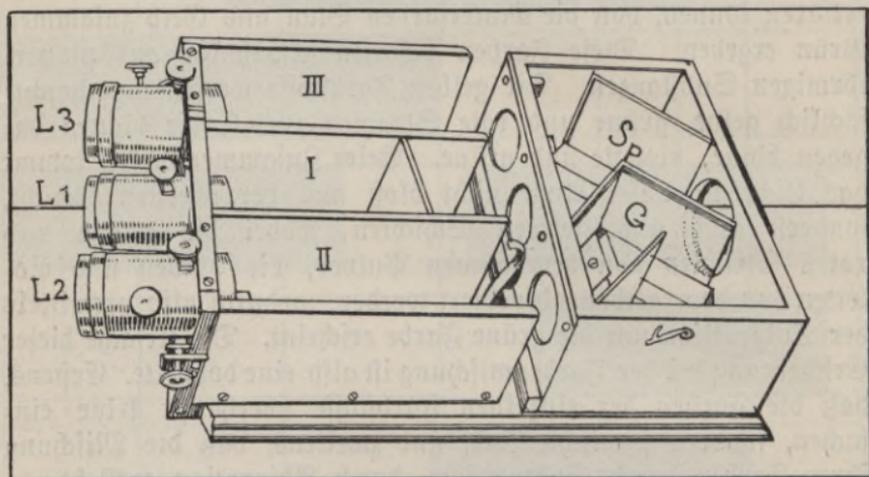


Fig. 43.

Kammern. Ich setze also vor die mittlere Linse eine schwarze Kappe, und nun kann ich das Licht jeder der beiden äußeren Kammern farbig machen, indem ich es durch unsere farbigen Gelatinen hindurchgehen lasse und kann auf dem Schirm die Summation dieser beiden gefärbten Lichter hervorbringen. Sie sehen, daß wir hier tatsächlich additiv Farben mischen. Ich bringe also in die eine Kammer eine blaue, in die andere eine orange Gelatine. Das Resultat ist, wie Sie sehen, helles Weiß mit einem Stich ins Rötliche. Ich bringe Rot und Grün hinein. Das Resultat ist Weiß mit einem Stich ins Gelbliche. Ich bringe Gelb und Violett hinein. Das Resultat ist Weiß mit einem Stich ins Bläuliche. Die schwache Färbung des Weiß

rührt natürlich daher, daß unsere Gelatinen nicht genau komplementär gefärbt sind, da sie ja überhaupt sehr verschiedene Farben enthalten. Aber wir sehen tatsächlich, daß nahezu komplementäre Farben, auch wenn sie selbst zusammengesetzt sind, additiv gemischt Weiß ergeben. Dieselbe gelbe und blaue Gelatine von vorhin, übereinander gelegt, geben, wenn ich sie in die eine Kammer des Apparats bringe und das Licht der anderen abblende, Grün, weil jetzt eben wieder Mischung durch Subtraktion stattfindet.

Können wir durch Mischung von verschiedenen Farben eine neue Farbe erzeugen, die wir noch nicht kennen? Gibt es überhaupt außer den Farben des Spektrums noch andere Farben? Diese Frage können wir hier leicht beantworten, indem wir alle möglichen gefärbten Gelatineblätter zu je zweien kombinieren. Wir finden z. B. Rot und Gelb gibt Orange, Rot und Blau gibt Violett, Grün und Gelb gibt ein schönes Grüngelb, Grün und Blau ein schönes Grünblau, Grün und Violett ein helles Blau. Das sind aber alles Farben, die wir schon kennen. Eine neue Farbe aber, die im Spektrum nicht vorkommt, erhalten wir, wenn wir rote und violette Strahlen miteinander vermischen. Dann bekommen wir, wie Sie sehen, eine sehr schöne Farbe, Purpurrot, welche unter den Spektralfarben nicht enthalten ist. Je nach der Tönung der beiden zusammensetzenden Farben, Rot und Violett, ist dieses Purpurrot dunkler oder heller. Ganz hellen Purpur nennen wir rosa. Übrigens spielt bei dem Resultat der Mischung zweier Farben die Helligkeit jeder einzelnen Farbe ein große Rolle. Wären die Lichter der beiden Kammern nicht gleich hell, sondern verschieden stark, so würde das Resultat der Mischung auch ganz anders ausfallen.

Wir haben hier immer zwei Farben gemischt und wir haben zunächst gesehen, daß wir auch schon durch zwei Farben Weiß hervorbringen können. Wenn wir nun fortschreiten und noch eine dritte Farbe hinzumischen, so können wir auch wieder Weiß, wir können aber auch sonst sämtliche Hauptfarben des Spektrums und das Purpur hervorbringen. Zu dem Zweck setze ich vor die mittlere Kammer meines Apparates eine grüne, rechts eine rote, links eine blaue Gelatine. Da diese nicht einfach gefärbt sind, sondern, wie die spektrale Zerlegung zeigt, selbst sehr viele Farben enthalten, so muß man etwas herum-

probieren, bis man drei passende Farbennuancen erhält. Diese drei Lichter zusammen geben, wie Sie sehen, Weiß. Aber daß dieses Weiß nur aus drei, nicht aus allen Farben zusammengesetzt ist, kann ich in überraschender Weise Ihnen dadurch nochmals beweisen, daß ich nun in eine der drei Kammern einen schattengebenden Körper, z. B. einen Bleistift hineinhalte. Ich halte den Bleistift z. B. in die mittlere Kammer, Sie sehen den Schatten desselben schön violett gefärbt, ich halte ihn in die rechte Kammer, der Schatten ist grünblau, ich halte ihn in die linke Kammer, der Schatten ist gelb gefärbt. In der Tat, durch den Bleistift nehme ich für die betreffende Stelle des Schirmes eine von den drei Farben fort und diese Stelle muß also in der Mischung der beiden anderen gefärbt sein. Durch Mischung des Grün mit dem Rot entsteht ein schönes Hellgelb (die grüne Gelatine ist zu dem Zweck passend etwas grüngelb gewählt), das durch Abschwächung des Grün in Orange übergeht. Durch Mischung von Grün mit Blau ein schönes Blaugrün, von Rot mit Blau ein schönes Violett, das durch Abschwächen des Blau in Purpur übergeht. So können wir also, wenigstens im groben, alle Hauptfarben des Spektrums und das Weiß und Purpur durch drei passend gewählte Farben erzeugen. Davon ist bekanntlich in dem Dreifarbendruck eine Anwendung gemacht worden und wir selbst werden unseren Apparat mit den drei Farben in einer folgenden Vorlesung zur Herstellung von Photographieprojektionen in nahezu natürlichen Farben benutzen.

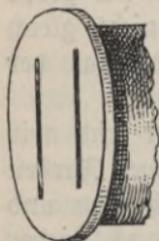


Fig. 44.

Daß tatsächlich durch die Mischung aller Farben des Spektrums keine weitere neue Farbe als das Purpur entsteht, können wir auch durch folgenden Versuch beweisen, bei dem wir direkt die Farben zweier Spektren mischen. Ich setze vor meine Lampe einen Schirm, aus dem ich zwei parallele enge Spalte ausgeschnitten habe (Fig. 44). Ich erhalte dadurch zwei parallele Strahlenbündel. Den einen I breite ich nun (Fig. 45) durch Linse  $L_1$  und Prisma  $P_1$  direkt zu einem Spektrum  $A$  aus, den anderen lenke ich durch zwei Spiegel  $\beta$  und  $\sigma$  erst ab und breite ihn dann ebenfalls durch Linse  $L_2$  und Prisma  $P_2$  zu einem Spektrum  $B$  aus. Durch geringes Verschieben des Spiegels  $\sigma$  oder  $\beta$  kann ich aber nun

das Spektrum *B* durch das Spektrum *A* hindurchschieben, so daß ich alle Farben von *B* der Reihe nach mit allen Farben von *A* mische. Bei der Ausführung dieses Experiments sehen Sie, daß wir in der That immer wieder dieselben sieben Farben durch Mischung erhalten und daß nur noch die Purpurfarbe als neue hinzukommt.

Wir haben uns eine Zeitlang von dem eigentlichen Gegenstand unserer heutigen Untersuchung entfernt, welcher darin bestand, zu fragen, worauf die Farben der Körper eigentlich beruhen. Wir haben nun allerdings die Hauptsache bereits ge-

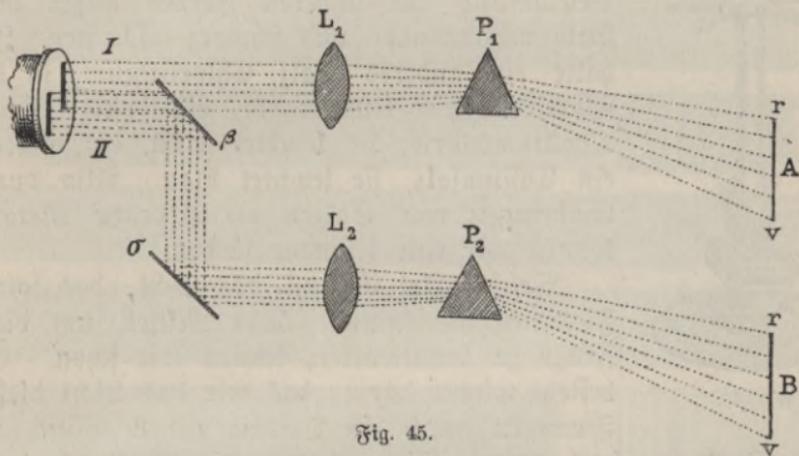


Fig. 45.

funden, daß bei allen durchsichtigen und undurchsichtigen Körpern, die nicht selbst leuchtend sind, sondern beleuchtet werden, die Färbung darauf beruht, daß sie Teile des auffallenden Lichtes absorbieren. Aus diesem Grunde muß auch ein farbiger Körper, wenn er vom Licht getroffen wird, das nur Strahlen enthält, die er absorbiert, schwarz erscheinen. Ich halte z. B. in das helle Licht unserer Bogenlampe diese Flasche mit Zinnober, Sie sehen ein lebhaft rot gefärbtes Pulver. Wenn ich aber jetzt vor die Öffnung der Bogenlampe ein grünes Glas halte, so daß gar keine roten Strahlen auf das Pulver fallen, so sehen Sie, daß es in der That ganz schwarz erscheint.

Wir kennen aber auch eine Reihe von Lichtquellen selbst, die gefärbtes Licht aussenden, die sogenannten farbigen Flammen. Deren Färbung beruht offenbar nicht auf Absorption, denn sie sind es ja selbst, die das Licht aussenden. Die Ursache ihrer Färbung wollen wir jetzt untersuchen.

Zunächst möchte ich Ihnen zeigen, wie man solche farbige Flammen herstellt. Ich habe hier (Fig. 46) einen sogenannten Bunsenschen Gasbrenner. Dessen Flamme ist fast nicht leuchtend. Ich nehme nun mittels einer Zange ein bißchen Kochsalz und halte es in die Flamme. Die Flamme leuchtet sofort sehr schön hellgelb. Das ganze Zimmer ist mit gelbem Licht erhellt und wenn Sie sich gegenseitig ansehen, so werden Sie finden, wie geisterhaft Sie alle aussehen, weil eben in dieser gelben Beleuchtung alle anderen Farben außer dem Gelb verschwinden und schwarz erscheinen. Ich halte ein anderes Salz, Chlorlithium, in die Flamme. Sie leuchtet rot, ein drittes Salz, Thalliumchlorid, sie leuchtet grün, ein viertes, ein Cäsiumsalz, sie leuchtet blau. Also durch Einbringen von Salzen verschiedener Metalle können wir eine Flamme färben.

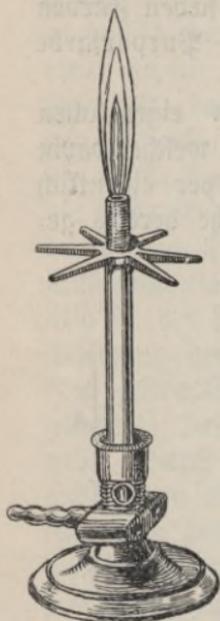


Fig. 46.

Welcher Art ist nun das Licht, das solche Flammen aussenden? Das Mittel, um diese Frage zu beantworten, kennen wir schon. Es besteht wieder darin, das wir das Licht dieser Flammen durch ein Prisma gehen lassen und das Spektrum beobachten. Die Spektren, die ich durch diese gefärbten Gasflammen erhalten würde, wären zu schwach, als

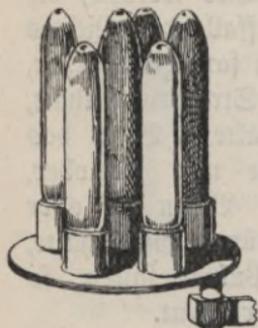


Fig. 47.

daß Sie sie deutlich sehen könnten. Ich will deshalb das Licht unserer Bogenlampe durch diese Salze färben. Zu dem Zwecke habe ich hier einen kleinen Apparat (Fig. 47), den ich an Stelle der unteren Kohle in die Bogenlampe einsetzen kann. Auf einem kreisförmigen Untersatz sind sechs kleine Kohlenstifte angebracht, die oben ausgehöhlt sind. In die Höhlungen habe ich nun der Reihe nach die Salze gebracht von: Natrium, Lithium, Thallium, Cäsium, Strontium, Barium. Sobald der eine oder der andere dieser Kohlenstifte der oberen Kohle gegenübersteht und der Strom durch beide Kohlen hindurchgeht, verdampfen die Salze und färben den Lichtbogen. Dieses Licht

ist hell genug, daß, wenn es durch unser Prisma geht, die Erscheinung im ganzen Saale sichtbar ist. Die übrige Aufstellung des Apparates ist also dieselbe wie in Fig. 32. Durch den Spalt trifft das Licht eine Linse und geht dann durch das Prisma, wodurch auf einem seitlichen Schirm ein Spektrum erzeugt werden soll.

Ich lasse erst die Kohle mit dem Natriumsalz in Wirkung treten. Zu unserer Überraschung sehen wir auf dem Schirm

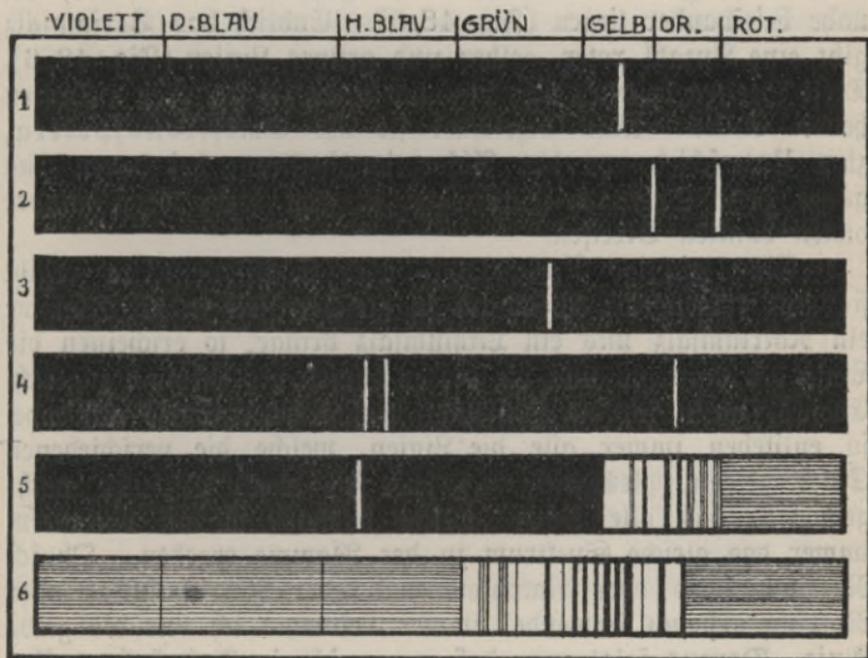


Fig. 48.

gar kein Spektrum, sondern nur eine helle gelbe Linie (Fig. 48, 1). Was bedeutet das? Es bedeutet offenbar, daß unsere Natriumflamme nicht Licht von allen möglichen Farben des Spektrums, sondern nur Licht von einer bestimmten, nämlich der gelben Farbe, aussendet. Das Spektrum dieser farbigen Flamme ist also ein ganz anderes als das des weißen Bogenlichts. Es besteht tatsächlich nur aus einer Linie. Ich nehme die Kohle mit dem Lithiumsalz. Wir sehen statt eines ausgedehnten Spektrums nur zwei Linien erscheinen, eine schöne rote und eine orangegelbe (Fig. 48, 2). Die Lithiumflamme sendet also nur

zwei Strahlenarten von verschiedener Farbe aus. Unser Thalliumsalz gibt uns wieder bloß eine schöne grüne Linie (Fig. 48, 3). Es ist also das Licht der Thalliumflamme wie das der Natriumflamme durchaus einfarbig, während das der Lithiumflamme zweifarbig ist. Einfarbiges Licht bezeichnen wir als homogenes Licht. Unser viertes Salz, Cäsium, gibt uns zwei verschiedene blaue und eine gelbrote Linie (Fig. 48, 4). Das Strontiumsalz gibt schon mehr. Es gibt eine blaue Linie, die sehr hell ist, ferner eine gelbe und noch eine Anzahl Linien im Rot, die nahe beieinander liegen (Fig. 48, 5). Endlich das Bariumsalz gibt eine Anzahl roter, gelber und grüner Linien (Fig. 48, 6). Diese Spektren bestehen also nur aus einer, zweien oder mehreren hellen Linien. Man bezeichnet sie als Emissionsspektren, zum Unterschied von den Absorptionsspektren, bei denen das ganze helle Spektrum durchzogen ist von mehr oder minder vielen dunklen Streifen.

Eine wichtige Anwendung dieser Emissionsspektren ergibt sich aus folgendem: Wenn ich zu gleicher Zeit in die Flamme ein Natriumsalz und ein Lithiumsalz bringe, so erscheinen die Linie des Natrium und die beiden Linien des Lithium zugleich. Ebenso, wenn ich die Mischung verschiedener Salze anwende, so entstehen immer alle die Linien, welche die verschiedenen Salze zeigen, gleichzeitig. Ferner ist durch Versuche nachgewiesen, daß alle Salze, welche dasselbe Metall enthalten, immer das gleiche Spektrum in der Flamme ergeben. Ob ich Natriumchlorid oder Natriumbromid oder Natriumsulfat oder Natriumkarbonat anwende, immer bekomme ich nur die gelbe Linie. Daraus folgt nun, daß, wenn ich ein Salz habe, dessen Zusammensetzung mir unbekannt ist, daß ich dann, wenn ich es in die Flamme bringe und sein Emissionsspektrum untersuche, ohne weiteres aus der Art und Lage der hellen Linien, welche das Spektrum zeigt, schließen kann, welche Metalle in dem Salz enthalten sind. Vorausgesetzt ist dabei, daß ich vorher für alle bekannten Metalle ihre Linien mir in Tafeln oder Tabellen verzeichnet habe. Man kann auf diese Weise also durch Spektralbeobachtungen eine unbekanntes chemische Substanz analysieren und da diese Flammenreaktionen äußerst empfindlich sind, da schon Spuren von Natrium genügen, um die gelbe, Spuren von Lithium genügen, um die rote und orange Linie hervorzubringen, so ist diese Spektralanalyse — so nennt man

nach dem Vorgang von Kirchhoff und Bunsen diese Methode — ein mächtiges Hilfsmittel in der Hand des Chemikers. In der That hat auch die Spektralanalyse sofort nach ihrer Entdeckung und auch später im Laufe der Jahre sehr wichtige Resultate für die Wissenschaft hervorgebracht. Kirchhoff und Bunsen selbst fanden sofort durch ihre Linien zwei neue Metalle auf, nämlich das Cäsium, dessen Spektrum ich Ihnen eben gezeigt habe, und das Rubidium. Crookes fand später auf dieselbe Weise das Thallium und so wurden allmählich noch eine Reihe weiterer Metalle, das Indium, Gallium usw. durch die Spektralanalyse entdeckt.

Diese Metalllinien haben aber noch eine viel weitergehende Bedeutung bekommen. Als wir das Spektrum unseres weißglühenden Bogenlichts entwarfen, so sahen wir die ganze Fläche des Spektrums von Farben verschiedener Art erfüllt. Auch bei

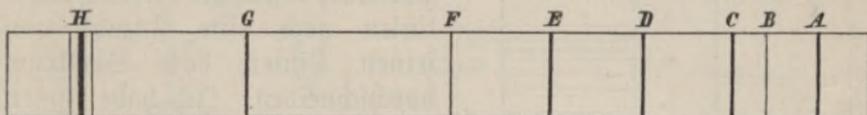


Fig. 49.

genauem Zusehen, auch bei starker Vergrößerung kann man in diesem Spektrum nirgends eine Lücke entdecken. Anders dagegen ist es, wenn man nicht das weiße Licht einer Bogenlampe, sondern, was eigentlich das Naheliegendste ist, das Licht der Sonne spektral zerlegt. Ich kann, wegen der Abendstunden dieser Vorlesungen, Ihnen das Experiment leider nicht zeigen, sondern Sie müssen mir hier auf das Wort glauben, ohne sich selbst zu überzeugen. Wenn man das Sonnenlicht durch einen Spalt und Prisma in ein Spektrum ausbreitet, so bietet das die Erscheinung, die Sie hier auf dieser Tafel (Fig. 49) abgebildet sehen. Das Spektrum ist durchzogen von einer Anzahl mehr oder minder kräftiger und breiter dunkler Linien. Diese Linien waren lange ein Rätsel. Fraunhofer hat die Lage dieser Linien im Spektrum genau bestimmt und man nennt sie nach ihm Fraunhofersche Linien. Er hat zugleich die stärksten von ihnen mit Buchstaben A bis H bezeichnet. Die Linie A ist sehr kräftig und liegt am äußersten Ende des Rot, auch B und die stärkere Linie C liegen noch im Rot. D, eine sehr

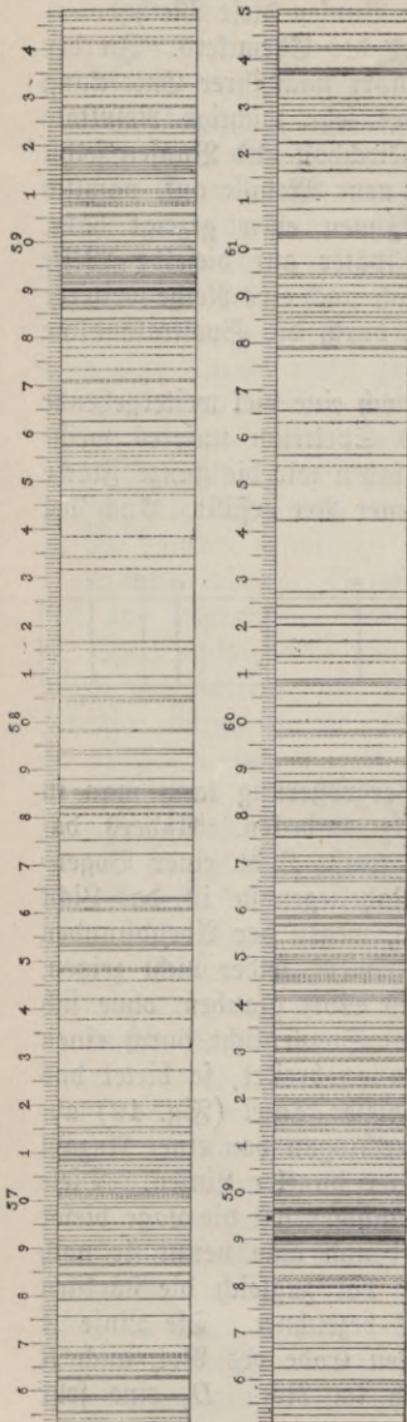


Fig. 50.

kräftige Linie, liegt im Gelb, *E* im Grün, *F* im Hellblau, *G* im Dunkelblau, *H*, eine sehr kräftige Linie, im Violett. Wenn man aber die Beobachtungsmethode verfeinert, das Spektrum weiter auseinanderzieht, den Spalt enger macht und sich nicht auf die Beobachtung mit bloßem Auge beschränkt, so findet man, daß erstens diese Linien, die wir hier als einzelne angeführt haben, zum Teil aus mehreren eng beieinander stehenden zusammengesetzt sind, und zweitens, daß außer diesen Hauptlinien noch eine Unzahl von feinen Linien das Spektrum durchschneiden. Ich habe Ihnen z. B. hier (Fig. 50) eine Tafel aufgehängt, welche die Linien alle in der Nähe von *D*, also einen Teil der Linien zwischen *C* und *E* angibt. Wir wollen uns aber mit den Fraunhofer'schen Hauptlinien *A* bis *H* begnügen. Solche schwarze Linien in einem Spektrum sind, wie wir wissen, Zeichen von Absorption des Lichtes. Aber wie kommen in das Licht der Sonne Absorptionsstreifen hinein? Daß die Absorption in der Atmosphäre der Erde diese Hauptlinien nicht verursacht, ließ sich leicht nachweisen. Man kennt jetzt genau diejenigen Linien, welche durch die Luftabsorption hervorgebracht sind. Die Linien *A* bis *H* gehören nicht zu diesen. Ganz

besonders auffallend ist auch, daß die Linie *D* im Sonnenspektrum genau an derjenigen Stelle im Gelb liegt, in welcher die helle gelbe Linie des Natriumdampfes sich befindet. Diese Fraunhoferschen Linien waren also in der Tat ein sehr schwer lösbares Rätsel, dessen Auflösung aber höchst überraschend werden sollte.

Wir hatten das Licht einer Bogenlampe durch gefärbte Substanzen, Gläser, Gelatine, Flüssigkeiten gehen lassen und die Absorptionen im Spektrum beobachtet. Kirchhoff fragte sich nun, was wird denn geschehen, wenn das Licht einer Bogen-

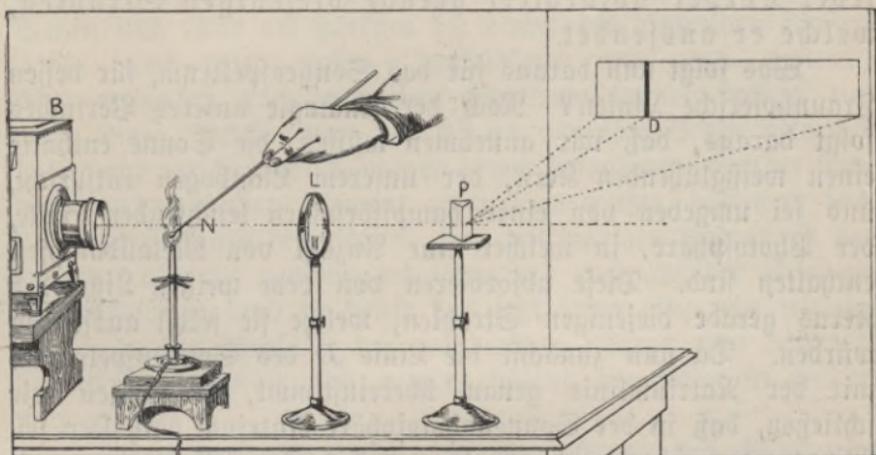


Fig. 51.

lampe durch eine gefärbte Flamme, also etwa durch glühenden Natriumdampf hindurchgeschickt wird. Wir wollen den Versuch von Kirchhoff, der sehr berühmt geworden ist, hier nachmachen. Zu dem Zweck bringe ich vor den Spalt der Bogenlampe, wie Fig. 51 zeigt, eine Gasflamme, in welche ich ein Löffelchen mit Natriummetall *N* einführe. Die Flamme leuchtet schön gelb und gibt, durch Linse *L* und Prisma *P* auf die Wand geworfen, die bekannte gelbe Linie an bestimmter Stelle, die aber in der Projektion allerdings schwach ist, da sie nur durch Gaslicht erzeugt ist. Nun aber schalte ich den Strom in meine Bogenlampe *B* ein. Sofort sehen Sie auf dem Schirm das ganze Spektrum erscheinen, aber an der Stelle *D*, die eben noch allein hell war, ist jetzt ein ganz dunkler Streifen erschienen. Die Natriumlinie, die vorher hell war,

hat sich gerade umgekehrt. Das ist ein äußerst interessanter Versuch von weittragenden Folgen. Er sagt zunächst direkt das aus, daß der glühende Natriumdampf gerade diejenige Farbe aus dem ganzen Spektrum absorbiert, welche er selbst aussendet. Die Farbe an der Stelle *D* wird von der Natriumflamme erzeugt, aber diese Farbe, die im Bogenlicht enthalten ist, wird von der Flamme auch absorbiert. Dasselbe können wir mit einer Lithiumflamme machen. Hier erhalten wir jetzt zwei dunkle Streifen, einen im Rot und einen im Orange. Wir können dieses Resultat verallgemeinern und aussprechen: Ein jeder Körper absorbiert gerade diejenigen Strahlen, welche er aussendet.

Was folgt nun daraus für das Sonnenspektrum, für dessen Fraunhofersche Linien? Nach der Analogie unseres Versuches folgt daraus, daß wir annehmen müssen, die Sonne enthalte einen weißglühenden Kern, der unserem Lichtbogen entspricht, und sei umgeben von einer dampfförmigen leuchtenden Hülle, der Photosphäre, in welcher eine Anzahl von Metaldämpfen enthalten sind. Diese absorbieren von dem weißen Licht des Kerns gerade diejenigen Strahlen, welche sie selbst aussenden würden. Da nun zunächst die Linie *D* des Sonnenspektrums mit der Natriumlinie genau übereinstimmt, so müssen wir schließen, daß in der Sonnenphotosphäre Natrium enthalten sei. Wir werden überhaupt alle Linien des Sonnenspektrums mit denen der Metalle vergleichen und dadurch feststellen können, welche Stoffe in der Sonnenatmosphäre enthalten sind. Man hat so eine große Reihe irdischer Stoffe, namentlich Eisen, Kupfer, Nickel, Mangan, Kohlenstoff, Lithium, Silber, Zinn in der Sonne nachweisen können. Dagegen fehlen auf ihr auch eine ganze Reihe irdischer Stoffe, insbesondere die schwersten Stoffe, Iridium, Osmium, Platin, Uran und, was besonders interessant ist, auch das Gold. Die auri sacra fames, der ver wünschte Hunger nach Gold, wäre also auf der Sonne unbekannt, da man das Gold dort gar nicht kennt. Das Fehlen der schwersten Körper in der hohen Temperatur der Sonne spricht für die neuesten Anschauungen, nach denen die Elemente und namentlich die schwersten, eine langsame Umwandlung erfahren.

Wenn übrigens diese angeführte Anschauung von der Konstitution der Sonne, daß sie nämlich aus einem weißglühenden

Kern und einer glühenden Dampfatosphäre bestehen soll, richtig ist, so muß sie sich noch direkt prüfen lassen. Wenn bei einer Sonnenfinsternis der Kern der Sonne verdeckt ist, so sieht man bekanntlich von dem Rande aus die sogenannten Protuberanzen, wolkenförmige Gebilde, in die Höhe schießen. Diese wären also Teile der dampfförmigen Hülle und wenn man das von dieser ausgehende Licht durch ein Prisma zerlegt, so muß das Spektrum genau so aussehen, wie das von glühendem Natriumdampf oder Lithiumdampf erzeugte, das heißt es muß helle Linien enthalten, nicht dunkle. Diese Folgerung ist tatsächlich bestätigt worden. Das Spektrum der Protuberanzen zeigt helle Linien und zwar am stärksten die Linien des glühenden Wasserstoffs (eine rote, grüne, dunkelblaue und zwei violette). Aber man sah auch in diesem Spektrum immer kräftig eine gelbe Linie, welche man bei keinem irdischen Stoffe gefunden hatte, und welche man deswegen einem besonderen, auf der Erde nicht vorkommenden Element zuschreiben mußte, das man deshalb als Helium bezeichnete. Erst seit wenigen Jahren ist das Helium, als ein gasförmiges Element, auch auf der Erde gefunden worden und es spielt das jetzt sogar eine sehr wichtige Rolle, da das Radium, der wunderbare Körper, von dem jetzt so viel die Rede ist, sich, wie es scheint, von selbst in Helium umwandelt.

Wir haben also durch die Beobachtung des Spektrums ein Mittel, die Beschaffenheit der Sonne und aller ähnlichen Sterne, der Fixsterne, auch wenn sie noch so weit entfernt sind, hier auf Erden festzustellen, gewiß einer der großartigsten Beweise, welche weitgehenden Folgerungen aus gründlicher Beobachtung der uns umgebenden Natur gezogen werden können.

## Dritte Vorlesung.

### Interferenzen. Wellennatur des Lichts. Lichtäther.

Als Newton an dem Fenster seines Wohnhauses bei London von Vorübergehenden oft beobachtet wurde, wie er Seifenblasen machte, da ging, wie erzählt wird, das Gerücht in London um, der große Newton sei kindisch geworden. Aber offenbar ist es etwas anderes, wenn ein Kind mit Seifenblasen spielt, etwas anderes, wenn sich ein Newton damit beschäftigt. In den Seifenblasen steckt ein großes optisches Problem, ein wichtiges optisches Fragezeichen. In der That denkt ein Kind nicht darüber nach, und auch die wenigsten Erwachsenen tun es, woher denn eigentlich die Farben bei den Seifenblasen ihren Ursprung haben, aber Newton tat es. Hier haben wir Farben, welche wir uns durch unsere bisherigen Kenntnisse nicht erklären können. Sie sind in Seifenlösung vorhanden, welche eine farblose Substanz ist, und sie entstehen nur unter den besonderen Umständen, daß aus der Seifenlösung eine Blase gebildet wird. Außerdem zeigt dieselbe Stelle der Seifenblase bald rote, bald grüne usw. Farben, kurz die Farben können nicht aus dem weißen Licht durch Absorption entstanden sein, wie wir bisher die Farben aller Körper erklärt haben. Also ist hier ein neues, ungelöstes Problem vorhanden.

Obwohl die Seifenblasen eine sehr bekannte Erscheinung sind, möchte ich sie doch hier projizieren, zumal da ich Ihnen zugleich zeigen möchte, daß man durch Anwendung der sogenannten Plateauschen Mischung Seifenblasen erzeugen kann, die nicht so leicht zerspringen, sondern sich in ruhiger Luft eine Viertelstunde lang halten können. Diese Plateausche Lösung stellt man sich folgendermaßen dar. Man löst 25 g Marseiller Seife in 1 l destilliertem Wasser bei gelinder Erhitzung auf,

kühlt dann die Lösung wieder auf Zimmertemperatur ab und setzt 660 g Glycerin zu. Nach tüchtigem Schütteln läßt man die Mischung eine Woche lang stehen, kühlt sie dann durch Eiswasser auf etwa  $3^{\circ}$  C ab und filtriert sie durch sehr durchlässiges Filtrierpapier, wobei man die trüben Teile so lange zurückgießt, bis die filtrierte Flüssigkeit ganz klar ist. Mit dieser Lösung erzeuge ich auf einer Schale eine Seifenblase S (Fig. 52), beleuchte sie mittels des divergenten Lichtes meiner Bogenlampe und projiziere ein Bild von ihr mittels einer Linse auf den Schirm. Dieses Bild zeigt die Farben, und wir erkennen so, daß das von der Seifenblase reflektierte Licht die Farbenscheinungen gibt.

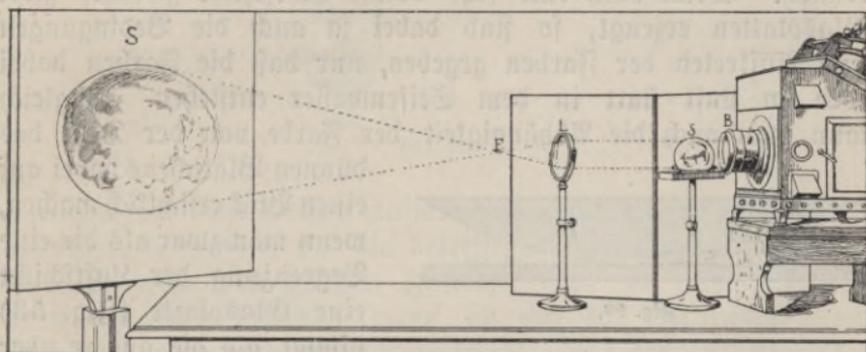


Fig. 52.

Wir sehen, wie beim allmählichen Vergrößern der Blase die Farben, die zuerst noch nicht vorhanden waren, allmählich entstehen und sich mit der Vergrößerung ändern, so daß eine Stelle zuerst rot, dann gelb und grün und endlich blau erscheint.

Die Farben müssen offenbar davon abhängen, daß die Schicht der Seifenlösung so sehr dünn ist; denn solange sie noch dick ist, sehen wir in der Tat keine Farben. Also eine sehr dünne Schicht eines durchsichtigen Körpers zwischen zwei anderen durchsichtigen Körpern (der Luft innen und außen) zeigt Farben. Aus dieser Präzisierung erkennen wir gleich, daß wir auch unter anderen Umständen schon Farben derselben Art bemerkt haben. Wenn im Winter die Fenster mit einer ganz dünnen Schicht Wasser oder Eis beschlagen sind, so bemerken wir beim Hinblicken ebenfalls Farben. Diese sind offenbar

von derselben Art, denn wir haben eine dünne durchsichtige Schicht Wasser zwischen zwei anderen durchsichtigen Körpern, Luft und Glas. Wenn ich auf eine große Wasseroberfläche in einer Schale einen Tropfen Terpentinöl bringe, so breitet dieser sich bekanntlich rapid aus und bildet eine sehr dünne Schicht, die auch die Farben zeigt. Wissenschaftlich bezeichnet man deshalb auch die Farben dieser Art allgemein als „Farben dünner Blättchen“. Wenn aber dies die einzige Bedingung dieser Farbenentstehung ist, und wenn, wie man vermuten kann, die verschiedenen Farben von der verschiedenen Dicke des Blättchens abhängen, so muß man, schloß Newton, die Erscheinung der Seifenblasen auch ganz stabil auf andere Art hervorbringen können. Wenn man eine sehr dünne Luftschicht zwischen zwei Glasplatten erzeugt, so sind dabei ja auch die Bedingungen zum Auftreten der Farben gegeben, nur daß die Farben dabei eben in Luft statt in dem Seifenwasser entstehen. Zugleich kann man auch die Abhängigkeit der Farbe von der Dicke des

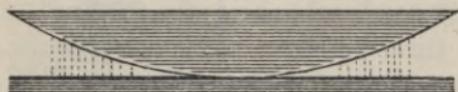


Fig. 53.

dünnen Blättchens dabei auf einen Blick ersichtlich machen, wenn man zwar als die eine Begrenzung der Luftschicht eine Glasplatte (Fig. 53) nimmt, als die andere aber

eine sehr flach gekrümmte Linse. Denn dann hat die Luftschicht an dem Berührungspunkte gar keine Dicke, von da an aber wächst die Dicke, wie es die Striche zwischen Platte und Linse angeben, so daß man alle verschiedenen Dicken nebeneinander hat. Zugleich sieht man, daß in je einem Kreise um den Berührungspunkt herum die Dicke immer dieselbe ist. Wenn also die Farbe nur von der Dicke abhängt, so müßte man hierbei eine Erscheinung bekommen, die aus lauter Kreisen von verschiedener Färbung besteht. Ich will nun ein solches Newtonsches Farbenglas  $G$ , wie man es nennt (Fig. 54), das in einen Rahmen gefaßt ist, den parallelen Strahlen meiner Bogenlampe aussetzen, um es zu beleuchten, und das reflektierte Licht durch eine Linse  $L$  auf den seitlich stehenden Schirm  $S$  projizieren. Sie sehen tatsächlich hier die kreisförmigen bunten Ringe, die allerdings nicht ganz kreisförmig, sondern etwas verzerrt sind, weil ich ja das Farbenglas schief gegen die einfallenden Strahlen stellen mußte, um das Bild projizieren zu können.

Damit ist nun tatsächlich bewiesen, daß in jedem dünnen durchsichtigen Körper, der zwischen zwei anderen durchsichtigen Körpern sich befindet, die Farben erzeugt werden, und daß die Färbung nur abhängt von der Dicke. Je nach der Dicke werden

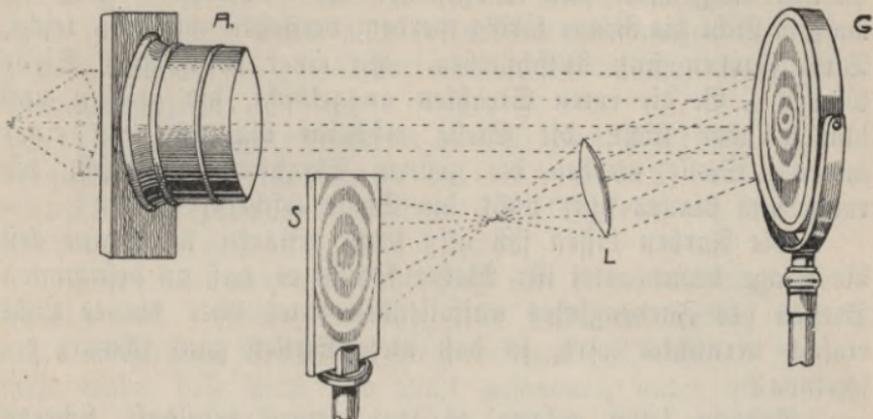


Fig. 54.

offenbar aus dem weißen auffallenden Licht andere und andere Strahlen verwendet, um die betreffende Farbe zu erzeugen.

Es wird von großem Interesse sein, zu versuchen, wie denn das Bild aussieht, wenn ich auf das Farbenglas nicht weißes, sondern einfarbiges Licht werfe. Wir können einfarbiges Licht für unsere Zwecke genügend leicht erzeugen, wenn wir vor die Öffnung unserer Bogenlampe einfach ein rotes oder ein grünes oder ein blaues Glas bringen. Tun wir das, wenden wir nur rotes Licht an, so sehen wir jetzt (Fig. 55), daß unser Bild nur aus abwechselnd roten und schwarzen Ringen besteht. Beleuchten wir mit blauem Licht, so besteht es aus abwechselnd blauen und schwarzen Ringen und bei genauerm Vergleich bemerken wir, daß der erste, zweite usw. blaue Ring enger ist, kleineren Durchmesser hat, als der erste, zweite usw. rote Ring.

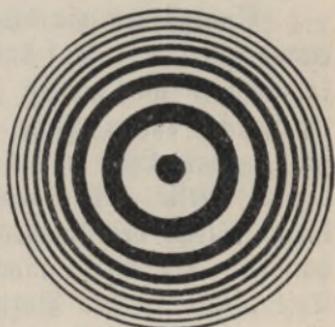


Fig. 55.

Diese Erscheinungen sind sicher sehr merkwürdig. Wir werfen rotes Licht auf unseren Apparat, und obwohl in diesem

nur farblose durchsichtige Körper, wie Glas und Luft vorhanden sind, die also keine Absorption hervorbringen, wird das rote Licht doch an einigen Stellen ganz ausgelöscht und es entsteht Dunkelheit, und das grüne oder blaue Licht wird an anderen Stellen ausgelöscht und es entsteht dort Dunkelheit. Daß bei weißem Licht die Ringe farbig werden, verstehen wir nun leicht. Diese Farben sind Mischfarben. An einer bestimmten Stelle werden z. B. die roten Strahlen ausgelöscht, die grünen und blauen aber nicht, die Stelle erscheint blaugrün, an einer anderen Stelle werden die grünen Strahlen ausgelöscht, die roten und blauen aber nicht, die Stelle erscheint violett.

Die Farben lassen sich also leicht erklären, wenn nur erst die Frage beantwortet ist: Woher kommt es, daß an bestimmten Stellen des Farbenglases auffallendes rotes oder blaues Licht einfach vernichtet wird, so daß diese Stellen ganz schwarz erscheinen?

Newton selbst gelang es trotz seines fabelhaft sicheren Blickes nicht, diese Frage richtig zu beantworten; im Gegenteil, seine Autorität bewirkte, daß die richtige Erklärung, obwohl sie schon zu seiner Zeit von Huyghens gefunden war, über ein Jahrhundert unbeachtet blieb, bis neue Erscheinungen den Engländer Thomas Young und den Franzosen Fresnel schließlich dazu führten, die Huyghenssche Ansicht als richtig zu beweisen.

Analysieren wir die Erscheinung, die das Farbenglas bietet, etwas genauer. Auf das Farbenglas fällt das Licht der Bogenlampe und wir wollen eine Stelle des Farbenglases betrachten, welche in rotem Licht uns ein helles Bild auf dem Schirm gibt. Das Licht rührt von der Reflexion der Strahlen an dieser Stelle des Farbenglases her. Aber offenbar sind an dieser Stelle des Farbenglases eine Reihe von Vorgängen vorhanden. Es wird nämlich das auffallende Licht zunächst zum Teil direkt an der Vorderfläche des Glases reflektiert, ein Teil aber dringt auch in das Glas und in die Luftschicht ein und wird dann erst an der Fläche des hinteren Glases reflektiert und kommt so auf unsern Schirm. Ein anderer Teil dieses hinten reflektierten Lichtes wird an dem vorderen Glase noch einmal reflektiert, durchläuft die Luftschicht zum zweitenmal, wird wieder reflektiert und kommt erst dann auf den Schirm. Was durch diese kompliziert scheinende Betrachtung klargemacht

werden soll, ist nur das, daß an jeder Stelle des Schirmes die dort vorhandene Erleuchtung nicht von einem einzigen Strahl herrührt, sondern von einer ganzen Reihe von Strahlen, die nach Reflexionen in verschiedener Anzahl schließlich in derselben Richtung austreten. Und nun können wir die Erscheinung, die unser Farbenglas bietet, auch folgendermaßen aussprechen, ohne mehr zu sagen, als das Experiment in Verbindung mit unserer Überlegung zeigt:

Das Zusammenwirken verschiedener Strahlen, die verschiedene Reflexionen erlitten haben, bringt an manchen Stellen des Schirmes Helligkeit, an anderen aber absolute Dunkelheit hervor.

Hier fällt uns der Schlußsatz als ganz besonders merkwürdig auf. Zwei Strahlen, die zusammenwirken, können unter Umständen Dunkelheit hervorbringen. Danach ist es also nicht wahr, daß Licht und Licht zusammen unter allen Umständen immer mehr Licht geben, sondern Licht und Licht zusammen können unter Umständen Dunkelheit ergeben, sich aufheben.

Diesen Schluß haben wir aus unserm Experiment mit Notwendigkeit zu ziehen und jetzt tritt die Frage an uns heran, wie sie schon an Huyghens herangetreten ist: was kann denn die Natur des Lichtes sein, so daß unter Umständen zwei Lichtstrahlen sich aufheben können?

Hier kommt uns in den Sinn, daß wir Vorgänge in der Natur bereits kennen, bei denen dasselbe stattfindet, daß nämlich zwei scheinbar ganz gleiche Erscheinungen, statt sich zu verstärken, sich vielmehr aufheben. Wenn wir eine Stimmgabel anschlagen, so hören wir einen Ton. Drehen wir aber die Stimmgabel vor unserm Ohr um ihre Achse, so hören wir deutlich bei gewissen Stellungen der Stimmgabel ihren Ton, bei anderen aber hören wir nichts und zwar tritt das Verstummen bei einer Drehung immer viermal ein, ungefähr immer dann, wenn die Ranten der Stimmgabel vor unserm Ohr sich befinden. Von dem Schall weiß man aber schon seit dem Altertum, daß er in einer schwingenden Bewegung des tönenden Körpers besteht und sich in der Luft in Form einer Wellenbewegung ausbreitet. Dieses Verschwinden des Tones hat man daher schon lange dadurch richtig erklärt, daß von den beiden Zinken der Gabel aus die Luft in Wellenbewegung versetzt wird und

daß an den genannten vier Stellen, die man Interferenzstellen nennt, die beiden Wellenbewegungen sich gerade aufheben, daß da immer eine Erhebung der Welle von der einen Rinne her mit einer Vertiefung von der andern Rinne her zusammentreffen und dadurch die Bewegung ganz aufgehoben wird.

Wenn wir die Wellen auf einem Teich beobachten, die durch hineingeworfene Steine erzeugt sind, so können wir auch, obwohl die Erscheinung flüchtiger Natur ist, leicht erkennen, daß unter Umständen zwei Wellen sich so aufheben können, daß da, wo das geschieht, die Bewegung ganz aufhört. Wenn an zwei Stellen eines Teiches Steine in denselben geworfen werden, so breiten sich von jeder Einwurfstelle die Wellen in Kreisen aus, diese Kreise werden immer weiter und schließlich laufen die von beiden Stellen ausgehenden Kreise durcheinander, jedoch so, daß man ganz gut unterscheiden kann, daß jede Wellenbewegung sich weiter so fortpflanzt, als ob die andere gar nicht vorhanden wäre. Es macht also jedes Wasserteilchen einerseits eine Bewegung, die von der einen sich ausbreitenden Welle hervorgerufen ist, und zweitens eine von der zweiten Welle hervorgerufene. Diese beiden Bewegungen summieren sich einfach. Daraus erkennt man, daß, wenn ein Wasserteilchen von der einen Welle etwa veranlaßt wird, sich gerade nach oben, über den Wasserpiegel zu bewegen, und von der andern gleichzeitig veranlaßt wird, sich nach unten zu bewegen, daß dann die wirkliche Bewegung nur die Differenz beider ist, und daß die Bewegung dabei ganz aufhören, Ruhe eintreten muß, wenn die Bewegung nach oben und die Bewegung nach unten genau gleich groß sind. Man sieht auch andererseits, daß, wenn ein Wasserteilchen von beiden Wellenzügen so angegriffen wird, daß es sowohl von dem einen wie von dem anderen gleichzeitig eine Bewegung nach oben oder nach unten erhält, daß dann seine wirkliche Bewegung stärker ist, als wenn es nur von einer Welle angegriffen würde.

Dieses Zusammenwirken zweier Wellen, welches unter Umständen Verstärkung, unter Umständen Schwächung der Bewegung der einzelnen schwingenden Teilchen hervorbringt, nennt man Interferenz der Wellen.

Die Wellenbewegung in jedem Körper, z. B. auch diejenigen, die wir an der Oberfläche des Wassers beobachten können, hat eine ganz besondere Eigentümlichkeit. Wenn wir

auf einer Stelle des Wassers, in welchem wir Wellenbewegungen erzeugen, ein Stück Papier oder einen Kork oder sonst einen kleinen schwimmenden Körper bringen, so werden wir leicht beobachten, daß dieses Papier oder dieser Kork, während die Wellen sich ausbreiten, gar nicht von seinem Platz fortgeführt wird, sondern daß es bloß nach oben oder unten, auf und nieder sich bewegt. Daraus folgt, daß die einzelnen Wasserteilchen auch nicht in fortschreitender, strömender, sondern nur in auf- und niedergehender Bewegung begriffen sind, denn sonst würden sie das Papier, den Kork mit sich nehmen. Und doch können wir die Welle in dem ganzen Wasser fortschreitend beobachten. Das ist gerade das Charakteristische der Wellenbewegung. Jedes Teilchen macht nur kleine Bewegungen um seine Ruhelage herum, nach oben und unten, oder nach rechts und links, oder auch im Kreise herum, es entfernt sich nicht weit von seiner Ruhelage, aber jedes Teilchen veranlaßt das folgende ebensolche Bewegungen zu machen und so pflanzt sich die Bewegung durch den Körper beliebig weit fort, während doch kein Teilchen fortströmt. Jedes einzelne Wasserteilchen ist bald auf seiner höchsten Höhe, dann sinkt es herunter bis zur größten Tiefe und steigt dann wieder bis zur Höhe und so fort. Man bezeichnet die Erhebungen der Welle bekanntlich als Wellenberge, die Vertiefungen als Täler; beobachten wir unsern Kork von vorhin, also eine bestimmte Stelle des Wassers, so finden wir, daß dieser abwechselnd auf einem Wellenberg und in einem Wellental liegt. Wenn wir die Uhr herausnehmen und nach ihr beobachten, wie lange es dauert, bis der Kork von einem Wellenberg zum Tal und wieder hinauf zum Wellenberg geführt wird, so finden wir eine gewisse Zeit, sagen wir zwei Sekunden, und können bemerken, daß diese Zeit immer dieselbe bleibt, solange wir die Welle ungestört beobachten können. Diese Zeit nennt man die Schwingungsdauer oder Periode der schwingenden Teilchen oder der Wellenbewegung, es ist die Zeit, in welcher jedes Teilchen einen vollständigen Hin- und Hergang ausführt.

Den Abstand ferner von einem Wellenberg zum nächsten, oder von einem Wellental bis zum nächsten — immer von ihren äußersten Punkten aus gerechnet — bezeichnet man als die Wellenlänge.

Wenn wir in irgendeinem Moment uns die Form der

Wasseroberfläche, nicht im ganzen, sondern längs einer geraden Linie, die vom Mittelpunkt entlang der Oberfläche des Wasserspiegels gezogen ist, aufzeichnen, so wird diese ungefähr die Form der Fig. 56 haben. Die Wellenteilschen bei *a*, *e* und *i* sind gerade auf einem Wellenberg, die Theilschen bei *c* und *g* in einem Wellental, während die Theilschen *B*, *D*, *F*, *H* gerade in ihrer Ruhelage sind. In einer späteren Zeit wird die Wasseroberfläche so aussehen, wie in Fig. 57. Dort sind die Wasserteilschen *e* und *f* auf Wellenbergen, *d* und *h* in Wellentälern,

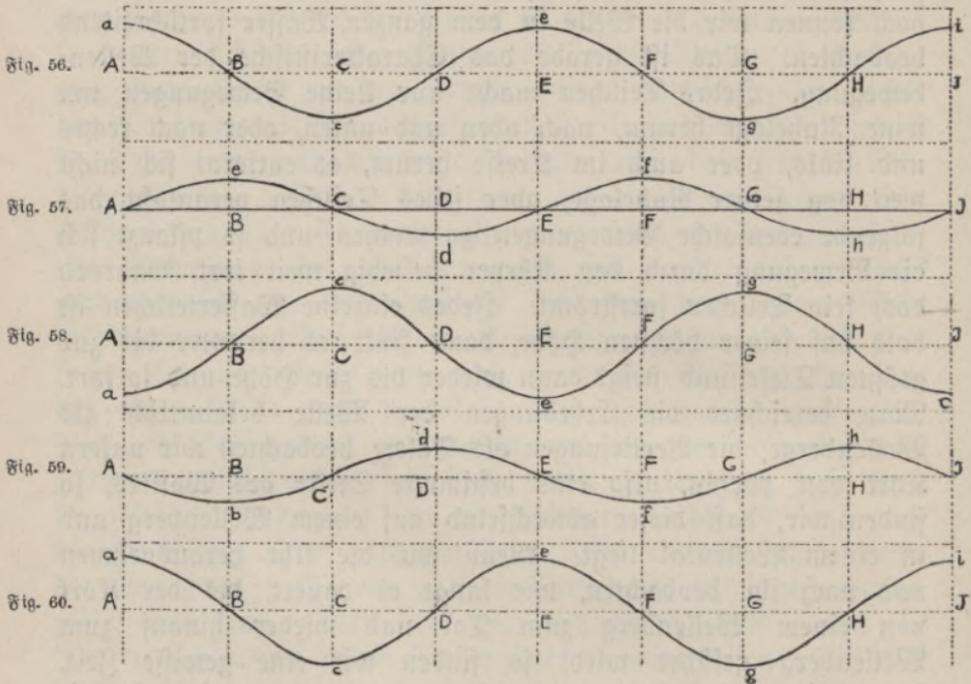


Fig. 56—60.

während *ACEGI* in der Ruhelage sind. Wieder in einem anderen Moment wird die Wasseroberfläche die Form Fig. 58 haben. Dabei sind *c* und *g* auf Wellenbergen, *a*, *e*, *i* in Wellentälern, *BDFH* in Ruhe. Endlich in einem weiteren Moment erhalten wir die Fig. 59, bei der *d* und *h* auf Bergen, *b* und *f* in Tälern, *ACEGI* in Ruhe sind.

Diese vier Wellenlinien in Fig. 56—59 stellen zugleich die Form der Wasseroberfläche dar, während jedes Wasserteilchen einmal sich auf und ab bewegt, also während einer Periode.

Denn im Anfang (Fig. 56) war das Teilchen *a* möglichst hoch oben, ging dann in Fig. 57 herunter bis zur Ruhelage, in Fig. 58 noch tiefer bis zur tiefsten Stelle, in Fig. 59 wieder herauf bis zur Ruhelage und endlich kommt es wieder zur höchsten Lage in Fig. 60, wodurch die Fig. 56 wiederhergestellt ist.

Betrachten wir die Lage des ersten Wellenberges während dieser Zeit. In Fig. 56 war dieser in Punkt *a*, in Fig. 57 in Punkt *b*, in Fig. 58 in *c*, in Fig. 59 in *d* und endlich in Fig. 60 ist er in *e* angelangt, und zugleich ist ein neuer Wellenberg bei *a* entstanden.

Während der Dauer einer Schwingung, während einer Periode ist also der erste Wellenberg von *a* bis *e* fortgeschritten. Die Strecke *A* bis *E* bezeichnen wir aber als die Wellenlänge, also können wir sagen: unser Wellenberg, und ebenso auch jeder andere, oder auch jedes Wellental, also kurz die ganze Welle ist während der Dauer einer Periode um eine Wellenlänge fortgeschritten.

Die Wellen haben eine gewisse Geschwindigkeit, mit der sie sich auf der Wasseroberfläche fortpflanzen. Diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit erhalten wir, wenn wir die Wellenlänge der Welle durch die Periode dividieren, sowie wir die Geschwindigkeit eines Eisenbahnzuges erhalten, wenn wir den zurückgelegten Weg (entsprechend der Wellenlänge) durch die dazu verbrauchte Zeit (entsprechend der Periode) dividieren.

Es war notwendig, diese Verhältnisse, die bei jeder Wellenbewegung auftreten, etwas ausführlich auseinanderzusetzen. Solange wir es mit sichtbaren Wellenbewegungen zu tun haben, ist die Schwingungsdauer, die Wellenlänge, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit leicht festzustellen und zu konstatieren. Beim Schall aber, der ja auch in einer Wellenbewegung sich durch die Luft ausbreitet, können wir zunächst nur leicht feststellen, daß er Zeit braucht, um sich fortzupflanzen. Wir sehen den Blitz früher, als wir den gleichzeitig entstehenden Donner hören, weil der Schall des Donners eben eine meßbare Zeit braucht, um zu unserm Ohre zu gelangen. Wir sehen ebenso bei einer Kanone den Rauch eher, als wir den Knall hören, aus demselben Grunde. Aus solchen Beobachtungen konnte man leicht messen, daß die Geschwindigkeit, mit der der Schall sich fortpflanzt, 330 m pro Sekunde beträgt.

Die Schwingungen aber der einzelnen Luftteilchen können

wir nicht direkt beobachten. Wohl aber hat man auf indirekte Weise feststellen können, daß je höher ein Ton ist, um so mehr Schwingungen pro Sekunde von den Luftteilchen ausgeführt werden, um so kürzer also die Dauer einer Schwingung, die Periode ist. Je kürzer die Periode, um so höher der Ton. Hat ein Ton die Periode  $\frac{1}{400}$  Sekunde, so macht also jedes Luftteilchen in einer Sekunde 400 Schwingungen. Diese Zahl bezeichnet man als die Schwingungszahl der Wellenbewegung. Bei dem Schall gibt es Wellenbewegungen mit Schwingungszahlen zwischen 10 und 40000. Danach können wir nun leicht ausrechnen, wie groß die Wellenlänge eines bestimmten Tones in der Luft ist. Denn es ist ja die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleich der Wellenlänge mal der Schwingungszahl. Also ein Ton von 440 Schwingungen pro Sekunde hat danach eine Wellenlänge von  $\frac{330}{440} \text{ m} = \frac{3}{4} \text{ m}$ , und ebenso kann man für jeden andern Ton die Wellenlänge berechnen.

Wir haben uns weit vom Licht entfernt, das doch der Gegenstand unserer Untersuchung ist. Aber wir haben jetzt Einsichten gewonnen, die wir bei den optischen Erscheinungen sofort verwenden können.

Es schien uns nach dem Vorgang von Huyghens, als ob die Tatsachen der Farben dünner Blättchen sich erklären lasse als eine Interferenzerscheinung, was aber eben erforderte, daß das Licht ebenso wie der Schall eine Wellenbewegung sei.

Die notwendigste Eigenschaft, die danach vom Lichte erfüllt sein muß, wäre aber dann die, daß es sich mit bestimmter Geschwindigkeit durch den Raum fortpflanze, daß wir ein Licht nicht sofort sehen, wenn es entzündet ist, einen Körper nicht sofort sehen, wenn er in der Richtung unserer Augen sich befindet, sondern eine gewisse Zeit später. Dem Augenschein widerspricht diese Annahme durchaus und ich glaube, ein noch so tiefsinniger Grieche oder Römer, ein Aristoteles oder Archimedes oder Lucretius, hätte diese Annahme ungereimt gefunden.

Und doch ist sie richtig, und doch läßt sich auf verschiedene Weise mit Sicherheit beweisen, daß das Licht Zeit braucht, um sich fortzupflanzen, ja es läßt sich die Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung sehr genau messen, obwohl sie außerordentlich groß ist, 300000 km pro Sekunde.

Diese große Zahl ist auch der Grund dafür, daß wir von einer solchen Zeit, die das Licht gebrauchen soll, für gewöhnlich nicht eine Spur merken. Alle Entfernungen, die wir auf der Erde haben, werden von dem Licht in so kurzer Zeit durchlaufen, daß es nicht möglich ist, diese Zeit zu erkennen, außer wenn man ganz besondere feine physikalische Hilfsmittel dazu anwendet.

In der That wurde auch die Entdeckung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zuerst auf astronomischem Gebiet gemacht, wo man es ja mit so großen Entfernungen zu tun hat, daß das Licht eine sehr bequem meßbare Zeit braucht, um sie durchzulaufen. Ein schwedischer Astronom Olaf Römer beobachtete 1675 die Umlaufszeit eines Mondes des Planeten Jupiter und zwar dadurch, daß er die Zeiten bestimmte, in welchen dieser in den Schatten des Jupiters eintrat und nach einem Umlauf wieder austrat. Diese Umlaufszeit ergab sich zu 42 Stunden 28 Minuten 36 Sekunden. Zur Zeit, als Römer diese Bestimmung machte, war die Erde gerade auf ihrer Bahn in der nächsten Nähe des Jupiters. Ungefähr ein halbes Jahr später, als die Erde in ihrer größten Entfernung von dem Jupiter war, wollte er das Eintreten und Austrreten des Mondes aus dem Schatten wieder beobachten, und da er genau wußte, wann er den Mond ein halbes Jahr vorher zum letztenmal hatte austreten sehen, und da er die Umlaufszeit bestimmt hatte, so konnte er auf die Sekunde vorhersagen, wann der Mond wieder in den Schatten eintreten mußte. Aber er wartete vergeblich, er mußte 986 Sekunden (16 Minuten 26 Sekunden) warten, bis der Moment des Eintretens in den Schatten kam. Da es nun bei den himmlischen Ereignissen nicht so wie bei unseren Eisenbahnen Zugverspätungen gibt, für die niemand etwas kann, so dachte Römer über die Ursache nach und fand sie darin, daß das Licht des Jupitermondes, um in sein Auge zu gelangen, das zweitemal ja einen größeren Weg zurückzulegen hatte als das erstemal, nämlich den Durchmesser der Erdbahn noch besonders zu durchlaufen hatte. Daraus schloß er, und fortgesetzte Beobachtungen bestätigten ihm dies, daß die Fortpflanzung des Lichtes nicht momentan geschieht, sondern Zeit braucht und daß dies die Ursache der Verspätung sei. Er konnte sogar daraus sofort die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmen. Denn da der Durchmesser der Erdbahn etwa 300 Millionen km ist und da diese Strecke vom Licht in 986

(rund 1000) Sekunden durchlaufen wird, so beträgt die Geschwindigkeit des Lichtes

rund 300000 km pro Sekunde.

Nachdem man einmal diese Zahl angenähert kennt, gelingt es heute sogar, durch verfeinerte Zeitmessungen, die Lichtgeschwindigkeit in dem Raum eines Zimmers zu messen.

Damit ist nun die erste Forderung, die wir aufgestellt haben, erfüllt. Das Licht braucht tatsächlich Zeit, um sich fortzupflanzen. Aber wir müssen nun näher zusehen, ob in der Tat durch unsere Annahme, daß das Licht eine Wellenbewegung sei, die Erscheinungen der Farben dünner Blättchen, von der wir ausgingen, erklärt wird, d. h. wann und unter welchen Umständen das Licht Interferenzen zeigt.

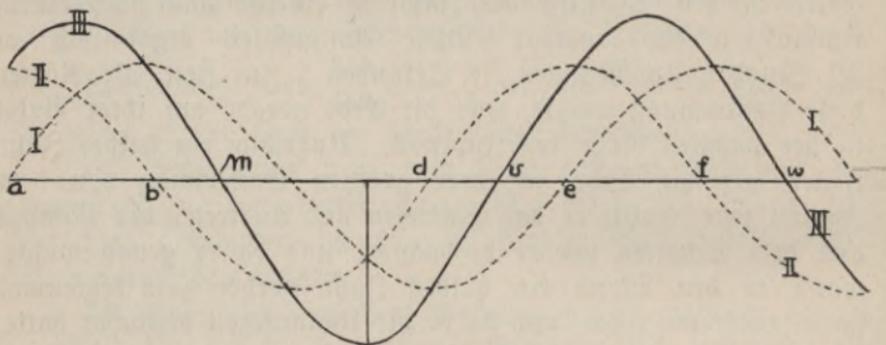


Fig. 61.

Interferenz tritt bei Wellenbewegungen immer nur dann auf, wenn zwei oder mehr Wellenzüge sich in demselben Körper ausbreiten und dieselben Teile angreifen. Dabei ist es nun leicht einzusehen, wie sich zwei solche Wellen verhalten werden. Zu dem Zweck müssen wir noch eine Bezeichnung einführen. Die größte Entfernung, die ein in Schwingungen versetztes Teilchen von der Ruhelage aus nach oben oder nach unten erreicht, nennt man die Amplitude der Wellenbewegung. In den Figuren 56 bis 60 stellen also die Abstände  $Aa$ ,  $Bb$ ,  $Cc$  usw. diese Amplitüden dar. Wir wollen nun untersuchen, was geschieht, wenn zwei Wellen von gleicher Wellenlänge sich in derselben Richtung fortpflanzen, zwei Wellen, die durch die beiden punktierten Kurven I und II in Fig. 61 angegeben sind. Diese beiden Wellen haben gleiche Wellenlänge (die Strecke  $ae$  ist ebenso groß wie  $bf$ ), sie haben auch gleiche Amplitüden,

aber sie unterscheiden sich in einer Hinsicht. Sie gehen nämlich nicht gleichzeitig durch die Ruhelage hindurch. Die Welle I zum Beispiel geht bei  $a$  und  $e$  durch die Ruhelage nach oben, die Welle II bei  $d$ . Man sagt von zwei solchen Wellen, sie haben einen Gangunterschied, und dieser Gangunterschied ist gerade die Strecke  $de$ , die man aber nicht in Zentimetern, sondern in Teilen der ganzen Wellenlänge ausdrückt. Aus dem Zusammenwirken der beiden Wellen entsteht die Welle III, die stark ausgezogene Kurve. Jedes Teilchen macht eben die Bewegungen beider Wellen zusammen und es bildet sich daher eine resultierende Welle. Diese hat, wie man sieht, auch noch dieselbe Wellenlänge, aber sie hat eine andere und zwar hier größere Amplitude, und sie hat endlich einen Gangunterschied sowohl gegen die erste, wie gegen die zweite Welle. Der Gangunterschied gegen die erste Welle wird durch die Strecke  $ve$ , der gegen die zweite durch  $dv$  angegeben. Das gilt allgemein:

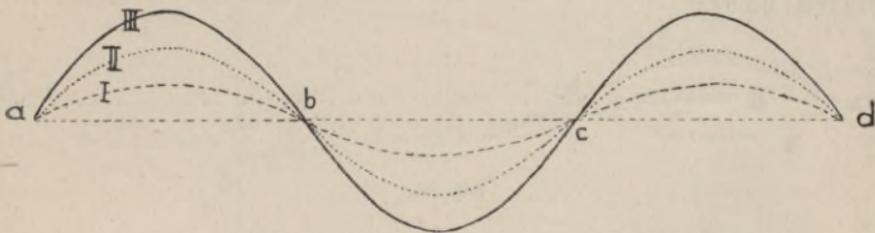


Fig. 62.

Durch das Zusammenwirken zweier Wellenbewegungen entsteht eine neue, welche im allgemeinen eine Amplitude und einen Gangunterschied gegen jede der komponierenden Wellen hat.

In zwei Fällen bringt nun eine solche Zusammensetzung besonders wichtige Resultate hervor. Zunächst in dem Falle, der in Fig. 62 gezeichnet ist, daß die beiden Wellen I und II keinen Gangunterschied haben. Die Welle I geht bei Punkt  $a$  nach oben, bei  $b$  nach unten, bei  $c$  nach oben, und die Welle II geht an denselben Punkten nach oben oder unten. Die beiden Wellen haben also keinen Gangunterschied. Es entsteht die Welle III, welche größere Amplitude hat und, wie man sieht, auch bei denselben Punkten durch die Ruhelage geht; also in diesem Falle verstärken sich die beiden Wellen. Wenn wir dagegen die beiden Wellen I und II in Fig. 63 betrachten, so geht die Welle I bei  $a$  nach oben, bei  $b$  nach unten, bei  $c$  nach

oben, während die Welle II bei *a* nach unten, bei *b* nach oben, bei *c* nach unten geht. Diese beiden Wellen haben also einen Gangunterschied. Die erste geht bei *a* durch die Ruhelage nach oben, die zweite bei *b*. Der Gangunterschied ist also die Strecke *ab*, welche gleich der Hälfte der Wellenlänge *ac* ist. Aus dem Zusammenwirken dieser beiden Bewegungen entsteht nun Ruhe. Die Teilchen, die sich von der ersten Welle aus nach oben, von der zweiten aus um ebensoviel nach unten bewegen sollen, bleiben überhaupt in der Ruhelage III. Es fallen eben dabei die Wellentäler der ersten Welle mit den Wellenbergern der zweiten zusammen und umgekehrt.

Das Resultat unserer Betrachtung können wir so aussprechen: Zwei Wellenbewegungen von gleicher Amplitude vernichten sich vollständig, wenn sie einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge haben, sie verstärken sich am meisten, wenn sie keinen Gangunterschied haben.



Fig. 63.

Damit aber haben wir ein scharfes Kennzeichen erlangt, um zu entscheiden, ob die Hypothese, daß das Licht eine Wellenbewegung ist, wirklich Stich hält. Wir brauchten nur von zwei gleich starken Lichtquellen — denn die Amplitude würde dabei von der Stärke des Lichtes abhängen — das Licht so auf eine und dieselbe Fläche zu werfen, daß wir Gangunterschiede bekämen, dann hätten wir auch Interferenzen. Indes zeigt es sich, daß man niemals Gangunterschiede und Interferenzen wirklich erhalten kann, wenn man versucht, das Licht von zwei verschiedenen Lichtquellen in passender Weise zusammenwirken zu lassen. Vielmehr ist es immer notwendig, die beiden Lichtquellen voneinander abhängig zu machen, indem man sie von einer einzigen Lichtquelle, sei es durch Spiegelung oder durch Brechung oder auf irgendeinem Wege erzeugt. Der Grund dafür liegt darin, daß wir bei zwei verschiedenen Lichtquellen es nie bewirken können, daß sie genau gleiche Periode und Amplitude und namentlich immer gleichen Gangunterschied haben.

Bei zwei voneinander abhängigen Lichtquellen aber läßt sich das Licht hervorbringen.

Nach diesem Grundsatz kann man nun in der That merkwürdige Interferenzerscheinungen hervorbringen. Der übersichtlichste und deutlichste Versuch dieser Art rührt von dem Engländer Thomas Young her, einem der geistreichsten Physiker seiner Zeit (Ende des achtzehnten Jahrhunderts). Diesen Versuch kann ich Ihnen leider nicht objektiv zeigen, er ist dazu nicht geeignet. Ich führe ihn an, um zugleich eine Vorbereitung für einen im Prinzip ähnlichen Versuch zu haben, den ich nachher vorführen werde.

Young also erzeugte (Fig. 64) von der Sonne durch eine Linse einen leuchtenden Punkt  $S$  und ließ von diesem aus das Licht durch zwei kleine Öffnungen  $A$  und  $B$  eines schwarzen Schirmes in den Raum hinter dem Schirm eindringen. Die beiden

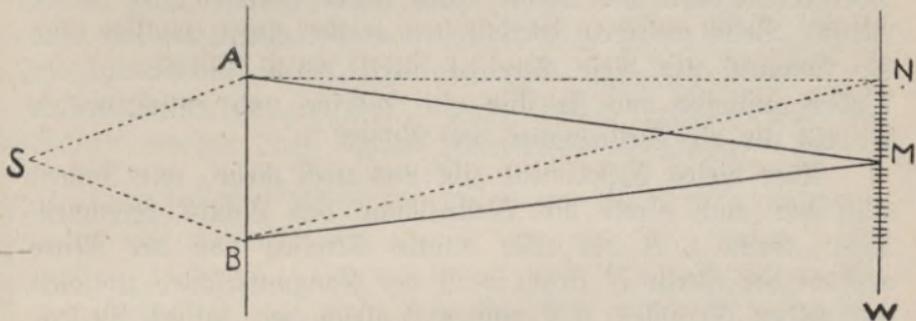


Fig. 64.

leuchtenden Öffnungen ersetzen die beiden Lichtquellen, von denen wir eben sprachen. Die Öffnungen müssen sehr nahe beieinander sein. Auf einem Schirm  $W$  nun zeigen sich in diesem Fall farbige Streifen, welche, wenn die beiden Öffnungen  $A$  und  $B$  senkrecht übereinander stehen, auf dem Schirm horizontal sich erstrecken.

Durch Anwendung von farbigen Gläsern, durch welche man aus dem weißen Licht angenähert homogene Farben herausnimmt, sieht man, daß die Färbung dieser Streifen durch Mischung hervorgerufen ist. Denn jetzt sind sie abwechselnd hell und dunkel. Dies sind nun Interferenzstreifen, die folgendermaßen zustande kommen. Die Mitte der Figur  $M$  wird von einem hellen Streifen eingenommen. In der That haben da die beiden Strahlen  $AM$  und  $BM$  keinen Gangunterschied. Sie haben gleiche Länge und auf jedem von ihnen

sind also gleich viel Wellenlängen. Geht man von der Mitte  $M$  aus aber nach oben oder unten, z. B. in der Richtung nach  $N$  zu, so wird der Weg  $BN$  immer etwas größer als der Weg  $AN$ . Auf dem ersteren liegt also immer eine größere Anzahl von Wellen als auf dem zweiten und daher haben die beiden Lichtbewegungen bei der Ankunft am Schirm einen Gangunterschied. Der Gangunterschied, der bei  $M$  den Wert Null hatte, wächst, wenn man von  $M$  nach oben oder unten geht und da, wo der Gangunterschied gleich einer halben Wellenlänge des angewandten Lichtes geworden ist, sieht man den ersten dunklen Streifen, oben und unten. Der Gangunterschied wächst dann, wenn man auf dem Schirm weiter fortschreitet, noch weiter, bis er gleich einer ganzen Wellenlänge geworden ist, was so viel ist, wie daß da die Strahlen wieder keinen Gangunterschied haben. Dort erhält man also wieder einen hellen Streifen, wie in der Mitte. Beim weiteren Fortschreiten wieder einen dunklen usw. So kommen also diese Streifen direkt durch Interferenz der Wellen zustande und sie sind ein scharfer und entscheidender Beweis für die Wellennatur des Lichtes.

Aber dieses Experiment gibt uns noch mehr, wir können aus ihm auch direkt die Wellenlänge des Lichtes berechnen. Denn, wenn z. B. der erste dunkle Streifen von der Mitte aus an der Stelle  $N$  liegt, so ist der Gangunterschied zwischen den beiden Strahlen  $BN$  und  $AN$  gleich der halben Wellenlänge des angewendeten Lichtes. Der Gangunterschied dieser beiden Strahlen ist aber der Unterschied ihrer Längen; wenn man also die Länge der beiden Strahlen  $BN$  und  $AN$  und damit ihren Unterschied messen kann — was gar keine Schwierigkeit hat —, so kann man dadurch die Wellenlänge bestimmen.

Aus einem ähnlichen Experiment hat Fresnel zum erstenmal auf diese Weise bei rotem Licht, welches er angewendet hatte, die Wellenlänge bestimmt und fand diese gleich  $0,00067$  mm. Das ist eine außerordentlich kleine Zahl, aber sie gibt uns zunächst sofort einen Anhaltspunkt, unter welchen Umständen wir überhaupt bei dem eben angeführten Youngschen Versuch und bei ähnlichen darauf rechnen können, Streifen wirklich zu beobachten. Wenn der Abstand der beiden Öffnungen  $A$  und  $B$  und der Abstand der Wand  $W$  von den Öffnungen etwa so wäre, wie er in der Figur gezeichnet ist, so würden die abwechselnd hellen und dunklen Streifen so nahe aneinander

liegen, innerhalb der Tausendstel eines Millimeters, daß wir sie gar nicht erkennen könnten. Damit trotz der Kleinheit der Wellenlänge ein bequem erkennbarer Abstand zwischen dem hellen Streifen  $M$  und dem ersten dunklen Streifen  $N$  entsteht, ist vielmehr notwendig, daß der Unterschied der beiden Strahlen  $BN$  und  $AN$  nur sehr wenig größer sei als der Unterschied der beiden Strahlen  $BM$  und  $AM$ , und das ist zu erreichen, wenn 1) die beiden Öffnungen  $A$  und  $B$  sehr nahe beieinander liegen, 2) die Wand  $W$  sehr weit von den Öffnungen entfernt ist. Hält man diese zwei Bedingungen auch in ähnlichen Fällen ein, so kann man

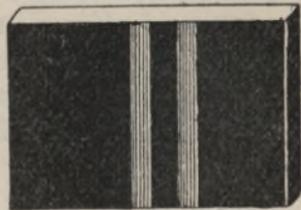


Fig. 65.

immer leicht Interferenzen hervorrufen. Ich möchte Ihnen einen derartigen Versuch zeigen, bei dem wir nach demselben Prinzip auf unsern Schirm von zwei Lichtquellen aus, die voneinander abhängig sind, Licht fallen lassen, und beobachten werden, daß dabei Interferenzen auftreten. Diese

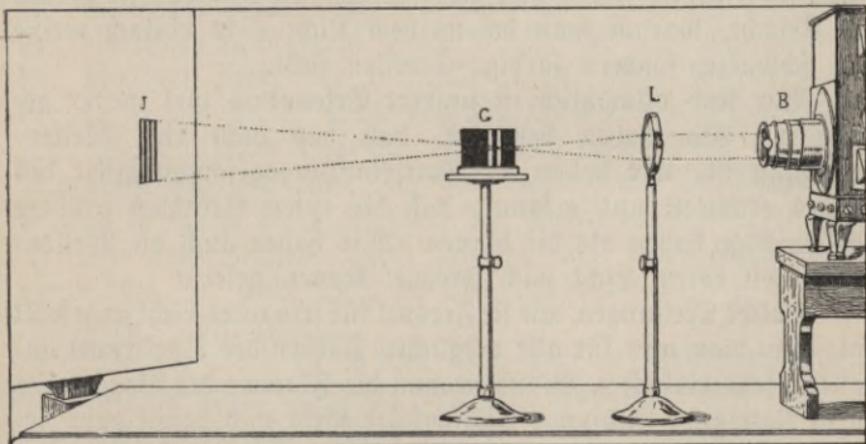


Fig. 66.

Glasplatte (Fig. 65) ist, wie Sie sehen, bis auf zwei rechteckige Streifen ganz mit Tusche schwarz gefärbt. Ich will nun die Glasplatte so in den Strahl meines Bogenlichts stellen (Fig. 66), daß auf die beiden freigelassenen Teile das Licht ganz streifend einfällt, möglichst nahe parallel mit der Glasfläche. Von jedem der beiden Streifen wird dann Licht nach

der Wand reflektiert, und diese beiden reflektierten Strahlen durchdringen sich und bringen Interferenzen hervor. Die beiden Glasrechtecke meiner Glasplatte bilden die beiden Lichtquellen, die wir brauchen. Sie sind voneinander abhängig, da sie von derselben Quelle gleichzeitig ihr Licht beziehen. In der That sehen Sie auf dem Schirm ein helles Rechteck und seitlich von demselben farbige Streifen, welches eben unsere Interferenzstreifen sind. Ich setze vor meine Lampe ein rotes Glas. Sie sehen abwechselnd schwarze und rote Streifen; ich setze ein blaues Glas davor, Sie sehen abwechselnd blaue und schwarze Streifen. Wenn wir scharf beobachten oder gar messend die Erscheinung verfolgen, so werden wir leicht erkennen, daß im ersten Falle beim roten Licht der Abstand des ersten schwarzen Streifens von der Mitte des Bildes größer ist als im zweiten Falle beim blauen Licht. Nun entsteht der erste dunkle Streifen immer dort, wo der Gangunterschied der beiden zusammenwirkenden Strahlen eine halbe Wellenlänge beträgt. Daraus folgt, daß die Wellenlänge des roten Lichtes größer ist als die des blauen Lichtes. Die Interferenzen für die einzelnen Farben fallen also nicht zusammen und das ist gerade die Ursache, warum man bei weißem Licht nicht einfach weiße und schwarze, sondern farbige Streifen sieht.

Wir sind allmählich in unserer Erkenntnis viel weiter gekommen. Wir haben bewiesen, daß das Licht eine Wellenbewegung ist, wir haben die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes ermittelt und erkannt, daß die roten Strahlen größere Wellenlänge haben als die blauen. Wir haben auch die Wellenlänge von rotem Licht nach Fresnel kennen gelernt.

Solche Messungen, wie sie Fresnel für sein rotes Licht angestellt hat, kann man nun für alle möglichen Farben des Spektrums anstellen; sehr einfach z. B. indem man die Flamme des Bogenlichts durch Natrium-, Lithium-, Cäsiumsalze färbt und damit ganz bestimmte Farben erzeugt, und die Abstände der einzelnen dunklen Interferenzstreifen mißt. So hat man z. B. folgende Zahlen gefunden:

Rotes Licht . . .	(in d. Nähe d. Linie A)	hat d. Wellenl.	0,000760 mm
" "	" " " " " B)	" " "	0,000687 "
" "	" " " " " C)	" " "	0,000656 "
Gelbes Licht . . .	" " " " " D)	" " "	0,000589 "
Grünes Licht . . .	" " " " " E)	" " "	0,000527 "
Hellblaues Licht .	" " " " " F)	" " "	0,000481 "
Dunkelblaues Licht	" " " " " G)	" " "	0,000431 "
Violetttes Licht .	" " " " " H)	" " "	0,000393 "

Da die Wellenlängen der einzelnen Farben nur kleine Bruchteile eines Millimeters sind, so ist es zum Schreiben und zum Sprechen vorteilhaft, sie immer in Tausendsteln Millimeter auszudrücken. Der Buchstabe  $\mu$  ist in der Optik zur Abkürzung von einem Tausendstel Millimeter sowohl in der Schrift als beim Sprechen (Mü) eingeführt. Das Licht der *D*-Linie hat also die Wellenlinie  $0,589 \mu$ , das äußerste rote bei *A* die Wellenlänge  $0,760 \mu$ , dem äußersten Violett, welches noch etwas hinter *H* liegt, kann man die Wellenlänge  $0,380 \mu$ , welches gerade die Hälfte von der Wellenlänge bei *A* ist, zuschreiben, so daß man kurz sagen kann, das (sichtbare) Spektrum enthält Wellenlängen von  $0,380 \mu$  bis  $0,760 \mu$ .

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes beträgt, wie wir gesehen haben,  $300\,000 (3 \cdot 10^5)$  km pro Sekunde. In Metern ausgedrückt, sind das  $3 \cdot 10^8$ , also dreihundert Millionen, in Millimetern ausgedrückt  $3 \cdot 10^{11}$ , dreihundert Milliarden, in  $\mu$  ausgedrückt  $3 \cdot 10^{14}$  gleich dreihundert Billionen, eine fürchterlich große Zahl. Nun hängen ja, wie wir vorhin gesehen haben, die Wellenlänge, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Schwingungszahl bei der Wellenbewegung so zusammen, daß die Schwingungszahl gleich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit dividiert durch die Wellenlänge ist. Wir können danach berechnen, daß gelbes Licht von der Linie *D* die Schwingungszahl 500 Billionen ungefähr hat. Das heißt, wenn ein gelber Lichtstrahl sich von einer Natriumflamme durch den Raum ausbreitet, so macht jedes Teilchen der Natriumflamme und jedes Teilchen des Stoffes, durch welches das Licht hindurch sich fortpflanzt, in jeder Sekunde die angenehme Anzahl von 500 Billionen Schwingungen.

Welcher Stoff ist es nun aber, der die Wellenbewegungen ausführt, in denen das Licht besteht? Darüber haben wir noch gar nicht gesprochen. Sind es die Teilchen der Körper selbst, welche schwingen, wie es bei der Schallbewegung der Fall ist? Sind es die Teilchen der Luft oder des Wassers oder des Glases selbst, welche sich bewegen? Die Antwort auf diese Frage muß verneinend lauten. Denn erstens geht das Licht auch durch alle Räume hindurch, aus welchen die gewöhnliche Materie so weit wie überhaupt möglich fortgeschafft ist. Wenn wir aus einem Glasgefäß die Luft, soweit wir nur können, auspumpen, so daß der Schall durch die so verdünnte Materie

absolut nicht mehr hindurchgeht, so ist für das Licht absolut keine Veränderung zu merken. Ferner gelangt das Licht von der Sonne und den Sternen doch zu uns und in diesen interstellaren Räumen ist von solcher Materie, wie wir sie auf der Erdoberfläche haben, sicher nichts vorhanden, weil sonst die Bewegung der Planeten infolge ihres Widerstandes eine ganz andere wäre. Also die gewöhnliche Materie kann es nicht sein, welche in Wellenbewegung kommt und dadurch das Licht fortpflanzt. Noch gewichtiger aber als dieser ist folgender Grund. Die Geschwindigkeit, mit der eine Wellenbewegung sich durch eine Substanz fortpflanzt, hängt von ihrer Elastizität und ihrer Dichtigkeit ab. Je größer die erste, je kleiner die zweite ist, um so rascher schreiten die Wellen fort. Man kann also die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellenbewegungen in solchen Substanzen berechnen und daraus findet man, daß diese z. B. für Glas etwa 5000 m in der Sekunde beträgt, für Luft von gewöhnlichem Druck etwa 330 m und entsprechende Zahlen erhält man für alle anderen Substanzen. Das ist aber ein gewaltiger Unterschied gegen die 300000 km, die das Licht in jeder Sekunde zurücklegt. Wir kennen überhaupt keinen Stoff, der so geringe Dichtigkeit und so große Elastizität hätte, daß er eine solch kolossale Fortpflanzungsgeschwindigkeit zeigen könnte.

Aus diesen Gründen muß man annehmen, daß der Träger der Lichtbewegung ein Stoff ist, den wir mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen können, der sich uns eben nur durch diese Lichtfortpflanzung und durch einige andere Erscheinungen manifestiert. Diesen Stoff nennen wir den Äther oder Lichtäther. Von ihm müssen wir voraussetzen, daß er von einer außerordentlich geringen Dichtigkeit ist und daß er überall im Raume vorhanden ist. Er muß nicht nur den Weltraum zwischen den Sternen erfüllen, wo man ihn den Weltäther nennt, sondern er muß auch bei unseren irdischen Körpern überall zwischen den kleinsten Körperteilchen existieren, weil eben diese Körper, wenigstens die durchsichtigen — und in genügend dünner Schicht sind alle Körper durchsichtig —, auch das Licht fortpflanzen.

Der Äther ist allerdings ein hypothetisches Element in der Naturforschung. Aber wir können eine ganze Anzahl von Vorgängen und zwar zunächst alle optischen durchaus nicht begreifen, wenn wir nicht ein solches Element zu Hilfe nehmen. Welche Eigenschaften speziell dem Äther beizulegen sind, außer der sehr

geringen Dichtigkeit, darüber können wir nicht viel aussagen und es ist möglich, daß die eigentliche Natur dieses Lichtträgers uns noch große Überraschungen bieten wird. Aber für die Optik brauchen wir von dem Äther vorläufig nichts weiter zu wissen, als daß er Wellen von außerordentlich geringer Dauer und mit außerordentlich großen Schwingungszahlen durch sich hindurchschreiten läßt und zwar mit einer enormen Geschwindigkeit.

Allerdings, wenn der Äther weiter gar keine Eigenschaften haben würde, als daß er die Fortpflanzung des Lichts ermöglicht, so würde man sagen müssen, daß seine Annahme ein recht wenig wahrscheinlicher Notbehelf sei. Vielmehr, wenn es einen Äther gibt, so wird mit Notwendigkeit angenommen werden müssen, daß er auch noch in anderer Weise sich zeigen kann, als in der wellenförmigen Ausbreitung und Fortpflanzung des Lichts. Wenn wir keine weiteren Beweise für die Existenz der Luft hätten, die uns umgibt, als den, daß wir uns auf andere Weise nicht erklären könnten, wie der Schall von einem tönenden Körper zu uns gelangen könne, so könnte man die Existenz der Luft immer noch für etwas zweifelhaft halten. Aber wir haben sowohl für die Luft andere Beweise ihrer Existenz, wie wir auch bereits wissen, daß der Äther noch andere Aufgaben erfüllt, als die Lichtfortpflanzung. Die meisten Erscheinungen, die die Elektrizität und der Magnetismus uns bieten, beruhen auch, wie man allmählich eingesehen hat, im wesentlichen auf Vorgängen im Äther.

Unsere Betrachtungen haben sich etwas weit entfernt von demjenigen, was wir direkt mit den Augen sehen können. Aus den Farben der Seifenblasen haben wir auf Interferenzen, aus der Interferenzerscheinung des Lichts haben wir auf seine Wellennatur geschlossen, aus der Annahme von Wellen sind wir zu der Einführung des Weltäthers gekommen und haben außer unserer direkt sichtbaren Welt noch eine unsichtbare uns konstruiert, die die sichtbare durchdringt und erweitert.

Bevor wir diese kühnen Schlüsse als sicher akzeptieren, wollen wir vorsichtigerweise zuerst untersuchen, ob denn wirklich die Wellentheorie geeignet ist, die Erscheinungen des Lichts vollständig und in jeder Hinsicht zu erklären. Doch dies soll Gegenstand der nächsten Vorlesung sein.

## Vierte Vorlesung.

### Einwände gegen die Wellentheorie. Beugungserscheinungen.

Die Seifenblasen haben uns in der letzten Vorlesung zu sehr überraschenden und weitgehenden Folgerungen, zu der Erkenntnis von der Wellennatur des Lichtes geführt. Wollen wir aber dieser Erkenntnis recht froh werden, so wird es unbedingt notwendig sein, alle Einwürfe, die wir dieser Theorie etwa machen können, genau zu prüfen und sie, wenn möglich, experimentell zu widerlegen. In der That gibt es keinen andern Weg in der Wissenschaft. Jeder Einwand, der logisch berechtigt ist, muß gemacht werden, und wenn ein einziger Einwand sich von einer Theorie nicht widerlegen läßt, so ist die Theorie falsch. Jeder Einwand hat das liberum veto gegen eine Theorie, ganz wie im polnischen Reichstag, wenn man ihn nicht totschießt, ganz wie im polnischen Reichstag.

Woher es kommt, daß an dünnen Blättchen Farben auftreten, haben wir bereits nach der Wellentheorie besprochen. In unser Auge kommt reflektirtes Licht, welches aus verschiedenen Strahlen zusammengesetzt ist. Nämlich sowohl solches Licht, welches direkt von der Vorderfläche der Platte (die unserem Auge am nächsten ist) reflektirt ist, wie solches, welches zuvor die Platte hin und zurück ein-, zwei-, dreimal usw. durchlaufen hat. Diese verschiedenen zusammenwirkenden Strahlen besitzen Gangunterschiede und so sieht man, daß die Bedingungen für die Interferenz gegeben sind.

Ist also eine solche Platte von homogenem Licht beleuchtet, so muß sie, je nach ihrer Dicke und je nach der Richtung, in welcher das Licht auf sie fällt, resp. in welcher das reflektirte Licht beobachtet wird, hell oder dunkel erscheinen. Ist sie von weißem Licht beleuchtet, so muß sie farbig

erscheinen. Und hat die Platte nicht überall dieselbe Dicke, so muß sie an verschiedenen Stellen verschieden gefärbt sein.

Aber gegen diese Erklärung erhebt sich ein gewichtiger Einwand. Warum spricht man nur von den Farben dünner Blättchen, warum zeigen sich diese Interferenzen nur bei dünnen Platten? Nach der Erklärung, die wir eben gegeben haben, müßten Platten jeder Dicke die Interferenzen zeigen. Denn immer müßten im reflektierten Strahl eine Reihe von Einzelstrahlen vereinigt sein.

Dieser Einwand ist sehr berechtigt. Eine nähere Betrachtung wird ihn aber widerlegen und sogar noch Beweise für unsere Erklärung bieten. Nehmen wir erst einmal an, eine Platte sei mit weißem Licht beleuchtet. Hat eine noch sehr dünne Platte eine solche Dicke, daß sie etwa einer Wellenlänge des violetten Lichts entspricht, also die Dicke  $0,380 \mu$ , so wird ein violetter Strahl beim Hin- und Hergang durch die Platte 2 Wellenlängen verbrauchen, ein roter Strahl von der Länge  $0,760 \mu$  wird gerade 1 Wellenlänge verbrauchen. Diese beiden Strahlen werden also verstärkt herauskommen, während die anderen Strahlen Gangunterschiede zwischen 1 und 2 Wellen oder was dasselbe ist, zwischen 0 und 1 Wellenlängen zeigen werden, d. h. sie werden geschwächt werden. Vollständig ausgelöscht wird dabei der Strahl mit der Wellenlänge  $0,570 \mu$ , der genau zwischen den beiden verstärkten liegt, die übrigen werden mehr oder minder geschwächt. Das heraustretende Licht wird also im wesentlichen aus Rot und Violett gemischt sein.

Hat aber die Platte die doppelte Dicke  $0,760 \mu$ , so wird der violette Strahl beim Hin- und Hergang 4 Wellenlängen verbrauchen, der rote 2, der gelbe von  $0,570 \mu$  3 Wellenlängen. Diese also kommen mit dem Gangunterschied einer ganzen Wellenlänge, also verstärkt heraus. Die übrigen Strahlen werden geschwächt. Das reflektierte Licht enthält schon Rot, Violett, Gelb. Nun sei die Dicke noch einmal doppelt  $1,520 \mu$ , dann wird der Strahl von  $0,380 \mu$  8 Wellenlängen verbrauchen, der von  $0,760$  wird 4, der von  $0,570$  wird 6 verbrauchen. Diese werden also verstärkt austreten. Zugleich wird der Strahl von  $0,475 \mu$  noch 5 Wellenlängen und der von  $0,665$  wird 7 Wellen verbrauchen. Auch diese werden sich also verstärken, die übrigen werden sich schwächen.

Man sieht aus dieser Betrachtung: je dicker die Platte ist,

um so mehr Wellen aus allen Theilen des Spektrums werden verstärkt reflektiert werden. Das herauskommende reflektierte Licht wird also bei dickeren Platten Farben aus allen Theilen des Spektrums enthalten und insolge dessen weiß erscheinen. Deswegen zeigen dicke Platten keine Färbung im weißen Licht.

Aber, so wird man sofort einwenden können, danach müßten Platten von jeder Dicke, ob dick oder dünn, im homogenen Licht immer Interferenz zeigen, also entweder dunkel oder hell sein. Eine bestimmte dicke durchsichtige Platte müßte also im Natriumlicht z. B. ganz schwarz erscheinen, was doch nicht der Fall ist. Als Entgegnung läßt sich darauf erstens sagen, daß man in der That im homogenen Licht die Interferenzen bei viel dickeren Platten noch beobachten kann, als bei weißem Licht, aber bei einer gewissen Dicke hören sie auch da auf. Das kommt aber nur daher, daß wir eben absolut homogenes Licht von nur einer einzigen Wellenlänge nicht haben. Auch das scheinbar homogene Natriumlicht besteht aus einer Anzahl Wellen. Man hat auch die *D*-Linie selbst in zwei gesonderte Linien zerteilen können. Dann muß natürlich, da jetzt unsere obige Betrachtung wieder voll in Geltung tritt, von einer gewissen Dicke an das Licht immer gelb reflektiert werden, ganz wie beim weißen Licht weiß. Ja noch mehr. Die Untersuchung der Interferenzerscheinungen an dicken Platten gibt uns sogar ein bequemes und äußerst empfindliches Mittel, über die größere oder geringere Homogenität von farbigen Spektrallinien uns Kenntniss zu verschaffen. Spektrallinien, welche man selbst mit feinen Hilfsmitteln ausgerüstet, für einfache hält, erweisen sich durch die Interferenzen an dicken Platten geprüft, als sehr kompliziert zusammengestellt.

Also diese Einwände gegen unsere Erklärung zeigen sich hinfällig. Wir können aber umgekehrt, wenn unsere Betrachtung für das weiße Licht richtig ist, aus ihr mit Notwendigkeit einen weiteren Schluß ziehen. Nach unserer Erklärung ist das Licht, das von einer dicken durchsichtigen Platte reflektiert wird, zwar weiß, aber es enthält doch nicht alle Farben des Spektrums, sondern es fehlen von diesen Farben alle diejenigen, für welche die doppelte Dicke der Platte einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge ergibt. Wenn wir also das von einer solchen Platte reflektierte weiße Licht durch ein Prisma gehen lassen und durch dasselbe spektral

zerlegen, so müssen in dem Spektrum eine ganze Reihe von dunklen Linien in ungefähr gleichen Abständen auftreten. Dies wird ein Experimentum crucis für unsere Erklärung abgeben. Wir wollen den Versuch machen. In Fig. 67 konzentriere ich durch eine Linse  $L_1$  das von unserer Bogenlampe kommende Licht und lasse es schief auf die Glasplatte  $D$  fallen. Das von dieser reflektierte Licht will ich nun spektral zerlegen. Zu dem Zwecke konzentriere ich es erst, damit es möglichst stark sei, durch eine Linse  $L_2$ , lasse es durch einen Spalt  $S_p$  treten und dann durch das Prisma  $P$  gehen. Damit ich ein scharfes Spektrum bekomme, projiziere ich das Bild des Spaltes ver-

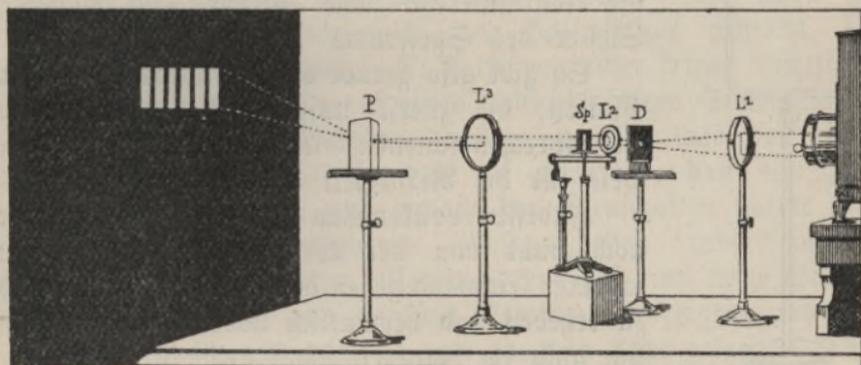


Fig. 67.

mittels der Linse  $L_3$  auf den Schirm. Sie sehen jetzt das Spektrum und beobachten, daß es tatsächlich in allen Farben von einer großen Zahl von dunklen Linien durchzogen ist. Das ist ein glänzender Beweis für unsere Erklärung.

Denselben Anblick muß offenbar auch das von einer Seifenblase reflektierte Licht geben, wenn sie noch so dick ist, daß keine Farben auftreten. Ich kann eine Seifenlamelle leicht herstellen, indem ich den rechteckigen Draht Fig. 68 in unsere haltbare Seifenlösung aus der vorigen Vorlesung eintauche und dann herausziehe. Das Seifenwasser bildet dann eine ebene Fläche, die von dem Drahtviereck begrenzt ist und wenn ich jetzt diese Seifenlamelle an Stelle der Glasplatte  $D$  in Fig. 67 bringe, so sehen wir ebenfalls das Spektrum von einer Anzahl senkrechter gerader Linien durchzogen. Wenn wir aber eine kurze Weile warten, so sehen wir, daß diese Linien schief werden

und zu wandern beginnen, eine jede läuft vom roten zum violetten Ende des Spektrums schief durch dasselbe hindurch. Diese auffallende Erscheinung ist in Wirklichkeit zu erwarten gewesen und leicht zu erklären. Die Seifenlamelle behält nicht die gleiche Dicke überall bei, sondern das Wasser fließt allmählich abwärts und so werden die oberen Teile der Scheibe allmählich dünner, die unteren dicker. Daher gehen am oberen Teil die dunklen Linien im Spektrum mehr auseinander, im unteren drängen sie sich mehr zusammen, die Streifen werden also schief und da diese Dickenveränderung kontinuierlich fortgeht, so erscheint es uns, als ob die Streifen wandern. In Wirklichkeit bilden sich kontinuierlich neue Streifen an anderen Stellen des Spektrums.

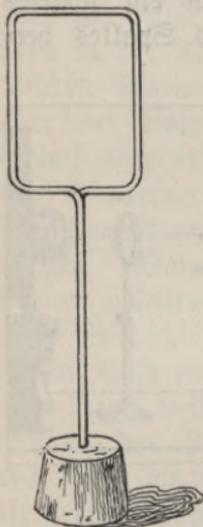


Fig. 68.

So gibt also gerade die Betrachtung dickerer Platten, die zuerst unserer Wellentheorie zu widersprechen schienen, einen sehr eklatanten Beweis für die Richtigkeit derselben.

Indessen vollkommen befriedigt dürften Sie noch nicht von der Wellentheorie sein. Ein schwerer Einwand gegen dieselbe ist ohne weiteres zu erheben und vermutlich haben Sie denselben sich auch im Inneren schon gemacht. Daß der Schall eine Wellenbewegung ist, läßt sich leicht glauben. Wir wissen tatsächlich, daß sich der Schall von dem tönenden Körper nach allen Richtungen ausbreitet und wenn er an irgendeine Ecke kommt, so geht er um diese Ecke herum, ganz so, wie es die Wasserwellen auch tun, wenn sie an irgendein Hindernis kommen. Sie stauen sich an demselben und werden reflektiert, aber von den Rändern desselben breitet sich die Wellenbewegung auch in das Wasser hinter dem Hindernis aus. Beim Schall ist es genau so, eine begrenzende Wand ist kein Hindernis für denselben, die Schallbewegung biegt sich an den Ecken um, umgeht dieselben und wir hören bekanntlich den Schall auch um Ecken herum. Das Licht aber tut das, wie es scheint, durchaus nicht. Das Licht geht nur geradlinig fort, wie wir in der ersten Vorlesung gesehen und direkt ausgesprochen haben. Ein Hindernis, z. B. ein begrenzter schwarzer Schirm in der geraden Linie, hält das Licht vollständig ab, hinter dem Schirm ist

Schatten, also kommt das Licht nicht um die Ecken des Schirmes herum, wie es das Wasser und wie es der Schall tun würde. Das scheint ein gewichtiger Einwand gegen die Wellentheorie des Lichtes zu sein, und wenn wir ihn nicht widerlegen, oder wenn wir diese geradlinige Ausbreitung nicht auch mit der Wellentheorie erklären können, so steht unsere ganze Theorie auf schwachen Füßen.

Aber zunächst: ist denn die Behauptung richtig, daß das Licht nicht um die Ecke geht? Im großen ganzen, in den gewöhnlichen Fällen, mit denen wir es zu tun haben, ist sie sicher richtig. Um einen Schirm herum geht das Licht nicht, hinter dem Schirm ist Schatten, es kommt keine Lichtbewegung um die Ränder des Schirmes nach hinten. Aber schon im Jahre 1665 hatte Grimaldi eine Beobachtung gemacht, die damit nicht genau stimmte. Er hatte von einer feinen Lichtlinie, einem Spalt, aus Licht auf einen undurchsichtigen Schirm fallen lassen, so daß die Lichtlinie nahezu parallel war der einen Kante des Schirms. Es war zu erwarten, daß ein ganz schmaler Halbschatten, und danach der Kernschatten hinter dem Schirm zu beobachten wären. Anstatt dessen fand Grimaldi, daß in dem Halbschatten, allerdings nur auf eine kurze Strecke, abwechselnd hellere und dunklere Streifen sich zeigten und daß auch in dem Kernschatten, zu dem gar kein Licht gelangen kann, wenn die geradlinige Fortpflanzung ganz streng gilt, noch eine kleine Strecke weit Helligkeit zu beobachten ist, diese aber gleichmäßig und rasch abnehmend nach dem Innern des Kernschattens zu. Grimaldi sagte, um diese Erscheinung zu benennen, das Licht werde um den Rand etwas herumgebeugt und man bezeichnet noch jetzt diese Erscheinung und die anderen, die auf derselben Ursache beruhen, als Beugungs- oder Diffraktionserscheinungen.

Ohne weiteres erkennen wir, daß wir wohl hier dasjenige haben, was wir oben vermißt haben, das um die Ecke Gehen des Lichtes. An dem Rande des Schirmes scheint tatsächlich das Licht ein wenig um die Ecke zu gehen und einen Teil des eigentlichen Kernschattens noch zu erhellen. Aber unseren unwillkürlichen Erwartungen entspricht diese Erscheinung doch nicht ganz. Denn erstens ist das seitliche Umbiegen des Lichtes nur auf sehr kurze Distanz zu merken, und zweitens ist ganz überraschend das Auftreten von hellen und dunklen Linien, also

von Interferenzen außerhalb des Kernschattens. Und doch sind gerade diese Beugungserscheinungen ein ausgezeichnete Beweis für die Wellentheorie geworden. Der französische Physiker Fresnel, dem die Wellentheorie des Lichtes das meiste verdankt, hat mit großem Scharfsinn diese Beugungserscheinungen und alle entsprechenden aus der Wellentheorie erklärt.

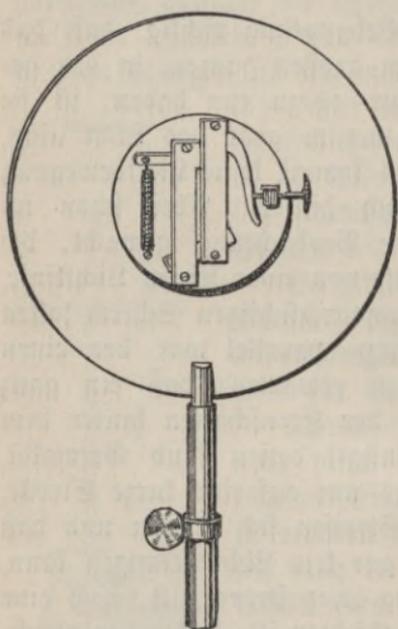


Fig. 69.

Schon Newton hatte die Beobachtung von Grimaldi nachgeprüft und hatte eine etwas andere, zweckmäßigere Anordnung dafür gewählt. Statt einen Schirm mit einem scharfen Rande zu nehmen, etwa eine Metallplatte, um in der Nähe dieses Randes die Beugung zu untersuchen, nahm er zwei eng nebeneinander stehende Ränder, also einen engen Spalt, der von zwei scharfen Rändern begrenzt war. Als er durch einen solchen ganz engen Spalt das Licht von einer Lichtlinie hindurchgehen ließ, so erkannte er auf dem Schirm, auf dem er die Erscheinung beobachtete, daß er erstens das helle Bild des

Spaltes bekam, daß aber dieses Bild zu beiden Seiten von bunten Streifen umgeben war, welche die ihm schon aus seinem Farbenglas bekannten Mischfarben zeigten. Ich will Ihnen dieses Experiment zunächst vorführen, damit wir für unsere weiteren Betrachtungen einen faßbaren Anhalt haben.

Ich habe also hier (Fig. 69) einen Spalt, welchen ich durch Zusammenschrauben der beiden Messingbacken äußerst eng machen kann. Ich stelle diese Öffnung  $Sp$ , die ich die beugende Öffnung nennen will, dem Lichtbündel, das aus dem Spalt meiner Bogenlampe kommt, gegenüber und projiziere durch eine Linse  $L$  (Fig. 70) die Erscheinung auf den Schirm hinten. Sie sehen auf dem Schirm bei  $B$  in der Mitte ein helles Bild der Öffnung, seitlich von demselben aber bunte Streifen, und zwar da, wo eigentlich kein Licht mehr hin-

kommen könnte, wenn das Licht sich nur geradlinig ausbreiten könnte.

Daß diese bunten Streifen durch Mischung entstehen, können wir sofort wie früher dadurch beweisen, daß wir vor die Lampenöffnung ein rotes und dann ein blaues Glas halten. Im ersten Fall sehen wir das Bild der Öffnung rot, seitlich davon aber schwarze und rote Streifen, im zweiten Falle sehen wir es blau und seitlich davon abwechselnd schwarze und blaue Streifen, und wenn wir genau zusehen, so finden wir, daß die Lage der blauen und der roten Streifen etwas verschieden ist, so daß wir bei weißem Licht Mischfarben erhalten müssen.

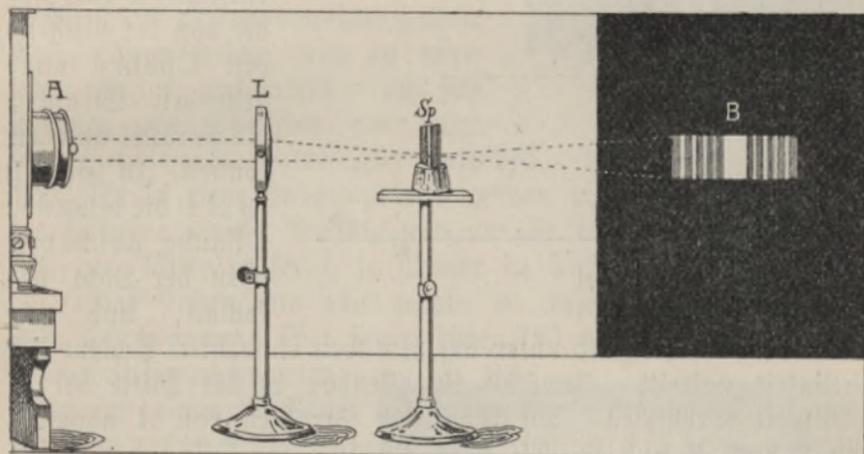


Fig. 70.

Die Art und Weise, wie diese Beugungsbilder zustande kommen, ist nun eine sehr einfache. Von dem Spalt A der Bogenlampe geht das Licht nach allen Seiten aus. Jedes Äthertheilchen, das von der Lichtbewegung getroffen wird, beginnt zu schwingen und schwingt dauernd hin und her. Jedes solche schwingende Teilchen können wir als Quelle für eine Wellenbewegung ansehen, welche von ihr ausgeht. Denn so wie es anfängt, sich zu bewegen, setzt es vermöge des Zusammenhanges mit den benachbarten Teilchen diese ringsherum ebenfalls in schwingende Bewegung. Also jeder Punkt eines von Licht durchzogenen Raumes ist selbst wieder Ausgangsstelle für eine Wellenbewegung. Nun kommt die Lichtbewegung von unserem Spalt zu unserer feinen beugenden Öffnung *Sp*. Jeder Punkt dieser

Öffnung ist also wieder Ausgangsstelle von Wellenbewegungen, d. h. von jedem Punkt geht Licht nach allen Seiten und insbesondere auch nach der Richtung zum Schirme zu. Danach müßten wir nun eigentlich erwarten, daß hinter der Öffnung der ganze Raum erhellt ist, was der geradlinigen Ausbreitung ganz direkt widersprechen würde, was aber allerdings beim Schall tatsächlich der Fall wäre. Beim Licht ist es nicht so und das rührt her von der Kleinheit der Wellenlängen des Lichtes. Denken wir uns in der That den Schirm, auf dem

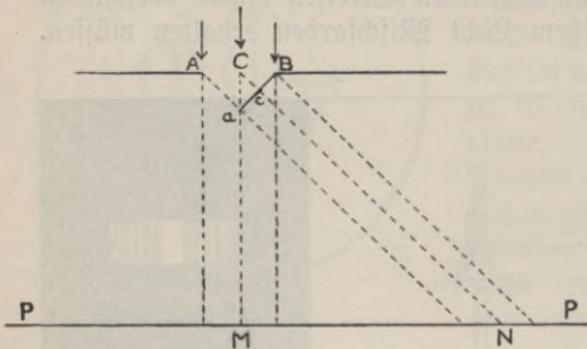


Fig. 71.

wir die Erscheinung auffangen, sehr weit entfernt, so daß wir die von der beugenden Öffnung ausgehenden Strahlen als parallel ansehen können. In Fig. 71 sei  $AB$  die beugende Öffnung, welche von oben her Licht bekommt, und wir

wollen untersuchen, wo unten auf dem weit entfernten Schirm  $PP$  Helligkeit auftritt. Zunächst ist offenbar in der Mitte bei  $M$  Helligkeit vorhanden. Die parallelen Strahlen von  $A$  nach  $M$ , von  $B$  nach  $M$  und so von allen Punkten der Öffnung nach  $M$  verstärken sich dort, weil sie alle keinen Gangunterschied haben. Es ist noch der Strahl  $CM$  von dem mittelsten Punkt  $C$  der beugenden Öffnung gezeichnet.

Anders liegt die Sache an einer seitlichen Stelle auf dem Schirm  $PP$ . Dorthin, z. B. nach dem Punkte  $N$ , kommen die Strahlen  $AN$ ,  $BN$ ,  $CN$ , die auch parallel untereinander sind, weil wir den Schirm sehr weit entfernt angenommen haben. Diese Wege sind aber nicht gleich lang, sondern verschieden. Der Strahl von  $C$  ist um  $Cc$  länger, der von  $A$  um  $Aa$  länger als der von  $B$ . Daraus folgt aber, wenn  $Cc$  gleich einer halben Wellenlänge des angewandten Lichtes ist, daß sich  $AN$  und  $CN$  durch Interferenz vernichten und ebenso  $BN$  und  $CN$ . Nach der Stelle  $N$  kommt dann also gar kein Licht, dort entsteht ein dunkler Streifen. Für ein schieferees Strahlenbündel, bei welchem die Randstrahlen (wie  $AN$  und  $BN$ )

zwei Wellenlängen Gangunterschied haben, tritt dasselbe ein. Denn die vier Teile desselben mit je einer halben Wellenlänge Gangunterschied müssen sich vernichten. So findet man also rechts wie links von dem beugenden Spalt dunkle Streifen. Zwischen diesen muß Helligkeit auftreten, also in der That im eigentlichen Schatten; aber man erkennt auch, daß die Helligkeit sehr viel geringer sein muß, als in dem mittleren Bild bei *M*. Denn während bei *M* alle Strahlen sich verstärken, die von *A*, *B*, *C* oder einem anderen Punkte kommen, werden sich an jeder seitlichen Stelle immer eine Menge Strahlen vernichten, weil sie Gangunterschiede von einer halben Wellenlänge haben, und es wird nur darauf ankommen, ob sich wirklich alle Strahlen oder nur sehr viele durch Interferenz aufheben. Also auch die hellen Strahlen in dem Beugungsbild werden viel dunkler sein, als die mittlere Stelle bei *M*, und um so dunkler, je weiter sie von der Mitte entfernt, je schiefser sie sind.



Fig. 72.

Das finden wir nun gerade in unserem Experiment von Fig. 70 bestätigt. Wir sehen (Fig. 72) um das helle mittlere Spaltbild herum im roten Licht erst einen dunklen Streifen rechts und links, dann ein sehr viel schwächeres helles Feld, an das sich wieder je ein dunkler Streifen anschließt, dann weiter helle Felder mit abnehmender Lichtstärke. Da der Abstand des ersten

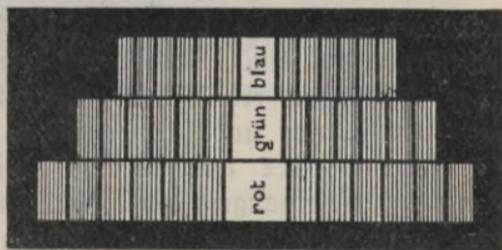


Fig. 73.

dunklen Streifens von der Mitte einem Gangunterschied der Randstrahlen von einer ganzen Wellenlänge entspricht, so muß dieser Abstand für die roten Strahlen größer sein als für die blauen Strahlen. Denn die ersteren haben ja eine größere Wellenlänge.

Um dies mit einem Blick übersehen zu lassen, setze ich vor meine Bogenlampe einen kleinen Rahmen, in welchem drei farbige Gläser übereinander enthalten sind. Unten ein rotes, in der Mitte ein grünes, oben ein blaues Glas. Sie sehen die Erscheinung (Fig. 73),

die sich jetzt zeigt. Unten in dem roten Bild stehen die dunklen Streifen am weitesten auseinander, im blauen am wenigsten, im grünen haben sie einen mittleren Abstand.

Sie können solche Beugungserscheinungen sehr schön subjektiv beobachten, wenn sie in ein Stanniolblatt mit einem Messer einen sehr schmalen Spalt einschneiden und durch diesen Spalt auf einen hell beleuchteten Punkt, z. B. eine Kerze oder dergl. hinsehen. Dann sehen sie das Bild der Flamme umgeben von einem weit ausgedehnten farbigen Hof, der eben auf der Übereinanderlegung der Beugungsbilder für die verschiedenen Farben beruht.

Sie werden wohl häufig schon beobachtet haben, daß, wenn Sie die Augen halb geschlossen halten, so daß die Augenwimpern vor dem Auge sich befinden, und Sie also durch die Augenwimpern hindurchsehen, daß Sie jede Straßenlaterne, jede Flamme, die Sie anblicken, von einem solchen weit ausgedehnten farbigen Streifen umgeben sehen. Dies beruht ebenfalls auf der Beugung durch die Öffnungen der Augenwimpern. Ebenso wenn Sie durch eine Bogelfeder einen leuchtenden Gegenstand beobachten, werden Sie finden, daß er durch die Beugungserscheinung verbreitert und gefärbt erscheint.

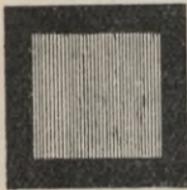


Fig. 74.

Es brauchen die Öffnungen durchaus nicht spaltförmig zu sein. Auch durch kreisförmige, dreieckige, vieleckige Öffnungen erhält man Beugungsbilder von zum Teil sehr komplizierter und schöner Form.

Fraunhofer war es, der bei der Untersuchung dieser Beugungserscheinungen zuerst statt eines einzelnen Spaltes eine sehr große Reihe von solchen sehr nahe beieinander stehenden Spalten anwendete, wie sie etwa die Augenwimpern bilden. Eine solche optische Vorrichtung, eine Reihe von sehr engen, sehr nahe aneinander und im gleichen Abstand voneinander befindlichen Spalten nennt man ein Beugungsgitter. Ich zeige Ihnen hier (Fig. 74) ein einfaches Gitter, ein sogenanntes Drahtgitter, welches aus einer Reihe von feinen, nebeneinander befindlichen Drähten gebildet ist. Andere Gitter werden dadurch hergestellt, daß man auf einer beruhten Platte in nebeneinander liegenden Strichen den Ruß fortnimmt, oder daß man eine große Anzahl feiner Striche in gleichen Abständen auf

Glas einrißt. Die Erscheinung, die ein solches Glasgitter gibt, zeige ich Ihnen hier, indem ich das Licht von der Bogenlampe durch dasselbe hindurchgehen lasse und durch eine Linse das Bild auf den Schirm projiziere. Ich setze vor die Lampe ein rotes Glas, und Sie sehen (Fig. 75 I) außer dem mittleren hellen roten Streifen noch rechts und links eine Reihe roter Streifen. Zwischen diesen hellen Streifen ist alles dunkel. Ich setze ein blaues Glas vor die Lampe und Sie sehen (Fig. 75 II) nur eine Reihe von blauen Streifen, die ebenso wie vorher die roten alle den gleichen Abstand haben. Sie bemerken auch, daß die blauen Streifen enger zusammengedrängt und näher an der Mitte sind, als die roten. Je kleiner also die Wellen-

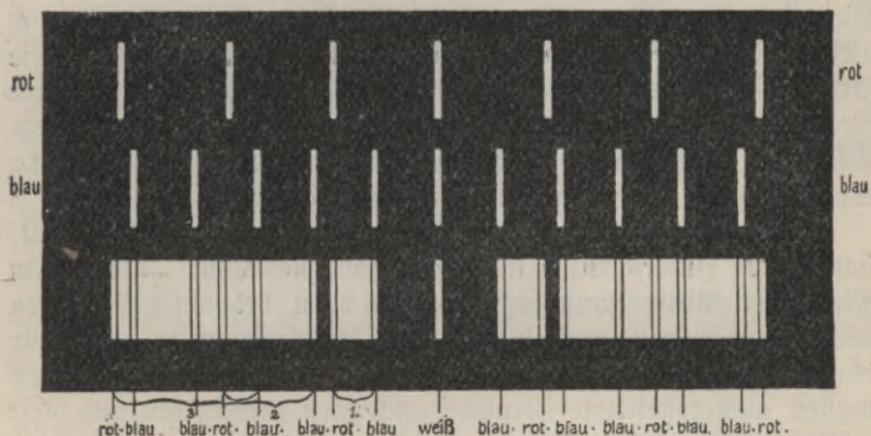


Fig. 75.

länge ist, desto näher sind hier bei diesen Gittererscheinungen die hellen Streifen an der Mitte. Wenn ich nun weißes Licht durch das Gitter fallen lasse, so sehen Sie eine prachtvolle Erscheinung (Fig. 75 III), nämlich sehr hell glänzende Spektra zu beiden Seiten des weißen Mittelbildes, des direkten Spaltbildes. Gehen wir von der Mitte aus, so sehen wir, und dasselbe ergibt sich auch aus dem eben Ermittelten, daß in der Nähe des Mittelbildes das Spektrum mit Violett anfängt, und durch Blau, Grün, Gelb zu Rot geht. Dieses bezeichnet man als das erste Gitterspektrum. Nun folgt ein kleiner dunkler Zwischenraum, dessen Erklärung Sie aus der Fig. 75 leicht erkennen, da eben zwischen dem ersten roten und dem zweiten

blauen Streifen alles dunkel ist. Nun folgt ein sehr helles zweites Spektrum, wieder beginnend mit Violett und Blau und endigend mit Rot. In diesem sind aber die Farben nicht rein ausgebreitet, sondern etwas gemischt. Denn über das Spektrum, das von Blau 2 bis Rot 2 geht, lagert sich noch ein Teil des dritten Spektrums, das von Blau 3 bis Rot 3 geht. Diese drei Spektren sieht man leicht, die folgenden werden schon recht blaß. Das erste ist das reinste und hellste Spektrum, das zweite ist aber breiter ausgedehnt. Sie überzeugen sich durch den Augenschein leicht, daß diese Gitterspektren eine andere Farbenverteilung zeigen, als das prismatische Spektrum. Bei diesem war das Blau sehr ausgedehnt, Rot, Gelb und Grün waren sehr schmal zusammengedrängt. Hier ist es anders. Hier sind der rote, gelbe, grüne und blaue Teil alle ziemlich gleich weit ausgedehnt in jedem einzelnen der Spektren. Die Breite einer jeden Farbe im Beugungsspektrum entspricht dem Bereich der verschiedenen Wellenlängen, die diese Farben zeigen. Deswegen nennt man auch die Beugungsspektren *normale Spektren*, zum Unterschied von den prismatischen.

Bei den Gittern, die ich Ihnen bisher gezeigt habe, entstanden die Interferenzen im durchgegangenen Licht. Von jedem Punkt der Gitteröffnungen, der von vorn beleuchtet ist, gehen Wellenbewegungen nach hinten und interferieren so, wie wir es gesehen haben. Aber an jedem Punkt der Gitteröffnungen müssen auch reflektierte Strahlen nach vorn zurückgehen und diese müssen aus demselben Grunde gerade ebenso Interferenzen hervorbringen, wie die durchgehenden Strahlen. Es muß also möglich sein, auch Beugungsbilder genau derselben Art im reflektierten Licht zu erzeugen. In der That werden jetzt die feinsten Beugungsgitter als Reflexionsgitter hergestellt. Man nennt sie nach ihrem ersten Verfertiger Rowlandsche Gitter. Um die Reflexion sehr stark zu machen, werden die Gitterstriche nicht auf Glas, sondern auf Metall geritzt. Jeder beleuchtete Punkt der Metalloberfläche sendet reflektierte Strahlen nach allen Seiten und diese interferieren und geben die Beugungsspektren. Sie sehen hier Fig. 76 ein Rowlandsches Reflexionsgitter: Auf einer Spiegelmetalloberfläche sind durch eine sehr feine Teilmaschine eine große Anzahl von feinen Strichen eingeritzt in gleichem Abstand voneinander. Bei diesem Gitter sind etwa 700 Striche auf jedem Millimeter. Das Metall ist absichtlich nicht eben

geschliffen, sondern konkav, damit es gleich als Konkavspiegel dienen kann und man also ohne Linsen die Bilder des Spaltes erhalten kann. Ich stelle das Gitter der Bogenlampe gegenüber auf und beleuchte es, und Sie sehen rings an den Wänden weit ausgedehnte Spektren, die ich allmählich durch Drehen des Gitters an dem weißen Schirm vorbeiführe, wobei die große Ausdehnung der einzelnen Spektren deutlich erscheint.

Jede Farbe, die im weißen Licht enthalten ist, erscheint an einer bestimmten Stelle im ersten und ebenso in den folgenden Spektren. Daraus ergibt sich, daß in den Beugungsspektren, wenn man sie mit Sonnenlicht erzeugt, auch die Fraunhoferschen Linien entstehen müssen. An derjenigen Stelle des ersten, des zweiten usw. Spektrums, welche z. B. das gelbe Licht der Natriumflamme ergeben würde, muß also ein dunkler Streif entstehen, weil eben das Licht des Natriums im Sonnenlicht nicht enthalten ist. Da die Gitterspektren, wie Sie sich eben überzeugt haben, bei guten Gittern sehr weit ausgezogen sind, die Farben alle sehr weit ausgezogen sind, so ist es mit Gittern leicht, eine große Zahl von Linien einzeln zu sehen, die im prismatischen Spektrum so zusammengedrängt sind, daß sie ohne weiteres nicht getrennt erscheinen. Das Bild des Spektrums mit den Fraunhoferschen Linien, das ich Ihnen in der zweiten Vorlesung (Fig. 50) gezeigt habe, ist von einem solchen Beugungsspektrum durch Photographie gewonnen.

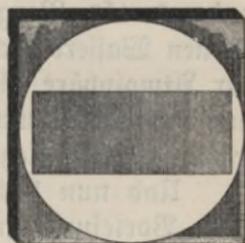


Fig. 76.

Beleuchten wir ein Gitter nicht mit weißem Licht, sondern mit dem Licht einer gefärbten Flamme, die nur wenige Farben aussendet, so bekommen wir nur diese Farben getrennt in jedem Spektrum. Da nun ferner die Lage einer Farbe im Beugungsspektrum, im ersten sowohl, wie in jedem folgenden, nur von der Wellenlänge derselben abhängt, so kann man umgekehrt durch Bestimmung der Lage dieser Linie die Wellenlänge bestimmen. Tatsächlich werden die Wellenlängen der einzelnen Farben immer durch Messungen mit Beugungsgittern bestimmt. Die Messungseinrichtungen aber können wir im einzelnen hier nicht erörtern. Das würde uns zu weit führen.

Die Beugung durch Gitter ist übrigens eine Erscheinung, die in der Natur und auch in der Kunst resp. Industrie zu

beobachten ist. Die Farben der Schmetterlingsflügel und der Pfauenfedern, namentlich diejenigen, welche bei verschiedener Stellung des Beobachters zu wechseln scheinen und welche ganz besonders reizvoll sind, beruhen zum größten Teil auf Beugungserscheinungen. Die Farben der Perlmutter sind ebenfalls Gitterfarben, hervorgerufen durch sehr kleine regelmäßige Strichelungen der Perlmutter. Die irisierenden Perlmutterknöpfe, die der Handel erzeugt, sind eine Nachahmung derselben, die ebenfalls durch Gitterstriche erzeugt sind.

Die Beugungserscheinungen beobachten wir öfter, als wir es glauben. Die Höfe um Sonne und Mond sind nichts anderes als Beugungserscheinungen, hervorgerufen durch die kleinen Wasserbläschen von dünnen, unsichtbaren Wolken, die in der Atmosphäre schweben. Der sogenannte Heiligenschein, den man zuweilen um den Schatten des eigenen Kopfes auf betauten Wiesen sieht, hat dieselbe Ursache.

Und nun bitte ich Sie, einen kleinen Rückblick auf unsere erste Vorlesung zu werfen. In dieser haben wir als durch das Experiment leicht nachweisbar den Satz aufgestellt, daß das Licht nur in gerader Linie von dem leuchtenden zu einem beleuchteten Punkt kommt, daß es sich also nur geradlinig ausbreitet. Wir sehen jetzt, wie schwer es ist, aus beobachteten Erscheinungen vollkommen dasjenige herauszuziehen, was in der Natur wirklich vor sich geht. Die geradlinige Ausbreitung war damals durch das Experiment bewiesen und doch haben wir jetzt gefunden, daß wir Fälle beobachteten, bei denen das Licht sich durchaus nicht in geraden Linien ausbreitet, sondern wo es um die Ecken herumgeht. Aber die eine Beobachtung widerspricht der anderen nicht, obschon es so scheint. Die Abweichung von der geradlinigen Bewegung geht, gerade wegen der Kleinheit der Wellen, nur auf sehr kurze Entfernungen vor sich. Deswegen ist die Beugung des Lichtes schwer, und nur durch geeignete Maßregeln zu beobachten, während die des Schalles eine normale Erscheinung ist.

Alles was wir bisher von optischen Erscheinungen beobachtet haben, fügt sich ungezwungen in die Wellentheorie ein, wenn es ihr auch anfangs zu widersprechen schien. Wir werden diese Theorie also nun als bewiesen ansehen und von jetzt an immer so von Lichtwellen sprechen und so mit dem Lichtäther operieren, als ob wir diese Wellen mit unseren Augen sehen

könnten. In der That ersetzt uns unser Geist hier vollständig die Sinne. Wir brauchen die Wellen nicht zu sehen und wissen doch, wie sie sich unter allen Umständen verhalten werden. Der große Reiz, den die Naturwissenschaften besitzen, liegt gerade in dieser Unterordnung der Natur unter unseren Geist. Haben wir einmal das Gesetz gefunden, dem die Erscheinungen gehorchen, so können wir alle Konsequenzen dieses Gesetzes mit Sicherheit auf die Natur anwenden, nie wird sie uns im Stiche lassen.

## Fünfte Vorlesung.

### Ultrarote, ultraviolette Strahlen. Fluoreszenz. Phosphoreszenz. Photographie. Farbige Photographie.

Es wäre gewiß eine unverständliche Tatsache, wenn der Äther, den wir als Träger aller Lichterscheinungen erkannt haben, keine anderen Schwingungen ausführen könnte, als gerade nur diejenigen, deren Wellenlängen zwischen  $0,380$  und  $0,760 \mu$  liegen und welche wir als die äußersten Wellen im Spektrum, einerseits im Violett, andererseits im Rot erkannt haben. Würden wir annehmen müssen, daß der Äther tatsächlich nur diese Bewegungen ausführe und gar keine anderen, so wäre das ein ganz sicherer Beweis dafür, daß unsere Annahme eines Äthers falsch ist, weil sie nur eine sogenannte Erklärung ad hoc bieten würde. Vielmehr, wenn ein solcher die ganze Welt erfüllender Stoff wirklich existiert, der überhaupt in Wellenbewegung gelangen kann, so werden wir a priori annehmen müssen, daß er in Schwingungen von jeder beliebigen Periode geraten könne, daß er Wellen von Kilometern Länge ebensowohl enthalten müsse, wie die Wellen von Bruchteilen eines Tausendstel Millimeters. Wir sehen an dem Wasser des Ozeans, daß es ebensowohl große gewaltige Wellen, wie die kleinen wellenförmigen Kräuselungen seiner Oberfläche zeigt, und dasselbe werden wir auch vom Äther voraussetzen müssen. Daß wir tatsächlich nur eine so geringe Anzahl von verschiedenen Wellen als Licht sehen, das ist dann nicht eine Eigenschaft des Äthers, sondern nur eine Eigenschaft unseres Auges. Auch vom Ohr wissen wir ja, daß es Luftwellen von sehr großer Länge einerseits und von sehr geringer Länge andererseits nicht mehr aufsaßt, daß diese keine Schallwellen insofern sind, als sie nicht

vom Ohre erkannt werden; aber Wellen genau derselben Art wie die Schallwellen sind sie deswegen doch. So werden wir auch vermuten dürfen, daß die Wellen, die wir als Farben sehen, nur ein gewisser Teil von allen möglichen Wellen sind, die im Äther erzeugt werden können. Und wenn wir versuchen, andere Wellen als die sichtbaren zu erzeugen und sie zu studieren, so werden wir, wenn uns das gelingt, sehen, daß das Licht, das uns zuerst als etwas ganz Besonderes entgegentritt, sich an bestimmter Stelle einreihet in die große Reihe der Naturerscheinungen und mit diesen zusammen eine Einheit höherer Ordnung bildet, und unsere Naturerkenntnis wird dadurch auf eine viel höhere Stufe gehoben werden.

Andeutungen dafür, daß es noch andere Wellen des Äthers gibt, als die sichtbaren, die Lichtwellen, fand zum erstenmal William Herschel, als er untersuchte, welche Wärmewirkung die einzelnen Farben des Spektrums zeigen. Daß das Licht erwärmend wirkt, ist eine so alte Erfahrung, daß sie jedermann geläufig ist. Offenbar kann aber ein Körper nur durch diejenigen Lichtstrahlen wärmer werden, welche er absorbiert, nicht durch diejenigen, welche er reflektiert oder durchläßt. Denn diese letzteren verlassen den Körper ja wieder ungeschwächt, können also keine Veränderung im Körper hervorgebracht haben. Nur das absorbierte Licht erzeugt Veränderungen in den Körpern. Da das Licht eine Bewegung ist, so enthält es, wie jede Bewegung, Energie und wenn also Licht in einem Körper absorbiert wird, also als Licht verschwindet, so geht die Energie des Lichts in den Körper über, der Körper bekommt einen Zuwachs von Energie und dieser äußert sich dadurch, daß der Körper wärmer wird. Die Erwärmung eines Körpers durch absorbiertes Licht hängt also direkt ab von der Energie der absorbierten Lichtstrahlen und die Frage, die sich Herschel stellte, war die, in welchem Verhältnis die Energie des Sonnenlichtes auf die verschiedenen Farben verteilt ist. Zu dem Zwecke brauchte er bloß ein Thermometer, dessen Quecksilbergeäß recht schmal gemacht und mit Ruß überzogen war, damit es alles auffallende Licht absorbiere, in die verschiedenen Farben des Spektrums zu halten und zu sehen, um wieviel es sich erwärmt. Die Antwort, die das Experiment gab, war überraschend. Im Violett und Blau stieg das Thermometer fast

gar nicht, im Grün begann es zu steigen, im Gelb stieg es mehr, im Rot noch mehr. Aber als das äußerste Rot bei der Linie *A* erreicht war und Herrschel das Thermometer noch weiter in den unbeleuchteten Raum daneben brachte, so zeigte es sich, daß es noch weiter stieg, bis zu einer bestimmten Stelle und dann noch weithin Erwärmungen anzeigte, die aber immer geringer wurden. Am deutlichsten wird dieses Verhalten aus der Fig. 77 hervorgehen. Dort sind die Grade, um die das Thermometer steigt, als Längen über der Linie *ZH* aufgetragen und die krumme Linie *ZSH* verbindet deren Endpunkte. Im Violett an der Stelle *H*, welche die Fraunhofersche Linie *H* darstellt, ist die Erwärmung Null, im Rot an der Stelle *A* ist sie durch die Linie *Aa* dargestellt, also sehr groß. Geht man aber im Spektrum über *A* hinaus ins Unsichtbare, so ist noch

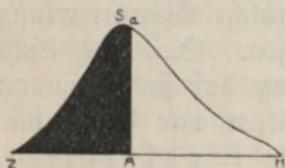


Fig. 77.

immer Erwärmung vorhanden, welche durch den schwarzen Teil der Figur dargestellt wird, und zwar kann man mit dem Thermometer bis *Z*, also nahezu um dieselbe Strecke, die das ganze sichtbare Spektrum beträgt, von *A* nach links hinarücken, ehe die Erwärmung unmerklich wird. Diese Beobachtung sagt also direkt aus, daß jenseits des Rot im Sonnenspektrum noch Strahlen vorhanden sind, die man nicht sieht, die sich aber durch ihre erwärmende Wirkung merklich machen. Man bezeichnet diese Strahlen als ultrarote Strahlen. Da die Wellenlängen der Strahlen vom Violett zum Rot zunehmen, so haben die ultraroten Strahlen also noch größere Wellenlängen als die roten, also größere als  $0,760 \mu$ . Nicht bloß im Sonnenspektrum sind solche dunkle Strahlen vorhanden, sondern auch im Spektrum des Bogenlichts, ja im Spektrum jedes warmen Körpers.

Man nennt diese Strahlen Wärmestrahlen. Wenn diese gleicher Art wie die Lichtstrahlen sind, so muß man auch dieselben Erscheinungen mit ihnen hervorbringen können, wie mit dem Licht, also insbesondere muß man sie reflektieren und brechen lassen können. Ich will Ihnen einige Experimente vorführen, welche zeigen, daß das tatsächlich leicht möglich ist, Experimente, die in dieser Anordnung von Prof. Tyndall herühren. So wie es Substanzen gibt, welche nur bestimmte sichtbare Farben durchlassen, die übrigen aber absorbieren,

nämlich alle farbigen Stoffe, so gibt es auch Substanzen, welche alle sichtbaren Strahlen absorbieren, aber die ultraroten, unsichtbaren durchlassen. Diese Stoffe müssen dem Auge schwarz erscheinen, weil sie eben alles sichtbare Licht absorbieren. Eine solche Substanz ist eine ganz konzentrierte Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff. Diese ist ganz schwarz; sie läßt auch von intensivem Sonnen- oder Bogenlicht nicht eine Spur hindurchgehen. Aber die unsichtbaren, ultraroten Strahlen läßt sie hindurch. Wenn man also eine Linse mit dieser Jodlösung füllt und in den Weg der Strahlen einer Bogenlampe stellt, so muß diese die Wärmestrahlen in einem Punkt konzentrieren und dort also eine starke erwärmende Wirkung hervorbringen, obwohl dieser Brennpunkt durchaus nicht erleuchtet ist. Wir wollen

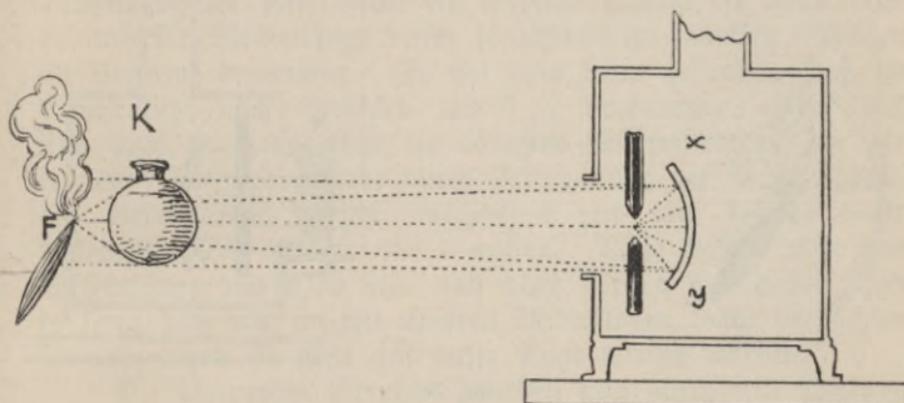


Fig. 78.

dieses Experiment anstellen (Fig. 78). Hinter die Spitzen der Kohlen unserer Bogenlampe ist in passender Entfernung ein versilberter Konkavspiegel  $xy$  aufgestellt, um die Strahlen parallel herauswerfen zu können. Linsen nämlich aus Glas kann man hierbei nicht gut anwenden, weil diese die ultraroten Strahlen zu stark absorbieren. Ich stelle nun eine Kugel  $K$ , mit Jodlösung gefüllt, in den Weg der Strahlen. Sie wirkt als Linse und vereinigt die Strahlen in einem Brennpunkt  $F$ . Wenn ich ein Streichholz an diese Stelle halte, so flammt es auf, eine Zigarre zündet sich hier in der Luft von selbst an, ein wenig Pulver, das ich an die Stelle des Brennpunktes bringe, brennt an und explodiert.

Durch dieses Experiment ist die Brechung der unsichtbaren

Wärmestrahlen durch die Linse bewiesen. Es ist auch zugleich schon die Reflexion der Strahlen an dem Silber Spiegel mit bewiesen. Um jedoch diese Reflexion ganz deutlich zu zeigen, will ich meiner Bogenlampe mit ihrem Silber Spiegel  $xy$  einen anderen Hohlspiegel (Fig. 79) gegenüberstellen. Dann kommen die Strahlen ziemlich parallel an diesem an und vereinigen sich nach der Reflexion im Brennpunkt  $F$ . In der That würden wir jetzt im Brennpunkt  $F$  ein Bild unserer leuchtenden Kohlen Spitze sehen. Nun aber stelle ich vor meine Lampe ein rechteckiges Gefäß  $N$  mit der dunklen Jodlösung. Jetzt geht kein Licht, sondern es gehen nur Wärmestrahlen hindurch und diese werden auch im Brennpunkt  $F$  vereinigt, den man aber jetzt nicht erleuchtet sieht. In der That sehen Sie, daß jetzt ebenso wie

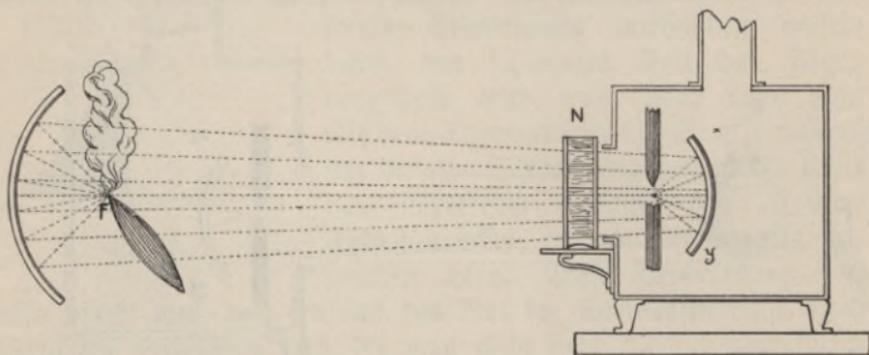


Fig. 79.

früher ein Streichholz bei  $F$  aufflammt, daß das Pulver explodiert und wie Sie sehen, kann ich ebenso wie früher in der Luft mir an dieser Stelle ohne Feuer eine Zigarre anzünden.

Wenn wir das Sonnenlicht durch ein Prisma gehen lassen und zu einem Spektrum ausbreiten und ein Thermometer in die einzelnen Farben bringen, wie Herschel getan hat, so erhalten wir also an den einzelnen Stellen des ultraroten Spektrums die Erwärmungen, wie sie durch Fig. 77 dargestellt sind. Wir können nun vermuten, daß es in dem ultraroten Teil des Spektrums auch dunkle Linien, Fraunhofer'sche Linien gibt, wie in dem sichtbaren Teil. An diesen Stellen würde also das Thermometer keine Erwärmung anzeigen, wohl aber an den unmittelbar benachbarten Stellen vorher und nachher. In- des ist ein Thermometer für diese Versuche nicht empfindlich

genug. Wenn man das ultrarote Spektrum recht ausdehnen will, wie es für solche Versuche notwendig ist, so beträgt die Erwärmung an dieser Stelle vielleicht nur 1 Hunderttausendstel bis 1 Millionstel eines Grades Celsius und solche geringe Erwärmungen kann das Thermometer nicht anzeigen. Es gibt aber andere Apparate, die Thermoelemente und die Bolometer, welche ich Ihnen hier, weil es zu weitläufig wäre, zwar nicht vorführen kann, welche aber auf solche außerordentlich kleine Wärmemengen schon reagieren. Mit solchen Apparaten hat man nun tatsächlich Fraunhofersche Linien auch im ultraroten Spektrum konstatiert, und man hat die stärksten mit Buchstaben X, Y, Z u. dergl. bezeichnet. Was dabei aber wichtig ist, das ist folgendes: Wenn man etwa das Spektrum durch ein Beugungsgitter statt durch ein Prisma erzeugt, so kann man dadurch die Wellenlänge dieser so bestimmten dunklen Streifen im Ultrarot bestimmen. So hat man leicht gefunden, daß im Sonnenlicht noch Strahlen bis  $5 \mu$  vorkommen. Aber das sind noch durchaus nicht die längsten Wärmestrahlen, die wir kennen. Vielmehr wurde durch Verfeinerung der Meßmethoden der Bereich noch weiter ausgedehnt und wir können heute Wärmestrahlen bis zu  $60 \mu$  messen. Diese haben also eine Wellenlänge von  $0,06 \text{ mm}$  und diese Wellen sind daher schon so lang, daß wir sie mit unseren Mikroskopen leicht beobachten könnten, wenn sie eben auf unser Auge wirken würden.

Die ultraroten Strahlen wurden also durch eine Wirkung des absorbierten Lichtes entdeckt, eben die Wärmewirkung. Nicht immer aber verwandelt sich die Energie des Lichtes, wenn es von einem Körper absorbiert wird, in Wärmeenergie. Wir wissen eine ganze Anzahl von Fällen, und sie spielen in der Natur sogar eine große Rolle, in denen das von einem Körper absorbierte Licht chemische Wirkungen hervorbringt. So ist es bekannt, daß, wenn man eine Mischung von Chlorgas und Wasserstoffgas dem Sonnenlicht aussetzt, daß dann eine plötzliche Explosion stattfindet, unter der sich die beiden Gase verbinden. Das ist eine chemische Verbindung, die durch das Licht hervorgerufen wird. Die ausgedehntesten chemischen Prozesse, die durch das Licht hervorgerufen werden, finden aber unter unseren Augen täglich bei den Pflanzen statt, in dem grünen Farbstoff der Pflanzen, den man Chlorophyll nennt. Dieses Chlorophyll nämlich hat die wunderbare Eigenschaft, daß es

unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen die Kohlenäure der Luft zerlegt und den Kohlenstoff in sich aufnimmt, den Sauerstoff aber in die Luft wieder entläßt. Durch diesen Prozeß nehmen einerseits die Pflanzen all den Kohlenstoff auf, den sie zum Aufbau ihres Körpers brauchen, andererseits reinigen sie die Luft von Kohlenäure und führen ihr den zum Leben und Atmen notwendigen Sauerstoff immer wieder zu. Diese Wirkung des Chlorophylls geschieht nur bei Beleuchtung und sie beruht auf der Absorption des Lichts, und da man aus dem Absorptionsspektrum des Chlorophylls sieht, daß es hauptsächlich die roten Strahlen absorbiert, so geschehen diese chemischen Prozesse auch hauptsächlich unter dem Einflusse der roten Strahlen.

Es gibt noch eine andere Reihe sehr wichtiger chemischer Wirkungen des Lichtes, welche die Grundlage für die heute so verbreitete und vervollkommnete Kunst der Photographie ist, nämlich die chemische Zerlegung der Silbersalze. Ich habe hier in einer schwarzen Flasche ein weißes Pulver, Chlor Silber, eine Verbindung von Chlor und Silber. Ich schütte ein wenig von dem Pulver auf eine Schale und setze es dem Licht der Bogenlampe aus. In sehr kurzer Zeit werden Sie das Pulver geschwärzt sehen. Die Schwärzung kommt daher, daß sich aus dem Salz das metallische Silber abgeschieden hat, es findet also eine chemische Zerlegung unter dem Einfluß des Lichtes statt. Sie kann nur dadurch zustande kommen, daß eben das Silber Salz die Lichtstrahlen absorbiert. So wie hier das Chlor Silber verhalten sich auch andere Silber Salze, insbesondere Jod Silber und Brom Silber. Diese Eigenschaft des Silbers, aus diesen Salzen sich auszuscheiden, wenn sie belichtet werden, benutzt man für die Photographie in folgender Weise: Die Silber Salze werden zum Zweck der Photographie auf Glasplatten oder auf Papier befestigt. Die Salze, gewöhnlich jetzt Brom Silber, werden mit Gelatine zu einer Emulsion verarbeitet, in welcher die Silber Salze sehr fein zerteilt sind und diese Brom Silber gelatine wird fabrikmäßig auf Glasplatten gegossen und trocknen gelassen. Diese Platten nennt man photographische Trockenplatten. Für photographische Papiere wird gewöhnlich Chlor Silber Salz angewendet, das entweder mit Albumin oder mit Kollodium oder mit Gelatine auf dem Papier befestigt ist. Diese Platten und Papiere müssen natürlich im Dunkeln aufbewahrt werden, da sie eben sonst geschwärzt

werden. Es ist mit Zuhilfenahme solcher photographischen Papiere nun leicht, einige Eigenschaften dieser chemischen Lichtwirkung zu zeigen. Ich befestige ein solches Papier in einem Rahmen und stelle vor die eine Hälfte desselben ein rotes, vor die andere ein blaues Glas, damit wir uns überzeugen können, welche Teile des Spektrums, im großen ganzen gesprochen, photographisch wirksam sind. Dieses so vorbereitete Papier setze ich nun eine Minute dem vollen Licht unserer Bogenlampe aus und Sie sehen das Resultat (Fig. 80). Diejenige Hälfte des Papiers, die unter dem roten Glas war, also nur rote Strahlen bekommen hat, ist ganz weiß geblieben, die andere Hälfte ist ganz schwarz geworden.

Es sind also die brechbareren, die blauen Strahlen hauptsächlich, die auf die Silbersalze wirken und aus unserem Experiment können wir nebenbei auch gleich die praktische Erfahrung entnehmen, daß wir in einem Raum, der mit rotem Licht erleuchtet ist, unsere Schachteln mit Trockenplatten oder photographischen Papieren ruhig öffnen dürfen. Das rote Licht wirkt nicht auf dieselben. Allerdings gilt dieser Satz nicht mit absoluter Sicherheit. Sehr lange Bestrahlung mit rotem Licht ist für die Platte ebenso verderblich, wie kurze Bestrahlung mit blauem.

Um nun aber genauer zu bestimmen, welche Strahlen des Spektrums photographisch wirksam sind, will ich jetzt auf ein großes photographisches Papier direkt durch ein Prisma ein Spektrum entwerfen. Dann können wir mit einem Blick übersehen, welche Stellen desselben geschwärzt werden. Der Versuch nimmt einige Zeit in Anspruch, weil ich hier die direkte Silberausscheidung auf dem Papier erzielen will, aber nach fünf Minuten können wir doch das Resultat schon sehen. Ich will die Zwischenzeit dazu benutzen, um auf dem Papier die Grenzen der einzelnen Farben ungefähr zu markieren, damit wir nachher wissen, in welchen Farben die Schwärzung eintrat.

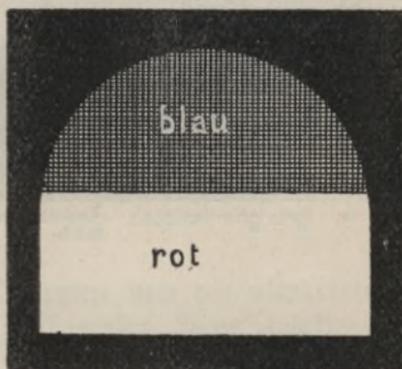


Fig. 80.

Das Resultat dieses Versuches sehen Sie in Fig. 81. Die Schwärzung beginnt erst merklich im Grün, sie wird stark im Blau und Violett, aber wir erkennen zu unserer Überraschung, daß sie noch weit über die Grenze hinausgeht, die das sichtbare Spektrum auf dem Papier hatte und die in der Figur durch einen längeren weißen Strich angemerkt ist.

Daraus ersehen wir also, daß es auch außerhalb des violetten Endes noch Strahlen im Spektrum gibt, welche sich uns hier durch ihre chemischen Wirkungen verraten haben. Diese nennt man ultraviolette Strahlen, oft auch, aber mit Unrecht, chemische Strahlen. Denn es sind nicht immer diese Strahlen, welche chemische Wirkungen hervorbringen. Beim

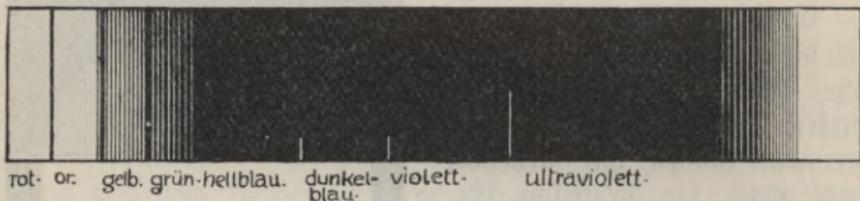


Fig. 81.

Chlorophyll sind es z. B., wie wir gesehen haben, gerade die roten Strahlen. Jedenfalls aber haben wir nun eine Ausdehnung des Spektrums nach beiden Seiten über die sichtbaren Grenzen hinaus ermittelt. Die ultravioletten Strahlen haben, wie aus ihrer Lage sich ergibt, kleinere Wellenlängen als  $0,390 \mu$ . Auch im ultravioletten Gebiet kommen Fraunhofer'sche Linien vor, wenn man Sonnenlicht anwendet und spektral zerlegt, und diese Linien zeigen sich sehr schön, wenn man das Spektrum photographiert. Die ultravioletten Strahlen werden aber durch Glas ziemlich stark absorbiert, dagegen werden sie durch Quarz recht gut durchgelassen. Ich habe deswegen bei dem eben angestellten Spektralversuch nicht ein Glasprisma, sondern ein Quarzprisma angewendet und werde das auch im folgenden immer tun, wenn ich mit den ultravioletten Strahlen operieren will. Die hauptsächlichsten Fraunhofer'schen Linien, die man im ultravioletten Teil des Sonnenspektrums beobachten kann, hat man mit den Buchstaben *L, M, N, O, P, Q, R, S* bezeichnet und Sie sehen hier in Fig. 82 die Lage dieser Linien im prismatischen Spektrum.

Der ultraviolette Teil des Spektrums sieht hier weit ausgedehnter aus, als der sichtbare. Aber wir sahen schon im sichtbaren Spektrum, daß am roten Ende die Farben eng zusammengedrängt, am violetten weit auseinander gedehnt sind und so ist auch der ultraviolette Teil besonders stark ausgedehnt. In der Tat aber hat die äußerste Wellenlänge, die man im Ultravioletten bestimmen konnte, nur den Wert  $0,18 \mu$ , ist also etwa die Hälfte der äußersten violetten bei *H*. Diese kleinen Wellen werden von allen Körpern, ja sogar von der Luft sehr leicht absorbiert, so daß es nur mit ganz besonders eingerichteten Apparaten, die im luftleeren Raum arbeiten, möglich ist, die Länge dieser Wellen zu messen.

So zeigt sich also das Gebiet der Strahlen nach beiden Seiten verlängert über das Spektrum der sichtbaren, farbigen

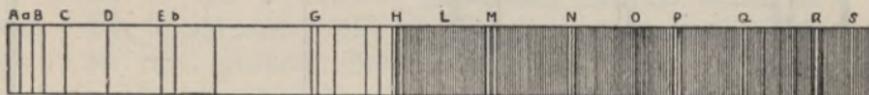


Fig. 82.

Strahlen hinaus. Wenn die ultraroten und die ultravioletten Strahlen sichtbar wären, also auf unser Auge wirkten, so würden viele Körper, die wir jetzt als schwarz bezeichnen, uns als farbig erscheinen. Denn die schwarzen Körper absorbieren alle sichtbaren Strahlen. Deswegen nennen wir sie eben schwarz. Aber von den unsichtbaren Strahlen im Ultrarot und Ultraviolett brauchen sie keinen zu absorbieren. Sie würden also im durchgelassenen oder im reflektierten Licht in der Farbe dieser nicht absorbierten Strahlen erscheinen und der Physiker muß sogar einen Stoßseufzer zum Himmel senden, daß diese Strahlen nicht sichtbar sind. Es wäre ihm das sehr erfreulich. Denn eine große Anzahl von Eigenschaften der Körper, eben gerade diejenigen, die sich auf die Absorption beziehen, die man jetzt nur durch mühsame Experimentaluntersuchungen konstatieren kann, würde man dann durch den bloßen Anblick erkennen.

Die Wirkungen des absorbierten Lichtes waren es, die uns in diesen beiden Fällen, als wir sie näher untersuchten, über die bekannten Erscheinungen hinausgeführt und uns Neues, nämlich die Verlängerung des Spektrums nach beiden Seiten hin, gelehrt haben. Wir werden naturgemäß fragen, ob es

nicht noch andere Wirkungen des absorbierten Lichtes gibt, als die Wärme und die chemischen Wirkungen, weil wir dadurch hoffen könnten, unsere Anschauungen noch mehr zu erweitern.

Beim Durchmustern aller Substanzen auf ihre optischen Eigenschaften hat man in der That eine Reihe von Stoffen gefunden, welche eigentümliche Erscheinungen anderer Art bieten, die auch auf der Wirkung des absorbierten Lichtes beruhen.

Ein erstes Beispiel für diese Körper bietet das Petroleum. Vielen von Ihnen wird schon einmal aufgefallen sein, daß das

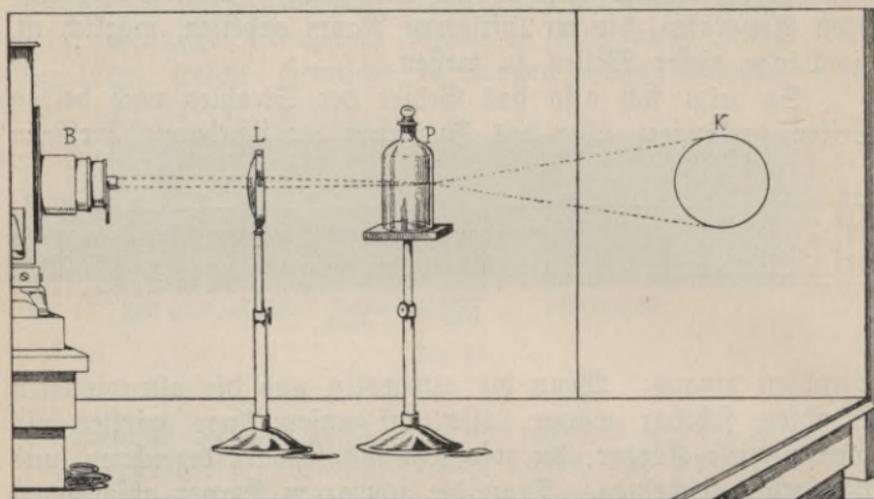


Fig. 83.

Petroleum, welches je nach seiner Reinheit wasserhell bis gelblich ist, hier und da einen schön blauen Schimmer zeigt. Wenn man das Petroleum in einer Flasche oder in dem Bassin der Lampen beobachtet, so erblickt man, nicht gerade beim Durchsehen, sondern häufig beim schiefen Daraufsehen, einen solchen blauen Schein, der aber nicht in der ganzen Masse des Petroleums vorhanden zu sein scheint. Worauf beruht diese Farbenerscheinung? Wir wollen sie mit unseren experimentellen Mitteln untersuchen, um ihre Eigenschaften genauer festzustellen. Ich setze also eine Flasche mit reinem, wasserhellem Petroleum *P* direkt vor meine Bogenlampe (Fig. 83) und lasse mittels der Linse *L* ein Bündel Strahlen durch dasselbe hindurchgehen. Sie werden alle bemerken, daß die Bahn, welche dieses Bündel Strahlen in dem Petroleum abzeichnet, blau gefärbt ist. Und

doch bitte ich Sie zu beobachten, daß das durchgelassene Licht, welches hinten auf dem Schirm das Bild *K* gibt, weiß ist. Würde das Petroleum blau erscheinen, weil es alle Strahlen außer Blau absorbiert, so würde das durchgelassene Licht, wie bei einem blauen Glase, blau erscheinen. Es erscheint aber weiß. Die blaue Färbung hat also einen anderen Grund. Wir sehen auch, daß nur da, wo das Strahlenbündel das Petroleum durchsetzt, die helle schöne blaue Färbung vorhanden ist, im ganzen übrigen Teil der Flasche ist das Petroleum wasserhell. Es macht ganz den Anschein, und ist auch in der That so, als ob das Petroleum da, wo es von dem weißen Licht getroffen wird, anfängt selbst zu leuchten und zwar in blauer Farbe. Wenn Sie genau beobachten, werden Sie erkennen, daß der blaue Strahlenweg am Anfang, beim Eintritt des Lichts in das Petroleum, glänzender ist, als beim Austritt. Es scheint also, als ob das eintretende weiße Licht, wenn es eine größere Strecke des Petroleums durchlaufen hat, nun schwächer die Eigenschaft hat, das blaue Leuchten zu erregen. Um das genauer zu konstatieren, haben wir ein einfaches Mittel. Ich stelle hinter unsere Flasche mit Petroleum eine zweite ganz gleiche, und schicke das Licht durch beide hindurch. Sie sehen in der That, daß der Strahlenweg in der ersten schön blau leuchtet, in der zweiten nicht. Also folgt, daß das durch die erste Flasche gegangene Licht die Fähigkeit verloren hat, dieses Leuchten zu erzeugen, und das weist darauf hin, daß von dem einfallenden Licht gewisse Strahlen im Petroleum absorbiert werden und daß diese es sind, welche das blaue Leuchten erzeugen. Wir werden das genauer untersuchen können, wenn wir das weiße Licht in seine Farben zerlegen und speziell untersuchen, welche Farben es sind, die dieses Leuchten hervorbringen. Bevor wir das aber tun, wollen wir uns zunächst noch nach anderen Körpern umschauen, welche diese Erscheinung ähnlich wie das Petroleum zeigen. Man nennt solche Körper fluoreszierende Körper. Die Bezeichnung kommt her von dem Kristall Flußpat (Fluorit), bei welchem sie zuerst beobachtet wurde. Dieser leuchtet auch schön blau, wenn er weiß bestrahlt wird. Man hat allmählich eine ganze Reihe von Stoffen gefunden, welche die Fluoreszenz zeigen und zwar sowohl feste, wie flüssige Stoffe. Ich habe hier eine Anzahl von solchen Substanzen und will sie Ihnen vorführen, wobei wir

immer die Farbe des Fluoreszenzlichtes zu unterscheiden haben von der Farbe des durchgelassenen Lichts. Der Weg des Strahlenbündels erscheint im Fluoreszenzlicht, dagegen hinten auf dem Schirm sehen Sie die Farbe des durchgelassenen Lichts, also die Eigenfarbe der Substanz. Ich stelle zuerst in den Strahl meiner Bogenlampe eine Lösung von Äskulin in Wasser. Ein paar Messerspitzen des Äskulins genügen, um einigen Litern Wasser die prachtvolle blaue Fluoreszenz zu geben. Eine Lösung von Eosin in Wasser fluoresziert gelbgrün, während die Lösung selbst im durchgelassenen oder auch im reflektierten Licht rosa erscheint. In konzentrierterer Lösung ist das Eosin sogar tiefer, die Fluoreszenz aber grüngelb. Die grüne Chlorophylllösung gibt blutrote Fluoreszenz, die blaue Lösung von Resorzinblau gibt hochrote Fluoreszenz.

Außer diesen Flüssigkeiten fluoreszieren eine Reihe von festen Körpern mehr oder minder intensiv, so insbesondere die Uransalze. Das Uran enthaltende Glas, Uranglas, zeigt auch deutlich Fluoreszenz, es ist ein grünes Glas, das gelb fluoresziert. Eine große Bedeutung hat in den letzten Jahren die Fluoreszenz des Baryumplatincyanürs gewonnen, deswegen, weil dieses Salz auch unter der Einwirkung der X-Strahlen sehr schön fluoresziert. Es werden jetzt gerade für diese Zwecke der Durchleuchtung mit X-Strahlen sogenannte Fluoreszenzschirme fabriziert, wie ich Ihnen hier einen zeige. Auf einem Karton, der hinten schwarz überzogen ist, ist das Baryumplatincyanür in ziemlich dicker und möglichst feinkörniger Schicht durch ein Bindemittel aufgetragen. Die Fluoreszenz desselben ist sehr hell, weiß mit einem Stich ins Grüne.

Dieser Schirm eignet sich nun ausgezeichnet dazu, die Wirkung der einzelnen Farben des Spektrums in bezug auf ihre Fluoreszenzerregung zu zeigen. Ich bringe einfach, durch ein Quarzprisma, das Spektrum auf den Schirm. Wir sehen, daß fast in der ganzen Ausdehnung des Spektrums der Schirm grünlich leuchtet, hauptsächlich aber sind es die blauen und violetten Strahlen, die die Fluoreszenz hervorbringen. Aber wir sehen weiter, daß das Leuchten des Schirmes weit ins Ultraviolette hinein reicht. Es sind also die ultravioletten Strahlen ebenfalls fluoreszenzerregend und sie sind es sogar meistens in besonderem Maße.

Um auch bei einer fluoreszierenden Flüssigkeit zu unter-

suchen, welche Strahlen hauptsächlich die Fluoreszenz erregen, nehme ich hier eine schmale lange Wanne, die mit Äskulinlösung gefüllt ist. Ich lasse das Spektrum auf sie fallen und wir sehen im blauen und violetten Teil des Spektrums und weit darüber hinaus im Ultravioletten das blaue Fluoreszenzlicht erscheinen, welches uns die Spektralfarben zum Teil verdeckt.

Aus diesen Versuchen erkennen wir nun erstens, daß die Fluoreszenz eine Erscheinung ganz besonderer Art ist. In den fluoreszierenden Körpern wird nämlich Licht einer Art in Licht anderer Art umgewandelt. Wenn ein solcher Körper bestrahlt wird, so absorbiert er gewisse Farben. Diese erzeugen aber nicht Wärme in ihm oder eine chemische Wirkung, sondern sie regen die kleinsten Teile des Körpers an, selbst so lebhaft zu schwingen, daß sie Licht aussenden können. Das ist die Auffassung, die man sich von der Fluoreszenz allmählich gebildet hat. Nicht alle Strahlen bringen einen Körper zum Fluoreszieren, sondern eben nur gerade diejenigen, die er absorbiert. Wir haben den Beweis vorhin an unseren beiden Flaschen mit Petroleum gehabt. Die wirksamen Strahlen des weißen Lichtes waren in der ersten Flasche absorbiert und hatten dort die Fluoreszenz hervorgebracht. In die zweite Flasche kamen keine wirksamen Strahlen mehr hinein und deshalb war auch in ihr keine Fluoreszenz zu merken.

Die Fluoreszenz wird hauptsächlich von ultravioletten Strahlen erregt. Die meisten Körper absorbieren diese und daher gibt es auch viele, welche unter ihrem Einfluß fluoreszieren. Aber manche Körper fluoreszieren auch unter andersfarbigem Licht, z. B. die Lösung des Pflanzenchlorophylls fluoresziert sehr schön rot unter dem Einfluß roten Lichtes, welches es absorbiert.

Lichtquellen, welche viel ultraviolette Strahlen enthalten, können daher hauptsächlich Fluoreszenz erwecken. Eine solche Lichtquelle sind die bei dem Durchgang des elektrischen Stromes leuchtenden Gase, wie man sie in den sogenannten Geißlerschen Röhren seit langer Zeit leicht erzeugt. Die starke Fluoreszenzerregung dieser schwach leuchtenden Luft kann man dadurch schön und bequem sichtbar machen, daß man in die Röhre selbst an einzelnen Stellen Stücke von fluoreszierendem Glase einfügt. So ist hier in der Geißlerschen Röhre Fig. 84 die Spirale aus Uranglas, welches grün, und die Kugeln oben und

unten sind aus englischem Glas, welches blau fluoresziert, gefertigt, und Sie sehen, daß, sowie das Gas leuchtet, die beiden Gläser auch in ihrer eigenen Farbe hell fluoreszieren.

Sie werden durch die Experimente vorhin mit dem Fluoreszenzschirm und mit der Äskulinlösung schon von selbst auf den Gedanken gekommen sein, daß es mit solchen fluoreszierenden Substanzen möglich ist, das ultraviolette Licht selbst zu sehen, oder eigentlich nicht dieses Licht selbst, da das Fluoreszenzlicht ja schon eine Umwandlung desselben ist, aber doch

jedenfalls den Bereich zu erkennen, innerhalb dessen ultraviolettes Licht im Spektrum vorhanden ist. So können wir mit unserem Fluoreszenzschirm z. B. leicht erkennen, daß der Quarz viel mehr ultraviolette Strahlen hindurchläßt, als das Glas. Denn wenn ich das Spektrum einmal durch ein Glasprisma mit Glaslinse, das andere Mal durch ein Quarzprisma mit Quarzlinse auf den Schirm werfe, so sehen Sie, daß im letzteren Fall die Fluoreszenzerregung viel weiter geht, daß der ultraviolette Teil etwa dreimal so ausgedehnt ist, wie im ersteren.

Es ist auch klar, daß es so möglich sein muß, etwaige Fraunhofer'sche Linien, die im Sonnenlicht im ultravioletten Gebiet existieren, für das bloße Auge sichtbar zu machen. Denn entwerfe ich ein Sonnenspektrum mittels Quarzprisma und Quarzlinse auf unseren Fluoreszenzschirm, was ich aber leider

hier wieder wegen der Abendstunde nicht tun kann, so muß der Schirm überall ins Fluoreszieren kommen, wo er von erregendem Licht getroffen wird. Da aber, wo im Sonnenlicht Fraunhofer'sche Linien vorhanden sind, fehlt ja Licht, und diese Stellen müssen sich also auf dem Schirm als dunkle Linien auf dem hell fluoreszierenden Grund abbilden. In der Tat kann man auf diese Weise, ebenso wie mittels der Photographie die dunklen Linien des Sonnenspektrums im Ultraviolett direkt sehen.

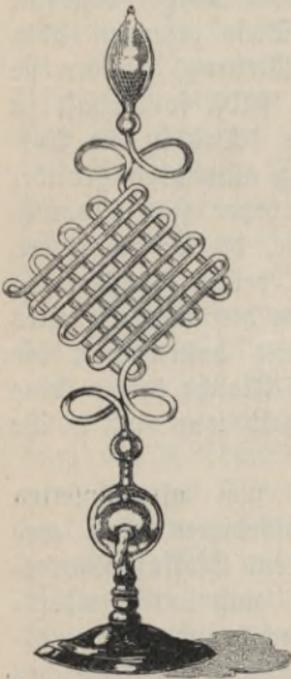


Fig. 84.

Diese Tatsache gibt uns wieder einmal einen Beweis dafür, wie die systematische Verfolgung von Beobachtungen uns immer neue Mittel an die Hand gibt, die Natur gründlicher und besser zu studieren und zu erkennen.

Nur ganz flüchtig möchte ich an diese Fluoreszenz-erscheinungen anschließen, daß es gewisse Körper gibt, die auch wie die fluoreszierenden durch auffallendes Licht angeregt werden, so daß sie selbst eigenes Licht aussenden, bei denen aber dieses eigene Leuchten auch noch anhält, wenn auch das erregende Licht schon ausgeschaltet ist. Solche Körper nennt man phosphoreszierende Körper und den bekanntesten von ihnen, die Balmainische Leuchtfarbe, wendet die Industrie zum Bestreichen von Zifferblättern, Leuchtern usw. an, um diese in der Nacht zum Leuchten zu bringen. Ich habe hier einen Karton, der mit dieser Leuchtfarbe angestrichen ist. Ich setze ihn dem vollen Licht der Bogenlampe eine halbe Minute aus, wobei ich aber, um einen Teil des phosphoreszierenden Körpers vor der Bestrahlung zu schützen, meine Hand mit ausgebreiteten Fingern darüber lege. Nach der Belichtung sehen Sie jetzt im Dunkeln den ganzen Karton schön blauviolett leuchten, und Sie sehen auf diesem hellen Grunde das schwarze Bild meiner Hand, zum Beweis, daß es nur die beleuchteten Teile sind, welche phosphoreszieren. Außer dieser Balmainischen Leuchtfarbe sind es eine Reihe von Schwefelverbindungen des Kalziums, Strontiums, Bariums, und gewisse Zinkblenden, welche diese Phosphoreszenz gut und in verschiedenen Farben zeigen.

Die Ursache der Phosphoreszenz wie die der Fluoreszenz ist die, daß durch die eindringenden Lichtwellen die kleinsten Teilchen der betreffenden Körper selbst zum Schwingen, zum Aussenden von Wellen veranlaßt werden. Ein jedes Molekül eines Körpers macht, wenn es angeregt wird, nur bestimmte Schwingungen, je nach seiner Größe und Form. Ganz so wie eine Stimmgabel von bestimmter Größe nur eine bestimmte Schallschwingung mit bestimmter Periode macht, so macht auch ein Molekül, wenn es angeregt wird, nur Schwingungen von einer bestimmten oder einer begrenzten Anzahl von bestimmten Perioden, sendet also Wellen von bestimmten Farben aus, die das Fluoreszenz- und Phosphoreszenzlicht bilden. Sind die Widerstände, die sich durch die Anordnung der Moleküle im Körper diesen Schwingungen entgegensetzen, groß, so kann das

Molekül nur, solange es angeregt wird, solange es von außen durch das auffallende Licht, durch die ankommende Wellenbewegung, immer wieder angestoßen wird, schwingen. Hören diese Stöße von außen auf, so vernichten die Widerstände des Körpers die Eigenschwingungen des Moleküls, das Leuchten hört auf. Ein solcher Körper fluoresziert. Sind aber umgekehrt die Widerstände, die sich den Eigenschwingungen der Moleküle entgegensetzen, sehr klein oder sind gar keine solchen Widerstände vorhanden, so wird ein einmal angeregtes Molekül sehr lange, im letzteren Fall sogar beliebig lange seine Schwingungen fortführen können, also noch leuchten, auch wenn die Bestrahlung aufgehört hat: ein solcher Körper phosphoresziert.

Sie sehen, daß in dieser Auffassung der Unterschied zwischen Fluoreszenz und Phosphoreszenz nur ein gradueller, quantitativer ist. Bei dem einen Körper hören die Moleküle vielleicht schon in einer Millionstel Sekunde nach der Bestrahlung auf zu schwingen, bei einem anderen in einer Tausendstel, bei einem dritten in einer Sekunde und bei einem vierten in einer Stunde. Das macht für die Erscheinung viel aus und ist doch bloß stufenweise verschieden.

Aber von unserem jetzigen Standpunkt aus können wir sogar uns klarmachen, worauf die verschiedenen Wirkungen des absorbierten Lichtes, die wir kennen gelernt haben, und worauf die Absorption selbst beruht. Wir sahen, daß in den meisten Fällen durch Absorption Wärme entsteht, in anderen chemische Wirkungen, und endlich jetzt Lichtwirkungen, nämlich Fluoreszenz- und Phosphoreszenzercheinungen. Wir werden, so wie im letzten Fall, so allgemein in allen Fällen annehmen müssen, daß wenn eine Lichtbewegung auf einen Körper fällt, der einen Teil derselben absorbiert, daß dieses absorbierte Licht immer zu der Bewegung der Moleküle verbraucht wird, oder vielmehr umgekehrt, daß nur deswegen Licht absorbiert wird, Lichtenergie verschwindet, weil eben die Moleküle selbst durch die ankommenden Schwingungen in Bewegung geraten. Diese Bewegungen werden zunächst im allgemeinen unregelmäßige sein, jedes Molekül wird, wenn es anfängt sich zu bewegen, bald an seine Nachbarmoleküle anstoßen, zurückprallen, in anderer Richtung sich bewegen, also kurz eine ganz unregelmäßige Bewegung ausführen. Solche Bewegungen aber zeigen sich uns als Wärme an. Bei diesen Körpern, und das sind die

meisten, wird also die Lichtabsorption nur Wärme erzeugen. Bei anderen Körpern, mit passend gelagerten und beschaffenen Molekülen, wird die Bewegung eine regelmäßig periodische werden und das sind die eben besprochenen fluoreszierenden und phosphoreszierenden Körper. Endlich bei manchen Körpern, wie den Silbersalzen, die aus zusammengesetzten Molekülen bestehen, ist die Möglichkeit vorhanden, daß einer der beiden Bestandteile des Moleküls, das Chlor oder das Silber, durch die Wellen in eine heftigere Bewegung kommt, als der andere. Dann wird die Möglichkeit vorliegen, daß das Molekül zerfällt, wie wir es tatsächlich beobachten. Wenn ein Stück Holz und ein Stück Papier dicht nebeneinander auf dem Wasser liegen und es kommen Wellen von passender Länge an, die die beiden schwimmenden Körper ergreifen, so wird ebenfalls nach einiger Zeit das Papier und das Holz einen gewissen Abstand voneinander haben, weil sie eben den Wellen ungleich folgen. Das dürfte ein rohes Bild für die Zerlegung der Silbersalze sein.

Aber aus diesem Bilde kann man doch noch einen Umstand entnehmen, der bei dieser Zerlegung eine bedeutende und gerade für die praktische Photographie besonders wichtige Rolle spielt. Damit das Silber aus einem Silbersalz sich vollständig ausscheidet, dazu gehört eine ziemlich lange Einwirkung des Lichtes, wie Sie auch aus den Experimenten vorhin gesehen haben. Aber aus unserem Bilde geht die Möglichkeit hervor — und diese zeigt sich tatsächlich erfüllt —, daß eine kurze Einwirkung des Lichtes zwar das Silber noch nicht zum Ausschneiden bringt, aber doch einen gewissen, etwas größeren als den normalen Abstand zwischen dem Silber und dem Chlor oder Brom hervorbringt, oder allgemeiner gesprochen, um nicht gar zu bestimmte Behauptungen über Dinge auszusagen, die wir nicht sehen können, daß eine kurze Einwirkung des Lichtes eine gewisse Modifikation in den vom Lichte getroffenen Silbersalzmolekülen erzeugt, die nicht im gewöhnlichen, unbelichteten Silber vorhanden ist. In der That nämlich sind solche Erscheinungen gefunden worden und diese haben die praktische Anwendung der Photographie wesentlich revolutioniert. Es hat sich nämlich gezeigt, daß wenn ein solches Silbersalz, Chlor-, Brom- oder Jodsilber, auch nur ganz kurze Zeit vom Licht getroffen war, kleine Bruchteile einer Sekunde, so daß eine wirkliche Ausscheidung von Silber durchaus nicht zu erkennen

war, daß dieses Salz sich doch anders als unbelichtetes erwies. Übergießt man nämlich solches belichtetes Salz mit einer Flüssigkeit, die, wie die Chemiker sagen, reduzierend wirkt, so scheidet sich nun aus ihm das Silber pulverförmig aus. Auf unbelichtetes Silbersalz aber wirken diese reduzierenden Mittel nicht. Solche reduzierende Mittel hat man allmählich in großer Zahl für die photographische Praxis geeignet hergestellt. Das meist benutzte und namentlich für die erste praktische Betätigung in der Photographie geeignete ist das sogenannte Hydrochinon. Aber es gibt eine große Anzahl anderer, Amidol, Pyrogallussäure, Eisenoxalat, Rodinal usw., welche zum Teil sogar Vorzüge vor dem Hydrochinon haben. Man kann also belichtetes und unbelichtetes Silbersalz sofort dadurch unterscheiden, daß man sie mit einer von diesen Substanzen, die man Entwickler nennt, übergießt. Ganz unbelichtetes Salz bleibt in ihnen weiß, belichtetes, auch wenn die Belichtungszeit sehr kurz war, färbt sich infolge der Silberausscheidung nach einiger Zeit — eine halbe bis fünf Minuten und länger — schwarz.

Daß diese Entdeckung einen großen Einfluß auf die Entwicklung der Photographie haben mußte, ist von vornherein einzusehen. Denn nun hatte man ein Mittel, um schon bei sehr kurzer Belichtung, oder wie man es nennt, bei sehr kurzer Exposition, die nicht ausreicht, das Silbersalz zu zersetzen, doch Bilder zu erhalten.

Die Art und Weise, wie die Photographie in ihren Hauptzügen heute gehandhabt wird, ergibt sich nun eigentlich von selbst. Die photographische Platte ist jetzt fast durchgängig eine Trockenplatte, d. h. eine Glasplatte von bestimmter Größe, welche mit einer Schicht des Silbersalzes bedeckt und käuflich im Handel zu haben ist. Die meisten Platten enthalten Bromsilbergelatine. Statt auf Glas bringt man häufig auch die wirksame Schicht auf dünnen Membranen von Zelluloid oder Gelatine auf und bezeichnet diese als Films, die ebenfalls fabrikmäßig hergestellt werden. Diese haben den Vorzug, daß sie sich rollen lassen, und sie eignen sich daher besonders für solche Apparate, welche leicht tragbar sein sollen und einen geringen Raum einnehmen sollen. Die so vielfach verbreiteten Kodaks und Claks haben ihre Vorzüge zum Teil gerade durch die Anwendung von Films anstatt von Platten erlangt.

Die photographische Platte muß nun erstens vom Lichte verschont bleiben, solange man sie nicht benutzt, und darf dann, wenn sie verwendet wird, nur von denjenigen Lichtstrahlen getroffen werden, die von dem zu photographierenden Objekt ausgehen. Deswegen wird die Platte, solange sie nicht benutzt wird, in schwarzen Kartons aufbewahrt, und wenn sie benutzt werden soll, so wird sie dicht an die Rückwand eines dunklen Kastens, der Camera, gebracht. Die Camera enthält vorn eine Linse oder ein Linsensystem, das sogenannte Objektiv, durch welches die von jedem Punkt des zu photographierenden Objekts ausgehenden Strahlen gerade auf derjenigen Stelle der Camera, an der die Platte sich befindet, ein Bild dieses Punktes erzeugen. Dadurch erhält man also von jedem äußeren Gegenstand, auf den man die Linse vorher eingestellt hat, an der betreffenden Stelle ein scharfes Bild. Um immer ein Bild gerade da zu erzeugen, wo die Platte hingebracht worden ist, sowohl von näheren als von entfernteren Objekten, verstellt man bei tragbaren (Hand-)Cameras gewöhnlich die Linse, bei feststehenden (Stativ-)Cameras verschiebt man die Hinterwand des Kastens. Die Linsen müssen für photographische Zwecke besondere, ziemlich schwierig zu erreichende Eigenschaften besitzen, und es hat gerade der Aufschwung der Photographie für die Technik der Linsenherstellung und -berechnung, sowie auch umgekehrt der Fortschritt in der Optik der Linsen auf die Photographie sehr befruchtend gewirkt.

Nachdem also das Objekt, die Linse und die photographische Platte, welche letztere bis dahin noch gewöhnlich durch einen aufrollbaren Deckel verschlossen ist, in die richtigen Abstände gebracht sind, setzt man nun die Platte den Lichtstrahlen, die von dem Objekt ausgehen, aus, indem man einen beweglichen Verschluss der Linse öffnet und (bei Rollkassetten) vorher den Deckel aufrollt. Wie lange die Platte dem Licht zu exponieren ist, das hängt von der Helligkeit des Lichtes ab, von dem der Körper beleuchtet ist. Es lassen sich schon Bilder bei einhundertstel Sekunde Exposition herstellen, während bei sehr schwacher Beleuchtung mehrere Minuten notwendig sind.

Die so belichtete Platte ist nun scheinbar nicht verändert. Wenn man sie bei rotem Licht, welches, wie wir wissen, den Platten nicht schädlich ist, betrachtet, so erscheint sie ebenso weiß, wie eine noch nicht belichtete Platte. Bringt man sie aber

nun in den Entwickler, den man in einer Schale sich vorbereitet hat und läßt sie eine Zeitlang darin, so scheidet sich nun an den belichteten Stellen das Silber aus und es erscheinen diejenigen Stellen, welche am hellsten beleuchtet waren, schwarz, diejenigen, welche nicht beleuchtet waren, weiß. Es ist also ein negatives Bild erzeugt worden. Dieses Bild darf man aber noch nicht an das Licht bringen. Denn an den nicht belichteten Stellen ist ja noch das Bromsilber vorhanden, welches dann auch wieder zersetzt würde. Vielmehr ist es zunächst notwendig, das unzersetzte Bromsilber aufzulösen und fortzuschaffen. Dazu dient das sogenannte Fixierbad, eine Lösung von unterschwefligsaurem Natron, welche die Silbersalze löst.

Nun kann das Negativ an das Tageslicht gebracht werden. Es muß aber noch gewaschen werden, um alles Fixiersalz zu entfernen, und dann getrocknet werden. Um nun von diesem Negativ ein Bild in der richtigen Verteilung von Hell und Dunkel, also ein Positiv, zu erzeugen, und zwar gewöhnlich auf Papier, hat man die photographischen Papiere, welche ebenfalls mit einer dünnen Schicht eines Silbersalzes, gewöhnlich von Chlor Silber, versehen sind. Das Papier wird mit seiner Schichtseite unter das Negativ gebracht und das Ganze dem Licht ausgesetzt. Dann erscheint nach einiger Zeit das positive Bild auf dem Papier, welches nun noch ebenso wie das Negativ fixiert und gewaschen wird. Gewöhnlich gibt man dem Bild noch durch ein Goldbad einen schöneren Ton. Bei anderen Papieren exponiert man nicht so lange, bis ein Bild erscheint, sondern exponiert vielmehr das Papier unter dem Negativ nur sehr kurze Zeit, auch bei Lampenlicht, und entwickelt dann das Bild in Hydrochinon oder dergl. ganz wie das Negativ.

Will man positive Photographien auf einen Schirm projizieren, so muß man sogenannte Diapositive davon herstellen, das sind Positive auf Glas statt auf Papier. Es wird dann eben ein Negativ über eine Trockenplatte aus Glas gelegt und das Ganze belichtet und sonst in derselben Weise weiterbehandelt.

Die Photographie, wie sie hier beschrieben wurde, gibt bekanntlich nur die Helligkeitsabstufungen der Objekte wieder, nicht die Farben. Und auch die Helligkeiten gibt sie zunächst nicht in richtiger Art. Denn da die Silbersalze für rotes Licht unempfindlich sind, wie wir gesehen haben, für blaues aber sehr

empfindlich, so ist das Negativ am meisten geschwärzt da, wo blaues Licht aufgefallen ist, am wenigsten da, wo rotes Licht aufgefallen ist. Infolgedessen ist umgekehrt das Positiv am hellsten in den blauen, am dunkelsten in den roten Teilen des Objektes. Man hat aber jetzt auch Platten, welche für die meisten Farben, auch nach dem Rot hin, gut empfindlich sind. Diese werden dadurch hergestellt, daß man dem Silberfalsz Stoffe beimengt, welche die grünen, gelben und roten Strahlen absorbieren. Da, wo Absorption stattfindet, findet auch chemische Umwandlung statt. So bekommt man mit derartigen orthochromatischen Platten, wie man sie nennt, die Helligkeitsabstufungen auch bei verschiedenen Farben richtig.

Das Ideal der Photographie aber ist seit langer Zeit die Herstellung von Bildern in natürlichen Farben, nicht durch künstliche Bemalung, sondern selbsttätig durch das Licht selbst. Dieses Ideal ist bekanntlich nicht erreicht. Man sieht auch bisher keinen rechten Weg ein, wie man es machen soll, daß ein roter Strahl, der auf die Platte fällt, gerade rote Färbung erzeugt, ein grüner grüne, ein blauer blaue. Und doch ist auf eine sehr geniale Weise das Licht gezwungen worden, gerade diese Funktionen zu übernehmen. Wenn auch diese Methode der farbigen Photographie, die nach ihrem Entdecker die Lippmannsche heißt, praktisch nicht von Bedeutung geworden ist, so ist sie doch wissenschaftlich von solchem Interesse, daß ich ihre Grundzüge Ihnen mitteilen und verständlich machen möchte.

Die Lippmannsche Methode ist eigentlich ein Triumph der Wellentheorie des Lichtes, sie führt uns gewissermaßen die Lichtwellen sichtbar vor unser Auge. Bei den gewöhnlichen Wasserwellen nämlich und bei den Schallwellen ist es sehr leicht, sogenannte stehende Wellen zu beobachten. Diese entstehen immer dadurch, daß eine Welle in einem Medium bis zu dessen Grenze hinläuft und von dort aus reflektiert wird und auf demselben Wege zurückläuft. Zwei solche Wellenbewegungen sind in Fig. 85 gezeichnet. Von *A* aus möge die punktiert gezeichnete Welle nach der Wand *W* hinlaufen, und von der Wand möge die gestrichelt gezeichnete Welle von derselben Länge zurücklaufen. An den Stellen *C*, *B*, *D* heben sich die beiden entgegengesetzten Bewegungen immer auf. Diese Punkte bleiben daher dauernd in Ruhe, während an den Stellen *E*, *F*, *G*, *H* immer die größte Bewegung herrscht. Das ganze

schwingende System teilt sich daher an den Stellen *C, B, D* in Abschnitte ein, welche für sich hin und her schwingen. Eine solche Welle bezeichnet man als stehende Welle. Die in Ruhe bleibenden Stellen *C, B, D* nennt man die Knoten, die Stellen der größten Bewegung *E, F, G, H* die Bäuche der stehenden Welle. Ich möchte Ihnen eine solche stehende Welle, die aber immer nur dann zustande kommt, wenn zwei gleichartige Wellen in entgegengesetzter Richtung gegeneinander laufen, experimentell vorführen. Zu diesem Zwecke habe ich hier (Fig. 86) an dem Klöppel *K* einer elektrischen Klingel einen Faden befestigt, der mit seinem anderen Ende *W* an einem Stativ befestigt ist. Wenn ich den Faden ziemlich, aber nicht zu stark spanne, und die Klingel durch einen elektrischen Strom von dem Element *E*

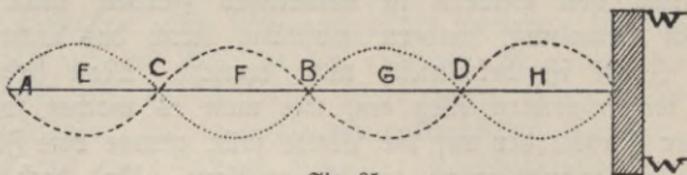


Fig. 85.

in Bewegung setze, so wird der Faden in hin- und hergehende Bewegung versetzt, es läuft eine Welle den Faden entlang bis zum Stativ, wird dort reflektiert und kehrt auf demselben Weg zurück, indem sie mit der ankommenden eine stehende Wellenbewegung bildet. Sie sehen, namentlich wenn ich den schwingenden Faden mit dem Licht der Bogenlampe beleuchte, deutlich die Abteilungen, in denen der Faden schwingt. Die Stellen *B, C, D* sind die Knoten. Da diese Stellen in Ruhe sind, so kann ich sie mit einem Stab berühren, ohne die Wellenbewegung zu stören, während, wenn ich einen Bauch berühre, die ganze Bewegung sofort verändert wird.

Solche stehenden Wellen führen alle unsere musikalischen Instrumente aus. Jede Violine- oder Klavier- saite, die angeschlagen wird, macht stehende Wellen, indem zu der durch das Anschlagen oder das Anstreichen erregten Welle eine entgegenlaufende von den Befestigungspunkten der Saite sich überlagert. Jede angeblasene Pflöfe, jede Trompete, jede Posaune enthält stehende Schwingungen der Luftsäulen, die in ihnen sich befinden, jede Trommel, die geschlagen wird, tönt infolge der stehenden Schwingungen des Kalbfelles.

Beim Licht waren solche stehenden Wellen lange nicht bekannt gewesen. Wenn aber das Licht eine Wellenbewegung ist, so müssen sie auch beim Licht erzeugt werden können und zwar dann, wenn ein Lichtstrahl gegen eine Wand läuft, von der er genau in derselben Richtung reflektiert wird. Also wenn ein Lichtstrahl oder wenn ein Bündel Lichtstrahlen senkrecht auf einen ganz ebenen Spiegel fällt, so muß es zusammen mit dem reflektierten Bündel den Äther in stehende Schwingungen versetzen. In der That ließ sich diese Folgerung nachweisen.

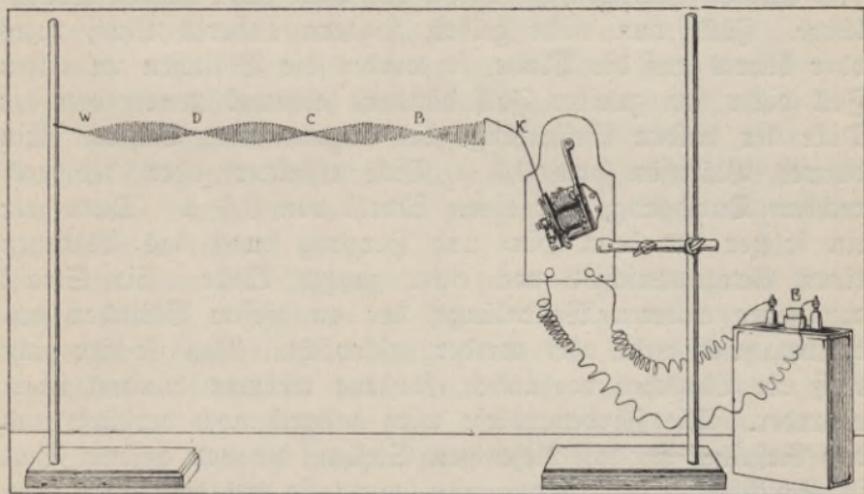


Fig. 86.

Die Anwendung nun, die Lippmann davon gemacht hat, ist überraschend. Er ließ nämlich solche stehenden Wellen innerhalb der Schicht einer photographischen Platte entstehen. Er brachte eine photographische Platte mit sehr gleichmäßiger und dünner Schicht in eine Camera, die so eingerichtet war, daß die Glasseite der Platte auf Quecksilber lag, so daß sie dadurch außerordentlich gut reflektierend gemacht wurde. Fällt nun ein Lichtstrahl, z. B. ein gelber, senkrecht auf die Platte, so durchdringt er die Schicht und wird an der Rückwand reflektiert. Es geht also der reflektierte Strahl rückwärts durch die Schicht und bildet mit dem einfallenden Strahl stehende Lichtwellen. In diesen sind nun Knoten und Bäuche vorhanden. An den Knoten gibt es keine Lichtbewegung, folglich kann dort das Silberfalz nicht zerlegt werden, an den Bäuchen aber ist die

lebhafteste Wellenbewegung vorhanden, folglich muß dort sich Silber ausscheiden. Auf die ganze Dicke der Schicht muß also immer abwechselnd eine Schicht unzersehten Salzes und eine Schicht Silber folgen. Da die Wellenlänge des gelben Lichts ungefähr  $0,6 \mu$  ist, und da jeder Bauch von einem nächsten um eine halbe Wellenlänge entfernt ist, so folgen also zwei Silberschichten aufeinander im Abstand von  $0,3 \mu$  und zwei unzersehte Schichten ebenfalls in demselben Abstand. Das Licht zerteilt also die ganze photographische Schicht in eine Reihe von dünnen Blättchen, jedes von der Dicke einer halben Wellenlänge. Fällt nun nicht gelbes, sondern anderes Licht, rotes oder blaues auf die Platte, so werden die Blättchen im ersten Fall dicker, im zweiten Fall dünner, jedesmal genau von der Dicke der halben Wellenlänge des angewendeten Lichtes. Ein dünnes Blättchen von  $0,3 \mu$  Dicke reflektiert aber, bei senkrechtem Durchgang, nur einen Strahl von  $0,6 \mu$ . Denn nur ein solcher hat beim Hin- und Hergang durch das Blättchen einen Gangunterschied von einer ganzen Welle. Ein Strahl von jeder anderen Wellenlänge, der an diesem Blättchen ankommt, wird mehr oder minder geschwächt. Nun ist hier nicht bloß ein Blättchen vorhanden, sondern mehrere hundert übereinander. Die Farbensauslese wird dadurch noch verstärkt und das Resultat ist, daß diejenigen Stellen, die von gelbem Licht in Schichten zerlegt waren, nun, wenn sie mit beliebigem, also weißem Licht beleuchtet werden, nur die gelben Strahlen zurückwerfen, also gelb erscheinen. Ebenso müssen die vorher durch rotes Licht in Schichten geteilten Stellen, wenn man sie ansieht, also in reflektiertem Licht, nun rot erscheinen und so fort.

Die Farbenphotographie ist damit prinzipiell gefunden. In der That, als Lippmann auf eine so angeordnete photographische Platte ein Sonnenspektrum brachte, so zeigte die Platte, nachdem sie in gewöhnlicher Weise entwickelt, fixiert, gewaschen und getrocknet war, das Bild des Sonnenspektrums in den natürlichen Farben. Auch andere farbige Gegenstände wurden in gleicher Weise fixiert. Aber so interessant und wichtig auch dieses Verfahren ist, so sieht man doch, daß es praktisch das Problem der Farbenphotographie nicht löst. Denn das Verfahren muß versagen bei Mischfarben, welche nicht eine bestimmte Wellenlänge, sondern mehrere aussenden, und die Farben, die die Gegenstände der Natur oder Kunst zeigen,

sind durchgängig Mischfarben. In der That wird das Lippmannsche Verfahren bisher auch kaum praktisch benutzt.

Man ist, um Photographien in natürlichen Farben erscheinen zu lassen, immer noch auf Surrogate angewiesen, man muß künstliche Färbung zu Hilfe nehmen, um sie darzustellen, wobei man aber allerdings die Photographie selbst dazu benutzen kann, um anzugeben, welche Farben zu Hilfe genommen werden sollen. Ein solches Verfahren, um Photographien in nahezu natürlichen Farben zu projizieren, möchte ich Ihnen hier vorsehen. Es dient uns dazu der Farbenmischungsapparat, den wir in der zweiten Vorlesung besprochen haben (S. 43). Dort hatte ich Ihnen gezeigt, daß durch drei passend ausgewählte Gläser oder Gelatineblättchen, ein rotes, ein grünes und ein blaues, erstens durch Zusammenmischen aller drei Farben Weiß und zweitens durch je zwei Farben noch Violett, Gelb und Blaugrün, also im ganzen eine Skala von sieben Farbentönen erzeugt wird.

Um nun die Photographie eines Gegenstandes in natürlichen Farben projizieren zu können, macht man von diesem Gegenstand hintereinander oder gleichzeitig drei photographische Aufnahmen, jedoch so, daß man bei der ersten das rote Glas, bei der zweiten das grüne, bei der dritten das blaue vor das Objektiv der Camera bringt. Man erhält so drei Photographien des Gegenstandes, von denen man darauf je ein Diapositiv macht. Diese drei Photographien ebenso wie die drei Diapositive werden sich nun in den Helligkeitsabstufungen unterscheiden. Wo z. B. der Gegenstand, der photographiert wurde, blau gefärbt war, da entstand bei der dritten Photographie, unter blauem Glas, ein kräftiger Silber Niederschlag, bei der unter dem grünen Glas, welches auch etwas Blau durchläßt, ein schwacher, bei der unter dem roten Glas gar kein Niederschlag. Von den entsprechenden Diapositiven ist also das erste dann an dieser Stelle ganz hell, das zweite etwas dunkel, das dritte ganz schwarz. Ebenso müssen rote Partien des Gegenstandes auf dem ersten Diapositiv hell, auf dem dritten dunkel erscheinen usw. Ich zeige Ihnen hier drei so aufgenommene Photographien nebeneinander in einem Rahmen (Fig. 87). Sie sehen z. B. links an dem Obstkorb den Apfel ziemlich hell, da, wo er durch die rote Platte aufgenommen wurde, rechts, wo die blaue Platte war, ist er ziemlich dunkel.



Blau.

Grün.

Roth.

Fig. 87

Ich bringe nun diese drei Diapositive in unseren Farbenmischungsapparat und sende das Licht der Bogenlampe durch sie hindurch. Vor jedes derselben stelle ich dieselbe Glasplatte auf, durch die es aufgenommen war. Wenn ich nun die drei Projektionsbilder durch das Zusammenschieben der drei Kammern des Apparates übereinanderbringe, so erscheint das Bild, wie Sie sehen, nahezu in den natürlichen Farben. Denn es bildet sich je eine von den drei Grundfarben ab, oder es bildet sich die Mischung je zweier durch Addition, oder es kommt endlich durch Addition aller drei Farben Weiß hervor. Wenn ich die drei Bilder zuerst durch Auseinanderschieben der drei Abteilungen des Projektionskastens getrennt projiziere, so sehen Sie ein rotes, ein grünes und ein blaues Bild. Schiebe ich nun aber die drei Kästen zusammen, so daß sich die Projektionen übereinander lagern, so

erhalten Sie ein Bild des Korbes mit den Früchten nahezu in den natürlichen Farben. Nur nahezu; denn wenn ich den Korb wirklich daneben stellen würde, so würden Sie erkennen, daß die farbige Photographie nur eine ganz rohe Nachbildung der Wirklichkeit ist. Und verwundern kann das nicht. Die Natur arbeitet ja mit den unendlich vielen Farbentönen, die im Spektrum enthalten sind. Sie mischt aus allen diesen jede beliebige Farbennuance zusammen, während wir hier aus drei bestimmten, schon gemischten Farben alle anderen zusammensetzen wollen. Es ist eher zu verwundern, daß man mit den drei Farben schon so viel erreichen kann.

Noch auf eine andere Art kann man durch drei Farben eine ziemlich gute Reproduktion einer Photographie in Farben erhalten. Diese zweite Methode, die ich Ihnen zeigen will, ist von dem Engländer Joly angegeben. Bei dieser wird der Gegenstand nur einmal photographiert, aber es wird vor das Objektiv eine Glasplatte gesetzt, auf welcher dicht nebeneinander immer abwechselnd eine blaue, eine grüne und eine rote Linie mit bestimmter durchlässiger Farbe gezogen sind. Der Effekt dieser Aufnahmeplatte ist der, daß rote Stellen des Objekts da, wo sie auf die Platte durch die Linse projiziert werden, nur durch die rote Linie hindurch schwärzend wirken, blaue durch die blaue usw. Man erhält also ein Negativ, welches von Strichen durchzogen ist. Jeder Strich ist in seinem Verlauf bald hell, bald dunkel, je nachdem die betreffende Stelle des Objektes Licht ausstrahlte, das von ihm absorbiert oder durchgelassen wurde. Von dieser Aufnahme macht man nun wieder ein Diapositiv, welches natürlich ebenfalls von Strichen durchzogen ist, die ebenfalls in ihrem Verlauf bald heller bald dunkler sind, aber jetzt so, daß die hellen Stellen den vorher dunklen entsprechen und umgekehrt. Ich projiziere Ihnen so das Diapositiv eines Papageis (Fig. 88). Um nun diesen Papagei in den natürlichen Farben zu projizieren, brauche ich bloß wieder eine ebensolche farbig gestrichelte Platte vor ihn zu setzen. Es erscheinen dann an den betreffenden Stellen immer die drei Farben in den passenden Nuancen dicht nebeneinander und das Auge bildet von ihnen die Mischung durch Addition. In der That sehen Sie den lebhaft gefärbten Papagei in glänzenden, natürlichen Farben erscheinen.

Sind diese Darstellungen auch bloß Surrogate für die

wirkliche Abbildung in natürlichen Farben, so haben diese Methoden doch in manchen Fällen ihre Bedeutung, z. B. bei Reisen, um die natürlichen Farben von Gegenständen, Tieren, Pflanzen usw. zu fixieren, daß sie später wieder projiziert werden können. Eine einzige Aufnahme mit der Solyschen Platte genügt dafür.

Wir haben uns jetzt ein wenig auf das praktische Gebiet begeben, wir haben einige Anwendungen des Lichtes besprochen. Es ist Zeit, daß wir im nächsten Vortrag wieder zu unseren wissenschaftlichen Untersuchungen zurückkehren.



Fig. 88.

## Sechste Vorlesung.

### Transversale Wellen. Doppelbrechung. Drehung. Elektrische Wellen.

Es dürfte scheinen, als ob wir in unseren bisherigen Vorlesungen eigentlich alles behandelt hätten, was das Licht uns zeigt. In der That werden wir kaum irgendeine optische Erscheinung direkt beobachten können, die sich nicht durch unser bisheriges Wissen erklären ließe, die sich nicht auf das eine oder andere der von uns behandelten Phänomene zurückführen ließe. Und ebenso dürfte es scheinen, als ob mit der Zurückführung aller optischen Vorgänge auf die Wellenbewegung des Äthers, die wir immer bis ins einzelne bestätigt gefunden haben, auch theoretisch uns nichts mehr zu tun übrigbliebe. Und doch ist das nicht der Fall. Vielmehr haben wir in beiden Richtungen, sowohl in bezug auf neue Erscheinungen, wie auch in bezug auf die Wellentheorie, noch wichtige Vertiefungen und Erweiterungen unserer Kenntnisse und Anschauungen vorzunehmen.

Ich sagte vorhin, daß wohl alle Lichterscheinungen, die uns aufstoßen, die wir rings um uns beobachten, durch unsere bisherigen Betrachtungen erklärt seien. Das ist auch im allgemeinen richtig. Aber wenn Sie zufällig ein Stück Kalkspat, sogenannten Doppelspat in die Hand bekommen, und durch diesen hindurchsehen würden, werden Sie ebenso erstaunt sein, wie der Mönch Erasmus Bartholinus es war, da Sie etwas ganz Neues, Unerwartetes beobachten.

Ich habe hier (Fig. 89) ein Stück eines solchen Kalkspats, wie er natürlich vorkommt. Es ist eine wasserhelle Platte eines Kristalls. Nun, wenn Sie diese Platte auf ein Stück Papier legen, auf dem Buchstaben geschrieben oder gedruckt sind, so

werden Sie finden, daß Sie jeden Buchstaben durch den Kristall doppelt sehen, auch wenn Sie Antialkoholiker sind. Ich will Ihnen dies durch Projektion sichtbar machen. Ich habe hier auf eine photographische Platte, auf ein Diapositiv, die Buchstaben A bis N photographiert. Ich entwerfe von diesem Diapositiv durch eine Linse ein scharfes Bild auf dem Schirm, so daß Sie die Buchstaben deutlich sehen können. Und nun halte ich meine Kristallplatte vor die Schrift. Sie sehen sofort an dem Schirm, daß sich die bedeckten Buchstaben verdoppeln, daß Sie die ganze Schrift doppelt sehen, wenn auch die beiden Bilder zum Teil sich übereinander lagern. Das ist eine Erscheinung, die wir nach dem uns bisher



Fig. 89.

Bekanntes nicht vorhersehen konnten. Es wird jeder in den Kristall eintretende Lichtstrahl nicht wie bei jedem andern durchsichtigen Körper bloß in seiner Richtung abgelenkt, gebrochen, sondern er wird in zwei Strahlen zerteilt, von denen jeder im Kristall einen anderen Weg durchläuft, so daß sie beim Ausreten aus dem Kristall, und auch schon in diesem selbst, mehr oder minder getrennt sind. Diese Er-

scheinung nennt man Doppelbrechung des Lichtes. Nicht bloß der Kalkspat zeigt sie, sondern eine große Anzahl anderer Kristalle. Aber am stärksten ist sie eben beim Kalkspat, wo sie auch zuerst von dem oben erwähnten Mönch entdeckt wurde. Da wir nun aber für gewöhnlich nicht die Welt durch Kalkspatstücke oder andere Kristalle anschauen, so konnte ich sagen, daß alles, was wir normal beobachten, erklärt sei. Diese Erscheinung aber ist neu und unerklärt. Sie kann aber nur durch seltenen Zufall oder durch Absicht von uns beobachtet werden.

Und gerade mit dieser neuen Erscheinung hängt nun auch eine Frage zusammen, die bei unserer Wellentheorie noch nicht besprochen worden ist, die aber, wenn wir ganz genaue Kenntnis der Natur uns verschaffen wollen, doch erledigt werden muß. Wir haben uns zwar überzeugt, daß das Licht in einer Wellenbewegung des Äthers sich fortpflanzt, daß die einzelnen vom Licht getroffenen Ätherteilchen hin und her schwingen, aber dabei ist noch, wenn wir genau sein wollen, ein Fragezeichen

unerledigt. Es gibt nämlich zwei verschiedene Arten, wie die Teilchen eines Körpers hin und her schwingen, wenn diese Schwingungen sich wellenförmig durch den Körper fortpflanzen. Nehmen wir als erstes Beispiel einen Teich, in dem wir durch einen hineingeworfenen Stein Wellen an der Oberfläche erregt haben. Jedes Wasserteilchen bewegt sich dabei auf und nieder, zunächst die direkt vom Stein getroffenen, dann die weiter entfernten. Die Bewegung jedes einzelnen Teilchens geschieht also in der vertikalen Richtung, auf und nieder. Die Welle aber pflanzt sich von dem Ausgangspunkt längs der ganzen Oberfläche des Teiches fort, also in horizontaler Richtung. Die Bewegung jedes einzelnen Teilchens ist also senkrecht auf der Richtung, in welcher die Welle fortschreitet. Eine solche Wellenbewegung nennt man eine transversale.

Nehmen wir dagegen einen Glasstab, wie denjenigen in Fig. 90, den ich in der Mitte halte und an einem

Ende durch ein Tuch oder mit den Fingern reibe. Sie hören einen sehr hellen, schreienden Ton. Wir wissen, daß sich längs des Glasstabes und dann weiter in der Luft eine Wellenbewegung ausbreitet. Durch das Reiben versetze ich die Glasteilchen in Schwingungen, die hin und her gehen, wie meine Hand beim Reiben, also in der Richtung des Glasstabes. Und in derselben Richtung pflanzt sich auch die Welle in dem Glasstab fort. Hier haben also die Schwingungen jedes Teilchens dieselbe Richtung, wie diejenige ist, in der die Wellenbewegung, der Schall, sich im Stabe fortpflanzt. Eine solche Wellenbewegung nennt man eine Longitudinale.

Ein berühmter Physiker hat einmal folgendes nette Bild für diese beiden Arten von Wellen und ihre Fortpflanzung gebraucht. Es sei eine große Menschenmenge vor einem Schloß versammelt, aus dem der König herauskommen will. Sowie er erscheint, lüften die nächsten Reihen ihren Hut und dieses Hutabnehmen pflanzt sich durch die Menschenmasse nach hinten



Fig. 90.

fort, wenn die hinten Stehenden den König nicht selbst erblicken können, sondern bloß aus dem Hutabnehmen der Vorderen schließen, daß er herausgekommen ist. Die Richtung, in der dieses Hutabnehmen stattfindet, geht also von vorn nach hinten, d. h. in einer horizontalen Richtung. Wenn nun jeder einzelne seinen Hut senkrecht vom Kopf in die Höhe heben und dann wieder aufsetzen würde, so hätten wir eine transversale Welle. Denn die Bewegung jedes Hutes findet senkrecht statt zu der Richtung, in der das Hutabnehmen sich fortpflanzt. Wenn aber, was man allerdings nicht tut, ein jeder zum Zeichen des Grusses seinen Hut nach vorn zum König hin bewegen und dann wieder zurücknehmen würde, so wäre diese Bewegung longitudinal, weil die Bewegung jedes Hutes in derselben Richtung stattfindet, in der das Hutabnehmen sich fortpflanzt.

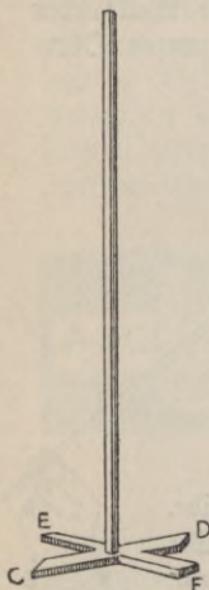


Fig. 91.

Da es also zwei verschiedene Arten von Wellenbewegungen, transversale und longitudinale, gibt, so ist offenbar unsere wissenschaftliche Einsicht in das Wesen des Lichtes noch nicht vollständig. Wir wissen zwar, daß das Licht eine Wellenbewegung ist, aber wir könnten mit unseren bisherigen Erfahrungen die Gewissensfrage, ob das Licht aus transversalen oder aus longitudinalen Wellen besteht, nicht beantworten. Unsere Interferenzerscheinungen, aus denen wir auf die Wellennatur des Lichtes geschlossen haben, sind auch ganz unabhängig davon, ob der Äther transversal oder longitudinal schwingt, sie hängen nur ab von der Länge der Wellen und dem Gangunterschied, nicht von der Richtung der Schwingungen.

Auf welche Weise aber könnten wir zwischen einer transversalen und einer longitudinalen Bewegung unterscheiden? An diesem Stab (Fig. 91) können wir dies untersuchen. Wenn der Stab die Richtung darstellt, in der sich eine Welle fortpflanzt, so würde also bei einer longitudinalen Bewegung jedes Teilchen in der Richtung des Stabes oszillieren und rings um den Stab herum würden sich alle Richtungen, z. B. *CD* oder *EF*, ganz gleich verhalten. Wenn aber in dem Stab eine transversale Wellenbewegung stattfindet, wie es z. B. Fig. 92

darstellt, wo die durch den Stab in der Richtung  $CD$  gesteckten Kugeln die Lage der einzelnen Theilchen bei den Schwingungen repräsentieren sollen, so ist das anders. Hier merkt man offenbar in der Richtung  $CD$  die Schwingungen, in der Richtung  $EF$  aber nicht. Es könnten die Theilchen in dem Stab in der Richtung  $EF$  schwingen, dann würde man in der Richtung  $CD$  nichts davon merken. Kurz, wenn bei transversaler Wellenbewegung in der einen Richtung, die senkrecht zum Strahl ist, die Schwingungen stattfinden, so merkt man in der darauf senkrechten nichts davon. Was wir aus diesem Bild entnehmen wollen, ist bloß folgendes: Bei einer longitudinalen Wellenbewegung sind alle Richtungen um den Stab herum gleichwertig, bei einer transversalen Bewegung aber verhalten sich die verschiedenen Richtungen verschieden. Ersetzen wir jetzt unseren Stab durch einen Lichtstrahl, so werden wir sagen können: Ist das Licht eine longitudinale Bewegung, so ist an einem Lichtstrahl keine Seite von der andern, keine Richtung von der andern zu unterscheiden. Ist es aber eine transversale Bewegung, so kann sich die eine Richtung, nämlich diejenige, nach der die Schwingungen stattfinden, anders verhalten, als die senkrecht darauf stehende, kurz, es werden dann vielleicht an dem Lichtstrahl Verschiedenheiten nach verschiedenen Richtungen zu erkennen sein.

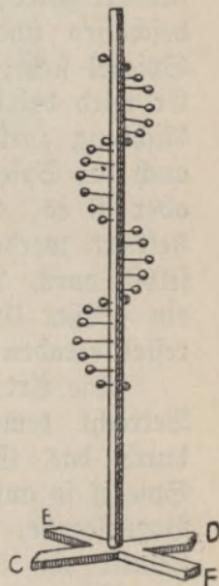


Fig. 92.

Nun, wir haben bisher nichts bemerkt, was darauf schließen lassen könnte, daß um einen Lichtstrahl herum die verschiedenen Richtungen sich nicht ganz genau gleich verhalten. Infolgedessen dürften wir geneigt sein, das Licht für eine longitudinale Wellenbewegung zu halten, wie es der Schall auch ist. Und doch wäre das leichtsinnig geschlossen. Ein transversaler Lichtstrahl muß nicht, er kann bloß eine, wie man es nennen kann, Seitlichkeit zeigen. Ein negatives Ergebnis würde nichts beweisen, aber wenn wir positive Anzeichen hätten, daß unter Umständen ein Lichtstrahl eine Verschiedenheit nach verschiedenen Richtungen zeigt, dann allerdings würde das auch ein positiver Beweis für die Transversalität der Schwingungen sein.

So seltsam es klingt, es läßt sich tatsächlich am Licht

unter bestimmten Umständen zeigen, daß die verschiedenen Seiten um einen Strahl herum sich nicht gleich, sondern verschieden verhalten. Die Entdeckung dieser Eigenschaft des Lichtes war eine zufällige. Wir verdanken sie einem französischen Forscher Malus. Dieser beobachtete nämlich, daß ein Lichtstrahl, wenn er bereits einmal von einem Spiegel reflektiert wurde, sich anders verhält, wie ein gewöhnlicher Lichtstrahl. Bei einem gewöhnlichen Lichtstrahl, der auf einen Spiegel fällt und reflektiert wird, ist der reflektierte Strahl immer genau gleich beschaffen und insbesondere immer gleich hell, wie auch der Spiegel steht, wenn nur der Einfallswinkel immer derselbe ist. Er wird bei anderer Stellung des Spiegels nach einer anderen Richtung zurückgeworfen, aber das reflektierte Licht zeigt, wie auch der Spiegel steht, immer dieselbe Helligkeit. Ganz anders aber ist es, wie Malus fand, wenn der Lichtstrahl, der reflektiert werden soll, schon einmal reflektiert war, wenn er selbst durch Reflexion entstanden ist. In diesem Falle tritt ein großer Unterschied ein, je nach der Richtung des zweiten reflektierenden Spiegels.

Die Art dieses Unterschiedes und überhaupt die hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse werden Ihnen am besten durch das Experiment klar werden. Ich stelle hier einen Spiegel so auf (wie in Fig. 11, S. 11), daß das Licht meiner Bogenlampe, wenn es durch den Spalt gegangen ist, einen Winkel von  $55^\circ$  etwa mit der Normale des Spiegels bildet. Die Normale ist durch den Zeiger am Spiegel gekennzeichnet. Ich drehe den Spiegel so, daß seine Normale sich um den einfallenden Lichtstrahl im Kreise dreht. Dann bildet der einfallende Strahl mit der Normale immer denselben Winkel, bloß die Richtung der Normale im Raume ist verschieden und daher fällt auch der reflektierte Lichtstrahl auf andere Punkte der Wände oder Decke, aber er bleibt immer gleich hell. Dasselbe Experiment will ich aber jetzt so anstellen, daß ich erst den Lichtstrahl meiner Bogenlampe von einem Spiegel reflektieren lasse und diesen reflektierten Strahl dann auf einen zweiten Spiegel werfe, dessen Normale ich ebenso drehen kann, wie ich es eben getan habe. Dazu dient mir der Apparat Fig. 93. Das Licht der Bogenlampe, das durch ein rundes Loch *B* gegangen ist, wird zunächst auf den ersten Spiegel *T* geleitet, so daß es auf diesen unter dem Winkel von  $55^\circ$

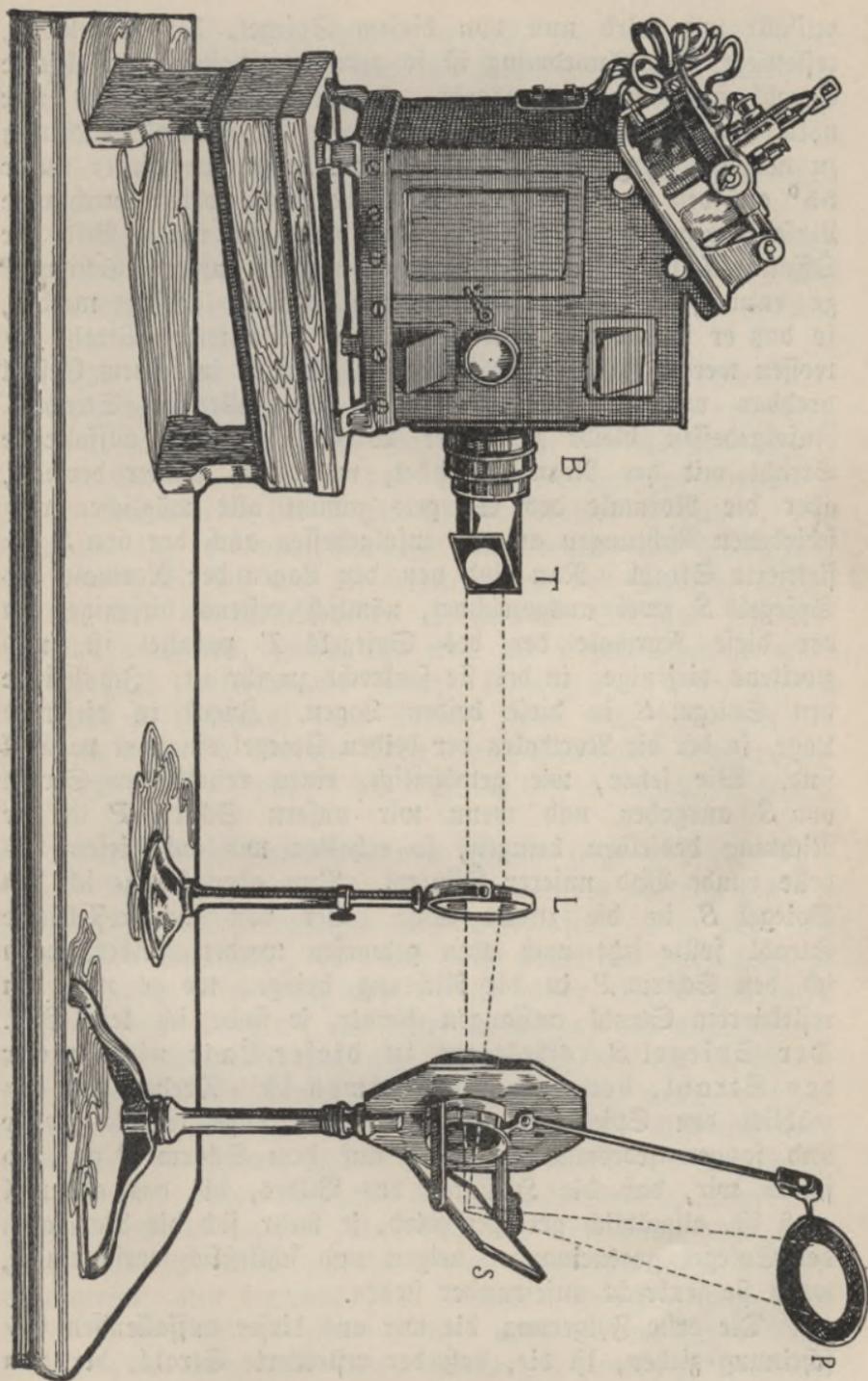


Fig. 93.

auffällt und wird nun von diesem Spiegel, der fest bleibt, reflektiert. Die Anordnung ist so getroffen, daß der reflektierte Strahl horizontal hinausgeht. Zu dem Zweck war es nur nötig, den Spiegel  $T$  unter  $55^\circ$  gegen die vertikale Richtung zu neigen. Der heraustretende Strahl trifft nun wieder unter  $55^\circ$  auf den zweiten Spiegel  $S$ , nachdem er vorher durch eine Linse  $L$  gegangen ist, die nur dazu dient, ein reelles Bild der Öffnung  $B$  in passender Entfernung, nämlich auf dem Schirm  $P$  zu entwerfen. Dieser Schirm kann beliebig gedreht werden, so daß er immer von dem nun (an  $S$ ) reflektierten Strahl getroffen werden kann. Der Spiegel  $S$  aber ist in seinem Gestell drehbar um die Richtung des auf ihn fallenden Strahles. Infolgedessen bleibt zwar der Winkel, den der auffallende Strahl mit der Normale bildet, wie oben, immer derselbe, aber die Normale des Spiegels nimmt alle möglichen verschiedenen Richtungen an und infolgedessen auch der von  $S$  reflektierte Strahl. Nun sind von den Lagen der Normale des Spiegels  $S$  zwei ausgezeichnet, nämlich erstens diejenige, in der diese Normale der des Spiegels  $T$  parallel ist, und zweitens diejenige, in der sie senkrecht zu ihr ist. Ich bringe den Spiegel  $S$  in diese beiden Lagen. Zuerst in diejenige Lage, in der die Normalen der beiden Spiegel einander parallel sind. Wir sehen, wie gewöhnlich, einen reflektierten Strahl von  $S$  ausgehen und wenn wir unsern Schirm  $P$  in die Richtung desselben bringen, so erhalten wir auf diesem das helle runde Bild unserer Öffnung. Nun aber bringe ich den Spiegel  $S$  in die zweite Lage. Der von ihm reflektierte Strahl sollte jetzt nach oben geworfen werden. Aber, wenn ich den Schirm  $P$  in die Richtung bringe, wo er nun den reflektierten Strahl auffangen könnte, so finde ich kein Bild. Der Spiegel  $S$  reflektiert in dieser Lage nicht mehr den Strahl, der von  $T$  gekommen ist. Drehen wir allmählich den Spiegel  $S$  aus der ersten Lage in die zweite und fangen jedesmal das Bild auf dem Schirm  $P$  auf, so finden wir, daß die Helligkeit des Bildes, die das erstemal groß ist, allmählich geringer wird, je mehr sich die Normalen der Spiegel gegeneinander neigen und schließlich verschwindet, wenn sie senkrecht aufeinander stehen.

Die erste Folgerung, die wir aus dieser auffallenden Erscheinung ziehen, ist die, daß der reflektierte Strahl, der von

*T* ausging, sich ganz anders verhält, wie ein gewöhnlicher Lichtstrahl. Ich will übrigens bei dieser Gelegenheit bemerken, daß die Spiegel, die man zu diesen Zwecken braucht, nicht aus Metall bestehen, auch nicht metallbelegt sein dürfen, sondern daß sie bloß aus Glas, am besten aus schwarzem Glas bestehen müssen.

Um diese Folgerung kurz zu präzisieren, wollen wir den reflektierten Strahl polarisiert nennen. Das soll jetzt nur eine kurze Bezeichnung dafür sein, daß er sich anders verhält, wie ein natürlicher.

Die zweite Folgerung aber ist diese: Der polarisierte Strahl, der auf *S* gefallen ist, wird anders von *S* reflektiert, mit anderer Intensität, je nach der Lage der Normale von *S* zu dem Strahl. Wenn in dem Strahl Bewegungen vorhanden wären, die nur in der Richtung des Strahles verlaufen, also longitudinale, so könnte die Lage der Normale des Spiegels *S* gar keinen Einfluß auf die Eigenschaften des Strahles haben. Wenn aber die verschiedenen Seiten des Strahles sich verschieden verhalten, wenn also etwa die Ätherteilchen in einer Richtung *A* (senkrecht zum Strahl) schwingen, in einer andern Richtung *B* (senkrecht zum Strahl) aber nicht schwingen, so wird es natürlich für das Licht einen Unterschied machen, ob die Normale des Spiegels die Richtung von *A* oder die Richtung von *B* hat.

Kurz, diese Entdeckung von Malus zeigt uns sicher an, daß in dem reflektierten Strahl, den wir als polarisierten bezeichneten, die Schwingungen transversale sind. Nun aber, ein natürlicher Lichtstrahl, der noch nicht reflektiert war, zeigt ja die Malus'sche Erscheinung nicht. Sollte dieser etwa longitudinale Schwingungen besitzen? Es wäre sonderbar, das anzunehmen, und die Annahme ist auch gar nicht nötig, daß ein Lichtstrahl eine total andere Bewegung enthalten solle, wenn er schon reflektiert ist oder wenn er es noch nicht ist. Um uns kurz ausdrücken zu können, wollen wir einen natürlichen Lichtstrahl, der sich also anders verhält, als ein polarisierter, einen unpolarisierten nennen. Nun liegt die Auffassung nahe, daß zwar auch in einem unpolarisierten Lichtstrahl alle Teilchen transversal, also senkrecht zum Strahle schwingen, daß aber, da es ja senkrecht zu einem Strahl noch alle möglichen Richtungen gibt, keine von diesen Richtungen bevorzugt ist. Die

Schwingungsrichtung aller Teilchen eines unpolarisierten Strahles ist zwar immer senkrecht zum Strahl, aber kann für jedes Teilchen eine andere sein. Dagegen für einen polarisierten Lichtstrahl würden alle Teilchen in Reih und Glied, wie ein Regiment Soldaten marschiert, nach derselben Richtung schwingen.

Diese Betrachtungen erscheinen etwas schwierig, sind es aber im Grunde nicht. Experimentell namentlich ist es leicht, schon nach unseren bisherigen Kenntnissen, polarisiertes Licht von unpolarisiertem zu unterscheiden. Wir brauchen bloß den zweiten Spiegel unseres Apparates von Fig. 93, also überhaupt einen Glasspiegel anzuwenden. Lassen wir einen Lichtstrahl

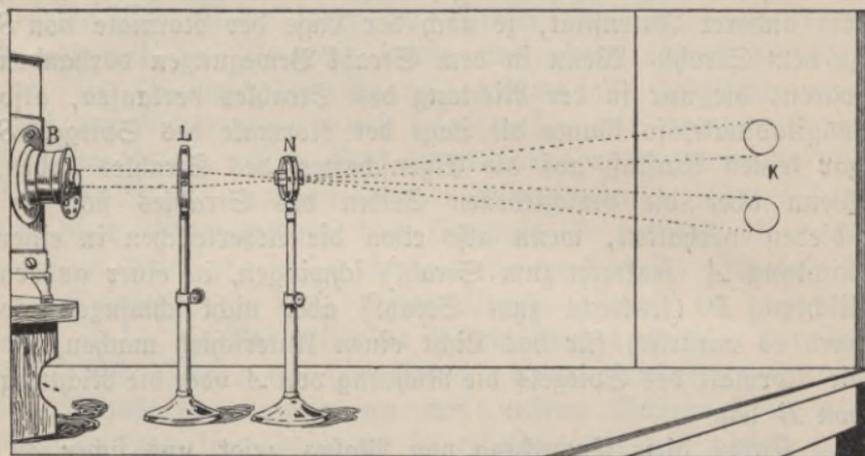


Fig. 94.

unter  $55^{\circ}$  auf diesen fallen und drehen wir den Spiegel um den Lichtstrahl, so können nur zwei Fälle eintreten. Entweder das reflektierte Licht ändert seine Stärke beim Drehen des Spiegels, dann war das auffallende Licht polarisiert, oder es ändert seine Stärke nicht, dann war es unpolarisiert.

Nun sind wir so weit, daß wir den Zusammenhang zwischen unserer theoretischen Frage über die Transversalität des Lichtes und der Entdeckung von Bartholinus am Doppelspat rasch finden können. Wenn ein Lichtstrahl auf den Doppelspat fiel, so wurde er doppelt gebrochen, es kamen aus dem Doppelspat zwei getrennte Strahlenbündel heraus. Ich lasse z. B. ein kreisförmiges Strahlenbündel (Fig. 94) aus dem Loch unserer Lampe B auf den Doppelspat N fallen, nachdem ich es durch

eine Linse  $S$  habe gehen lassen und Sie sehen die zwei Strahlenwege in der Luft und die beiden Bilder  $K$  unseres Lochs auf dem Schirm. Das auf den Kalkspat auffallende Licht ist natürliches, unpolarisiertes. Die beiden gebrochenen Strahlen aber, die aus dem Kalkspat herauskommen, sind polarisiert. Denn wenn ich meinen Spiegel aus Fig. 93 in den einen oder den andern der beiden Strahlenwege stelle, so bekomme ich jedesmal bei bestimmter Stellung desselben ein Verschwinden des reflektierten Strahles. Daraus folgt also: Aus natürlichem Licht wird bei dem Durchgang durch einen solchen Kalkspat polarisiertes Licht, und zwar sind beide Strahlen polarisiert. Betrachten wir aber die Stellung des Spiegels, den wir eben benutzt haben, wenn er in jedem der beiden

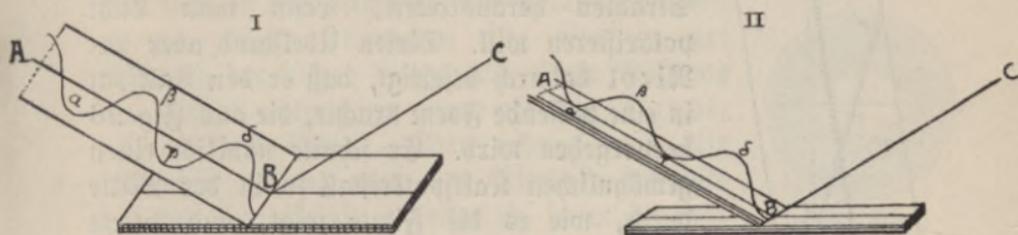


Fig. 95.

Strahlenwege so steht, daß er kein Licht zurückwirft. Das eine Mal finden wir, daß seine Normale nach Ihnen hingerrichtet ist, das zweite Mal aber, daß sie nahezu nach oben, fast aufwärts zeigt. Ich mußte den Spiegel um einen rechten Winkel drehen, damit er einmal den ersten polarisierenden Strahl, das andere Mal den zweiten nicht zurückwirft. Daraus müssen wir schließen, daß die beiden polarisierten Strahlen sich unterscheiden und wir können auch leicht erkennen, wodurch sie sich unterscheiden können. Bei jedem polarisierten Strahl finden die Schwingungen aller Teilchen senkrecht zum Strahl statt, aber man erkennt, daß dabei noch eine wesentliche Verschiedenheit stattfinden kann. In Fig. 95 bedeute  $\alpha\beta\gamma\delta$  einen polarisierten Strahl. Durch diesen ist eine Ebene  $AB$  gelegt. Nun können, wie in Fig. I, die Schwingungen der Teilchen in dieser Ebene liegen, oder sie können, wie in Fig. II, senkrecht zu dieser Ebene liegen. Zwei solche Strahlen unterscheiden sich also durch die Richtung der Schwingungen. Man nennt sie zwei senkrecht aufeinander polarisierte Strahlen.

Es ist klar, daß wenn man den einen Strahl um sich selbst herumdrehen würde, um einen rechten Winkel, daß er dann genau wie der andere würde.

Wir haben jetzt schon zwei Mittel, um polarisiertes Licht aus natürlichem zu erzeugen. Zuerst einen Glas Spiegel, auf dem wir das natürliche Licht unter einem Winkel von  $55^{\circ}$  auffallen lassen und zweitens unseren Kalkspat. Dieser letztere liefert uns sogar zwei senkrecht aufeinander polarisierte Strahlen.

Wir wollen jede Vorrichtung, die aus natürlichem Licht polarisiertes macht, einen Polariseur nennen. Unser Spiegel und unser Kalkspat sind also Polariseure. Unbequem ist es bei dem Kalkspat, daß immer beide Strahlen heraustreten, wenn man Licht polarisieren will. Diesen Übelstand aber hat Nicol dadurch beseitigt, daß er den Kalkspat in eine passende Form brachte, die aus Fig. 96 hervorgehen wird. Er schnitt nämlich einen gewöhnlichen Kalkspatkristall so in der Mitte durch, wie es die Figur zeigt, und kittete die beiden Hälften dann mit Kanadabalsam wieder zusammen. Dadurch erreichte er folgendes: Der einfallende Lichtstrahl *A* teilt sich beim Eintritt in den Kristall in die beiden Strahlen *AB* und *AC*, die man als außerordentlichen und ordentlichen unterscheidet, um bequem von ihnen sprechen zu können. Der erste fällt auf die Balsamschicht und geht durch sie und den hinteren Teil des Kalkspates einfach hindurch und tritt bei *B* heraus. Der andere aber *AC* fällt unter solchem Winkel auf die Balsamschicht, daß er dort total zurückgeworfen wird. Es ist eben absichtlich als Kitt der Kanadabalsam wegen seines Brechungsindex gewählt, und die Winkel des Kalkspats absichtlich so abgemessen, daß dieses eintritt. Der Strahl wird also von *C* nach *D* geworfen und sein Licht wird dann in der Fassung des Kristalls absorbiert. So tritt also aus einem solchen Nicol'schen Prisma oder kurzweg Nicol nur ein Strahl *B* heraus, der aber polarisiert ist.

Ein solches Nicol'sches Prisma ist sehr bequem anzuwenden und es macht also aus natürlichem Licht polarisiertes; ganz so

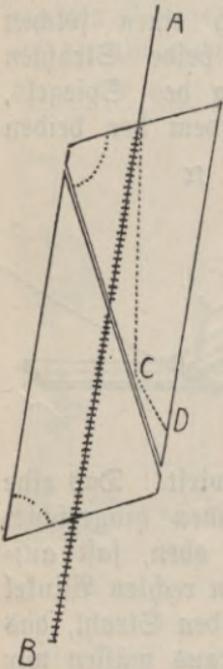


Fig. 96.

wie ein Spiegel aus Glas, unter  $55^\circ$  gegen den Strahl angewendet, das natürliche Licht polarisiert. Der Nicol ist daher auch ein Polariseur. Um polarisiertes Licht als solches zu erkennen, haben wir bisher wieder einen Spiegel benutzt, der dann als Analyseur bezeichnet wird. Ebenso aber, nur einfacher, kann man als Analyseur wieder einen Nicol benutzen. Denn ein Nicolsches Prisma macht aus natürlichem Licht polarisiertes, das heißt Licht, welches nur in einer bestimmten Richtung schwingt. Diese Richtung ist durch die Natur des Kalkspats gegeben. Ein Nicol in seiner Fassung sieht im Querschnitt so aus, wie es Fig. 97 zeigt. Man sieht, daß zwei gegenüberliegende Winkel des Kalkspats spitz, zwei stumpf sind. Das durch den Nicol hindurchgehende polarisierte Licht schwingt nun stets in der Richtung, die durch den Pfeil

in der Figur angegeben ist, also in der Richtung der kurzen Diagonale. Diese Richtung im Kristall bezeichnet man als den Hauptschnitt des Nicols. Nun erkennt man also folgendes: Wenn man den Nicol so aufstellt, daß der Hauptschnitt vertikal ist, so erhält man polarisiertes Licht, bei welchem die Teilchen

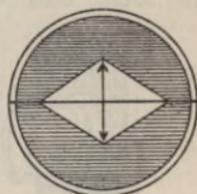


Fig. 97.

vertikal auf und ab schwingen. Dreht man den ganzen Nicol, so daß der Hauptschnitt horizontal ist, so erhält man horizontal hin- und herschwingendes Licht. Durch einen Nicol kann also nur Licht hindurchgehen, welches in der Richtung des Hauptschnittes schwingt. Läßt man also nun natürliches Licht durch einen Nicol polarisieren, so daß polarisiertes Licht aus ihm austritt und läßt man dieses Licht auf einen zweiten Nicol fallen, so können verschiedene Fälle eintreten. Wenn der Hauptschnitt des zweiten Nicols so gestellt ist, daß er dem des ersten parallel ist, so geht das Licht ohne weiteres auch durch den zweiten Nicol hindurch. Wenn aber der zweite Nicol so gestellt ist, daß sein Hauptschnitt senkrecht steht zu dem des ersten, wenn z. B. der erste Hauptschnitt vertikal, der zweite horizontal gestellt ist, so geht von dem auffallenden Licht nichts durch den zweiten hindurch. Sieht man also dann durch beide Nicols hindurch auf eine Lichtquelle, so erscheint diese dunkel. Man sagt im ersten Falle, die beiden Nicols seien parallel, im zweiten Falle sie seien gekreuzt. Dreht man den einen der beiden Nicols von der Lage an, wo er dem anderen parallel

ist, bis zu der gekreuzten Stellung, so wird das durch den zweiten Nicol hindurchgehende Licht immer schwächer und schwächer, bis es ganz verschwindet. Es geht nämlich dann nur ein Bruchteil des polarisierten Lichtes durch den zweiten Nicol hindurch. Ich will Ihnen diese Erscheinungen zunächst experimentell zeigen. Ich habe hier zwei Nicols (Fig. 98)  $N_1$  und  $N_2$ , durch die ich das Licht der Bogenlampe auf den Schirm werfe. Eine Linse  $G$  macht das Bild scharf. (An den Fassungen der beiden Nicols habe ich je einen Pfeil in der Richtung der kurzen Diagonale angebracht, damit man sofort die Lage der Hauptschnitte erkennen kann.) Bei der parallelen Stellung der Nicols sehen Sie den hellen Kreis auf dem Schirm. Lasse ich den ersten Nicol  $N_1$  feststehen und drehe den zweiten, so wird das Bild dunkler und dunkler und jetzt ist es ganz

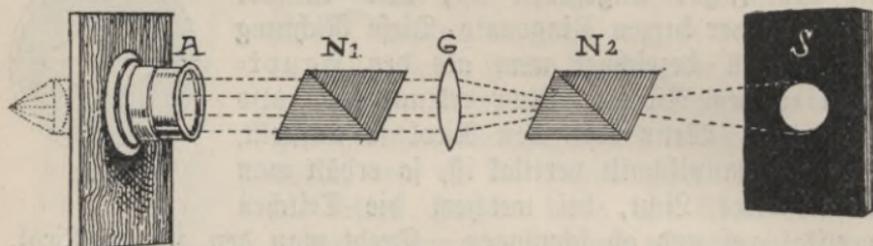


Fig. 98.

verschwunden. Die Pfeile zeigen, daß die Hauptschnitte beider Nicols jetzt senkrecht zueinander stehen, die Nicols sind gekreuzt. Nun lasse ich den zweiten Nicol feststehen und drehe den ersten in dem einen oder anderen Sinne, das Bild erhellt sich wieder und wenn die Nicols wieder parallel sind, ist die volle Helligkeit wieder da.

Der erste Nicol dient uns also dazu, das natürliche Licht zu polarisieren, er ist der Polariseur, der zweite dient uns dazu, die Polarisation des Lichtes zu erkennen, er ist der Analyseur.

Daß in einer Zwischenstellung der beiden Nicols zwischen der parallelen und der gekreuzten das Licht noch durch den zweiten hindurchgeht, aber geschwächt, beruht auf einer Eigenschaft der Schwingungen, die sehr wichtig ist und die ich Ihnen näher erläutern muß. Wenn ich ein Pendel aufhänge, wie in Fig. 99, und die Kugel in der Richtung  $ab$  stoße, so beschreibt



geschieht gerade in der Richtung *II*, geht also durch den zweiten Nicol. Als Resultat finden wir, was wir oben schon im Experiment bestätigt gefunden haben, daß ein Teil, aber nur ein Teil des Lichtes, welches nach *Of* schwingt, durch den zweiten Nicol hindurchgeht, daß also bei schiefer Stellung des Nicols das durchgehende Licht geschwächt erscheinen muß.

Es könnte Ihnen vielleicht scheinen, als ob diese ganze Frage der Polarisation des Lichtes außer dem theoretischen Interesse, das sie besitzt, um eben die Transversalität des Lichtes zu beweisen, wenig Bedeutung habe. In der Natur spielt das polarisierte Licht, obwohl es vorhanden ist — denn das reflektierte Licht ist fast stets etwas polarisiert — offenbar keine besondere Rolle, da wir nichts von ihm merken, wenn wir nicht einen besonderen Analyser anwenden. Und doch können wir bald an einer Erscheinung, die das polarisierte Licht bietet, auch

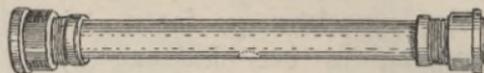


Fig. 101.

seine praktische Bedeutung erkennen. Ich bringe wieder meinen ersten Nicol vor die Lampe, polarisiere das Licht also und zwar will ich den Hauptschnitt vertikal stellen, so daß das durchgegangene Licht vertikal auf und nieder schwingt. In einiger Entfernung stelle ich den zweiten Nicol auf und zwar gekreuzt, so daß durch diesen nichts von dem polarisierten Licht hindurchgeht. In der That bringen wir auf dem Schirm durch Drehen des zweiten Nicols in die gekreuzte Lage den vorher hellen Kreis zum Verschwinden. Ich bringe ein Glas zwischen die beiden Nicols, das Feld bleibt dunkel. Ich habe hier Röhren, die mit Glasplatten verschlossen sind (Fig. 101). Diese Röhren sind mit Wasser, mit Alkohol, mit Chloroform, mit Benzol gefüllt. Wenn ich sie einzeln dazwischenstelle, so bleibt das Feld immer dunkel.

Hier aber habe ich eine ebensolche Röhre, die mit einer Auflösung von gewöhnlichem Zucker in Wasser gefüllt ist. Ich setze sie (*R*) zwischen die gekreuzten Nicols  $N_1$  und  $N_2$  (Fig. 102), und zu unserer Überraschung sehen wir, daß das Bild auf dem Schirm sich aufhellt. Es geht also jetzt Licht durch den zweiten Nicol hindurch. Wie ist das möglich? Offenbar nur dadurch,

daß das Licht, welches durch die Zuckerlösung gegangen ist, nicht mehr vertikal auf und ab schwingt, also senkrecht zum Analyseur, sondern in anderer Richtung, schief gegen den Analyseur. Denn in diesem Falle geht ja, wie wir wissen, ein Teil des Lichtes durch den zweiten Nicol. Also muß die Zuckerlösung die Eigenschaft haben, die Ebene, in welcher die Schwingungen des Lichtes stattfinden, zu drehen. Wenn das aber wahr ist, daß das Licht aus der Zuckerlösung herauskommend in anderer Richtung schwingt, als beim Eintritt, also mit dem Hauptschnitt des zweiten Nicols nicht mehr einen rechten, sondern einen

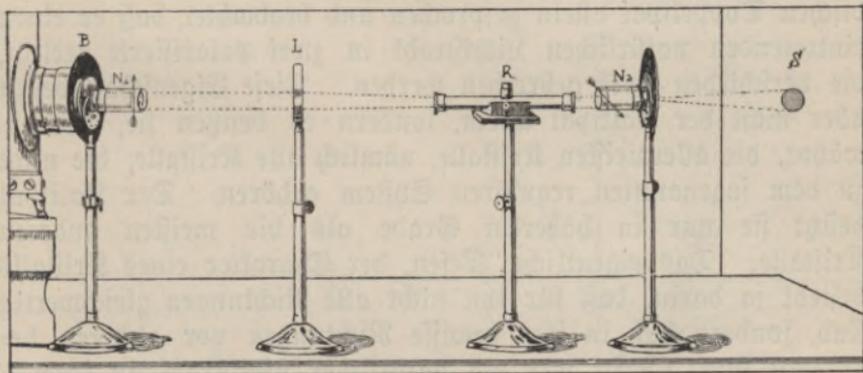


Fig. 102.

andern Winkel bildet, so muß es offenbar möglich sein, durch Drehen des zweiten Nicols jetzt wieder Dunkelheit hervorzu- bringen. Machen wir den Versuch! Ich drehe den zweiten Nicol etwas herum, und in der Tat verschwindet das Bild, das Feld wird wieder dunkel. Also ist hiermit eine Eigenschaft der Zuckerlösung nachgewiesen, nämlich die Eigenschaft, die Schwingungsrichtung zu drehen, oder, wie man es wissenschaftlich nennt, die Polarisationssebene zu drehen.

Es ist betrübend, es zu gestehen, aber es muß gesagt werden, daß von dieser scheinbar so weit von aller Praxis abliegenden Tatsache die einzelnen Staaten eine Anwendung gemacht haben, die dazu dient, um möglichst viel Steuern zu erzielen. Nämlich diese Drehung, die wir durch den zweiten Nicol messen können, indem wir den Winkel bestimmen, um den er aus der gekreuzten Lage herausgedreht werden muß, bis er wieder das Licht auslöscht, diese Drehung ist um so größer, bei gleicher

Länge der Röhre, je größer der Zuckergehalt der Lösung ist. Für jedes Gramm Zucker in 100 cem Lösung dreht eine solche Röhre von 20 cm Länge, wenn sie mit der Lösung gefüllt ist um etwa  $1\frac{1}{3}^{\circ}$ . Man kann also auch umgekehrt aus der Größe der Drehung den Gehalt der Lösung an Zucker bestimmen, und da der Staat den Zucker besteuert, so benutzt er diese Eigenschaft, um die Menge von Zucker genau zu bestimmen, die in zuckerhaltigen Lösungen enthalten ist. Die Wissenschaft der Optik ist damit also in den Dienst der Zöllner gestellt und muß es sich gefallen lassen.

Wir hatten bisher immer von dem Kalkspat, dem isländischen Doppelspat allein gesprochen und beobachtet, daß er einen eintretenden natürlichen Lichtstrahl in zwei polarisierte zerlegt, die verschieden stark gebrochen werden. Diese Eigenschaft besitzt aber nicht der Kalkspat allein, sondern es besitzen sie, wie erwähnt, die allermeisten Kristalle, nämlich alle Kristalle, die nicht zu dem sogenannten regulären System gehören. Der Kalkspat besitzt sie nur in höherem Grade als die meisten anderen Kristalle. Das eigentliche Wesen, der Charakter eines Kristalls besteht ja darin, daß für ihn nicht alle Richtungen gleichwertig sind, sondern daß in ihm gewisse Richtungen vor anderen bevorzugt sind. Tritt nun ein natürlicher Lichtstrahl in irgendeiner Richtung in den Kristall ein, so findet er immer zwei bestimmte Richtungen im Kristall, die von der Struktur, von der Natur des Kristalls abhängen, nach denen das Licht im Kristall allein schwingen kann. Von dem eintretenden natürlichen Licht werden daher alle Schwingungen in die eine und die andere dieser beiden ausgezeichneten Richtungen zerlegt, im Kristall pflanzen sich zwei Strahlen fort, die polarisiert und zwar senkrecht zueinander polarisiert sind. Diese beiden Strahlen erleiden verschiedene Brechung, ihre Geschwindigkeit und daher ihre Wellenlänge ist verschieden, ganz so, wie es beim Kalkspat der Fall ist.

Daraus erklären sich nun eine Reihe von interessanten Erscheinungen ganz leicht, welche man beobachtet, wenn man dünne Kristallplatten zwischen zwei Nicols bringt. Am besten eignen sich dazu Blättchen aus Gipskristallen, weil man diese leicht durch Spalten beliebig dünn erhalten kann. Ein solches Blättchen sei durch Fig. 103 in der Dicke stark vergrößert dargestellt. Für einen Lichtstrahl  $SO$ , der senkrecht auf das

Blättchen fällt, seien  $ab$  und  $cd$  die beiden ausgezeichneten Richtungen im Kristall, nach denen nur die Lichtschwingungen geschehen können.

Wenn nun unsere beiden Nicol's parallel stehen und zwar so, daß das polarisierte Licht, das der erste liefert, etwa längs  $ab$  schwingt, so sieht man, daß dieses Licht einfach durch den Kristall und den zweiten Nicol hindurchgeht und zu keiner besonderen Erscheinung Veranlassung gibt. Durch den Kristall treten auch nur Strahlen, die parallel schwingen, hindurch, und sie gehen durch den zweiten parallelen Nicol ohne weiteres hindurch. Dasselbe tritt ein, wenn die Nicol's parallel zu  $cd$

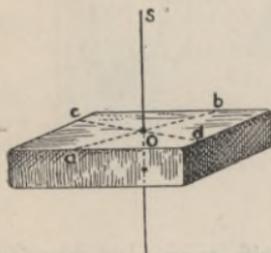


Fig. 103.

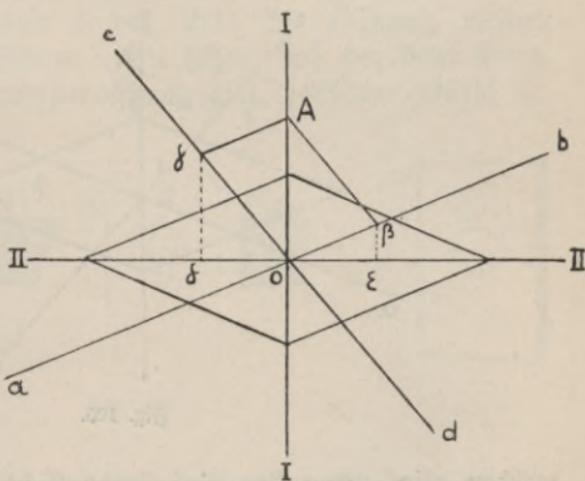


Fig. 104.

stehen. Steht der erste parallel zu  $ab$ , der zweite parallel zu  $cd$ , also senkrecht zum ersten, so geht zwar das Licht durch den Kristall hindurch, schwingt dort in der Richtung  $ab$ , aber von diesem Licht geht nichts durch den zweiten Nicol hindurch. Ganz anders aber wird es, wenn die Hauptschnitte der Nicol's nicht mit  $ab$  oder  $cd$  zusammenfallen. Nehmen wir zuerst an, die beiden Nicol's seien gekreuzt. Fig. 104 möge durch  $I$  die Stellung des Hauptschnitts des ersten Nicol's darstellen,  $II$  sei die des zweiten Nicol's,  $ab$  und  $cd$  seien wieder die ausgezeichneten Richtungen in der Gipsplatte. Aus dem ersten Nicol kommt eine Lichtbewegung an den Kristall, die durch  $OA$  dargestellt sei. Diese muß sich in zwei zerlegen, eine  $O\beta$  längs

$ab$ , die andere  $O\gamma$  längs  $cd$ . Diese beiden treten aus dem Kristall aus. Durch den zweiten Nicol  $II$  gehen aber nur Bewegungen in der Richtung von  $II$ . Die erste Bewegung  $O\beta$  schiebt daher die Bewegung  $O\varepsilon$ , die zweite  $O\gamma$  schiebt  $O\delta$  durch den zweiten Nicol. Diese beiden Bewegungen von  $O$  nach  $\delta$  und von  $O$  nach  $\varepsilon$  sind aber, wie man sieht, entgegengesetzt gerichtet. Sie haben zugleich den Kristall mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchlaufen, also müssen sie interferieren. Sie werden sich dann ganz aufheben, wenn ihr Gangunterschied eine halbe Wellenlänge beträgt. Je nach der Dicke des Kristalls wird das für verschiedene Farben der Fall sein. Diese Farben

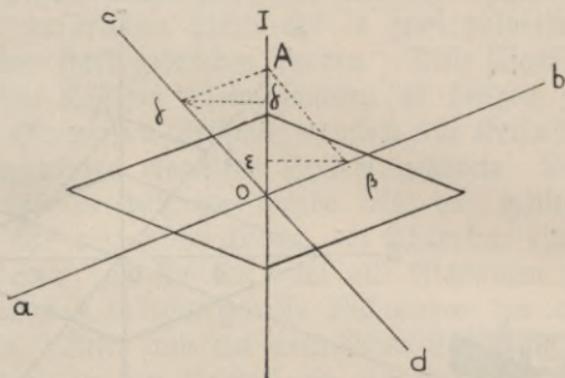


Fig. 105.

werden also, wenn das einfallende Licht weiß war, im durchgelassenen Licht fehlen. Die übrigen Farben werden je nach ihrer Wellenlänge in verschiedenen Proportionen im durchgelassenen Licht enthalten sein, also muß das hindurchgelassene Licht gefärbt erscheinen. Eine solche Kristallplatte, zwischen gekreuzte Nicols gestellt, bewirkt also, daß Licht durch sie hindurchgeht und erscheint je nach ihrer Dicke in bestimmter Weise gefärbt.

Untersuchen wir gleich, was geschieht, wenn die beiden Nicols parallel sind. Fig. 105 zeigt wieder das einfallende Licht  $OA$ , aus dem im Kristall  $O\beta$  und  $O\gamma$  werden. Durch den zweiten Nicol, der jetzt dem ersten parallel ist, gehen nur diejenigen Teile von  $O\beta$  und  $O\gamma$  hindurch, die in seiner Richtung schwingen, d. h. von  $O\gamma$  geht der Teil  $O\delta$ , von  $O\beta$  der Teil  $O\varepsilon$  durch den zweiten Nicol. Diese beiden Bewegungen  $O\varepsilon$

und  $O\delta$  gehen aber nach derselben Seite, sie verstärken sich also, sie addieren sich, während sie sich im vorhergehenden Falle subtrahiert, geschwächt haben. Diejenigen Farben also, die sich im früheren Falle vernichtet haben, werden jetzt am stärksten erscheinen und umgekehrt. Also muß das Licht, das durch die Nicols hindurchgeht, jetzt die Komplementärfarbe haben von der im früheren Falle.

Beobachten wir nun, ob unsere Folgerungen zutreffen. Ich habe hier ein Gipsblättchen von einer bestimmten Dicke. Ich stelle meine Nicols  $N_1$  und  $N_2$  (Fig. 106) so auf, daß der Hauptschnitt des ersten vertikal, der des zweiten horizontal ist, bringe das Gipsblättchen  $G$  in seiner Fassung dazwischen und projiziere durch eine Linse  $L$  das Bild der Öffnung meiner Bogenlampe auf den Schirm. Sie sehen, daß der helle Kreis, der das Bild unserer Lampenöffnung gibt, hellblau gefärbt ist.

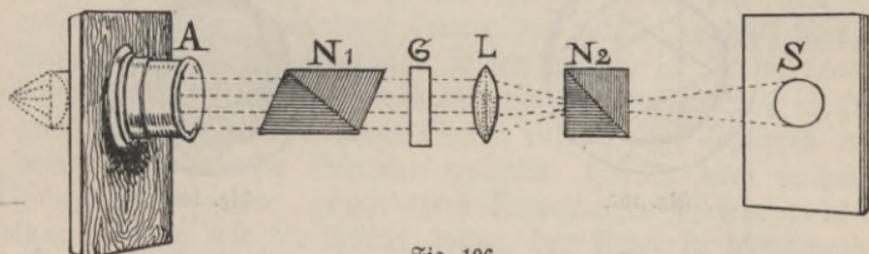


Fig. 106.

Ich drehe den Nicol  $N_2$  aus der gekreuzten Stellung in die parallele, das Bild wird blasser blau, wird bei einer bestimmten Stellung weiß und geht dann über in Orange, welches immer mehr gesättigt wird, bis ich in die parallele Lage gelangt bin. Ich kann dieselbe Farbenänderung erreichen, wenn ich den vorderen Nicol  $N_1$  drehe oder wenn ich das Gipsblättchen selbst drehe. Denn jedesmal ändere ich dadurch die Lage der Schwingungsrichtungen im Gips zu der in den Nicols. Ein anderes Gipsblättchen von anderer Dicke gibt mir statt Blau und Orange vielmehr Grün und Rot, ein drittes Dunkelblau und Gelb, ein viertes Violett und Gelbgrün. Ich habe hier einen Stern (Fig. 107), der aus sechs Gipsblättern verschiedener Dicke zusammengesetzt ist. Ich bekomme eine Anzahl von Farben zu gleicher Zeit, Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, von oben rechts angefangen. Durch Drehen des Nicols erlangen

sie ihre Komplementärfarben. Hier ist weiter (Fig. 108) eine hübsche Spielerei: ein Stiefmütterchen aus Gipsblättchen verschiedener Dicke kunstvoll zusammengesetzt. Die Blätter erscheinen rot, der Kelch ist gelb. Durch Drehen des einen Nicols kann ich aber sofort die Blätter grün, den Kelch blau machen. Sie sehen, unser polarisiertes Licht kann mit Leichtigkeit in sezeffionistischer Manier malen.

Nun wird auch die Anstellung eines Experimentes leicht verständlich sein, das wir in der zweiten Vorlesung benutzt haben, um zu beweisen, daß Gelb und Blau Komplementärfarben sind und sich zu Weiß mischen. Ich brauche nur statt meines zweiten Nicols einen gewöhnlichen Kalkspat aufzustellen. Dieser gibt mir ja zwei Strahlen, die senkrecht zueinander polarisiert sind. Er entspricht also zwei Nicols nebeneinander,

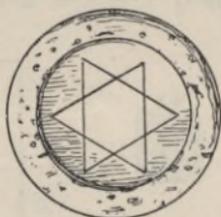


Fig. 107.



Fig. 108.

von denen der eine parallel, der andere senkrecht zum ersten steht. Infolgedessen sind die beiden durch ihn hindurchgehenden Bilder komplementär gefärbt und ich kann sie (S. Fig. 38, S. 39) zugleich auf dem Schirm beobachten. Nehme ich einen dicken Kalkspat, so gehen die beiden Bilder ganz auseinander und die beiden Kreise erscheinen getrennt. Nehme ich einen dünneren, so fallen die beiden Bilder zum Teil übereinander und geben dort die Mischfarbe Weiß.

Es ist nicht meine Absicht und meine Aufgabe, Ihnen weitere Erscheinungen vorzuführen, die sich noch in der mannigfaltigsten Art finden, wenn man polarisiertes Licht durch Kristalle gehen läßt. Die Anwendung des polarisierten Lichtes hat auf die Lehre von den Kristallen, auf die Kristallographie, unendlich befruchtend eingewirkt, und auch die Optik hat in Rückwirkung wiederum von der Kristallographie große Förderung erhalten. Aber es scheint mir, daß diese Erscheinungen, so interessant und so schön sie sind, und so sehr sie als ein Triumph

der Wellentheorie anzusehen sind, da sie sich aus ihr bis in ihre feinsten Einzelheiten erklären lassen, doch zu speziell für unsere Zwecke sind.

Was ich vielmehr am Schlusse dieser Vorlesungen Ihnen noch vorführen möchte, bezieht sich im Gegentheil auf die allgemeinen großen Fragen, zu denen die Theorie der Lichtwellen uns angeregt hat. Wir waren gezwungen anzunehmen, daß die ganze Welt, soweit sie Licht durchläßt, also bis zu den fernsten Fixsternen, die wir sehen, erfüllt ist von dem feinen, für uns unsichtbaren, unwägbaren, unfühlbaren Stoff, dem Äther. Nicht bloß die sichtbaren Wellen des Lichtes sind Bewegungen dieses Äthers, sondern auch die unsichtbaren Wellen der ultraroten und ultravioletten Strahlung. Aber sollte dieser Äther wirklich keine anderen Wellen zeigen, als diese so winzig kleinen? Sollte dies die einzige Art und Weise sein, wie er sich bewegen kann? Das wäre gerade so, wie wenn wir glauben wollten, daß der Ozean nur immer und allein die ganz kleinen Kräuselungen seiner Oberfläche zeigen müßte, die er bei vollständiger Windstille zeigt, während wir doch wissen, daß er für gewöhnlich große meterlange Wellen enthält, und während wir doch oft zu unserem Schrecken erfahren, daß er noch in ganz andere turbulenterere, gefährlichere Bewegungen versetzt werden kann. Wenn wir die Mittel hätten, den Äther in schwingende Bewegung zu versetzen, von größerer Periode, als es die Natur im Lichte tut, so müßten wir in ihm auch Wellen von ganz anderen Längen, meterlange, kilometerlange finden und nachweisen können.

Und das können wir wirklich. Wir können den Äther außer durch Licht und Wärme auch durch Elektrizität in Bewegung und zwar in schwingende Bewegung versetzen. Erst allmählich ist man darauf gekommen, aber jetzt wissen wir, daß immer, wenn wir einen sogenannten elektrischen Funken erzeugen, daß dann immer von diesem aus Wellen durch den Äther sich fortpflanzen. Ich habe hier eine Influenzmaschine (Fig. 109), wie man sie für elektrische Experimente vielfach benutzt. Wenn ich sie drehe, so sehen Sie zwischen den beiden Kugeln *A* und *B* Funken überspringen. Jeder solche Funke erregt den angrenzenden Äther zu Schwingungen, ganz so, wie ein angezündetes Streichholz ihn erregt. Und zwar sind es hier Schwingungen von sehr viel geringerer Zahl pro Sekunde,

die dabei erzeugt werden. Wenn wir im Licht Billionen Schwingungen in der Sekunde hatten, so haben wir hier nur Millionen. Das ist immer noch eine ganz respectable Anzahl, aber wir sehen sofort, die Wellen, die dadurch im Äther sich fortpflanzen, müssen millionenmal so lang sein, wie die des Lichtes. Hatten diese etwa  $0,5 \mu$  Länge, so werden unsere elektrischen Wellen  $500\,000 \mu$ , d. i.  $500 \text{ mm}$  oder  $0,5 \text{ m}$  Länge haben. Indes ist mit solchen sehr langen Wellen schwer zu experimentieren. Die Räume unserer Zimmer reichen nicht aus, um diese Wellen in bestimmter Weise zu beeinflussen, wie

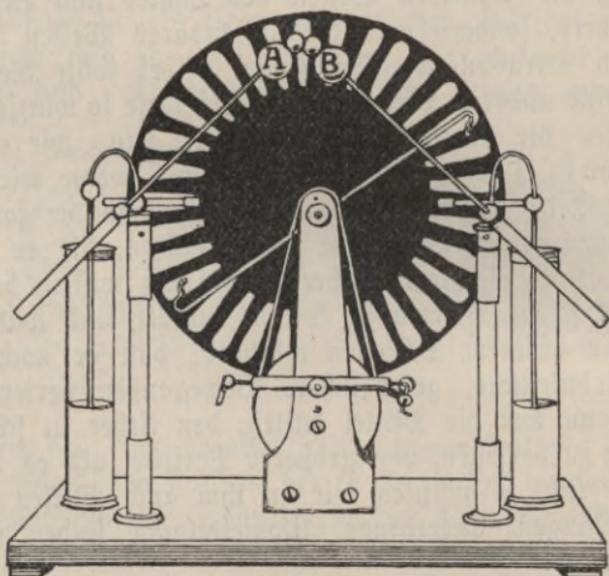


Fig. 109.

wir es müssen, wenn wir ihre Existenz nachweisen wollen. Wir wollen daher versuchen, durch den Funken Wellen herzustellen, die für beschränkte Räume passend sind, die also Wellenlängen von einigen Zentimetern etwa haben, das sind immer noch sehr große Wellen, gegenüber denen des Lichts, aber sie wären für unsere Zwecke nicht gar zu groß. Wie wollen wir das aber erreichen? Wir können uns vielleicht durch Analogien leiten lassen. Es soll der Äther in Schwingungen versetzt werden, die rascher sind, als wir sie bei unseren Influenzmaschinenfunken erhalten. Nun, beim Schall können wir auch mittels unserer Instrumente höhere oder tiefere Töne, das

heißt raschere oder langsamere Schwingungen erzeugen. Je mehr Masse in dem tönenden Körper in Bewegung versetzt wird, desto tiefer ist der Ton, desto langsamer die Schwingung, je weniger Masse bewegt wird, um so rascher sind die Schwingungen. Eine große Pfeife gibt einen tiefen, eine kleine einen hohen Ton, eine lange Klavierseite macht langsame, eine kurze rasche Schwingungen. Wir werden also in Analogie suchen müssen, die Menge des durch den Funken bewegten Äthers verhältnismäßig klein zu machen. Das kann man dadurch erreichen, daß man die Funken zwischen zwei kleinen Kugeln überspringen läßt und zwar so, wie es in Fig. 110 angegeben ist. Zwei Kugeln aus Messing *A* und *B* sind durch die Wände eines Kästchens *G* aus Ebonit gesteckt. In dem Kästchen befindet sich Petroleum. Außerhalb der Kugeln sind

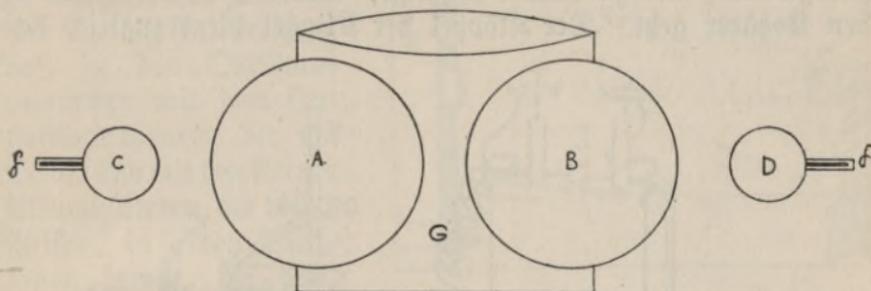


Fig. 110.

zwei kleinere *C* und *D* angebracht. Diese letzteren verbinde ich mit meiner Influenzmaschine, oder noch besser mit einem sogenannten Induktionsapparat. Dann springen Funken über zwischen *C* und *A* und zwischen *D* und *B*, aber auch im Petroleum zwischen *A* und *B* und die letzteren sind diejenigen, welche den Äther in die für uns passenden Schwingungen versetzen. Diesen Apparat nennt man einen Righischen Oszillator. Um nun zu erkennen, daß von diesen Funken aus wirklich Wellen durch den Äther sich verbreiten, dazu hat man verschiedene Mittel. Das bequemste und empfindlichste ist ein sogenannter Rohörer, den wir auch allein benutzen wollen. Derselbe besteht aus einer Glasröhre (Fig. 111), in welche zwei Metallstäbe mit metallischen Endplatten *E*, *E* hineingesteckt sind. Zwischen diesen Platten befindet sich bei *P* Pulver aus Messing oder Silber in nicht zu feinen Stücken. Ver-

bindet man diese Röhre mit einem galvanischen Element, so fließt kein Strom durch dieselbe, weil die einzelnen Pulverförner keine vollständige Brücke für den Strom geben. Sobald aber elektrische Wellen auf diesen Kohärer fallen, so entstehen zwischen den einzelnen Pulverpartikeln kleine Zündchen, welche

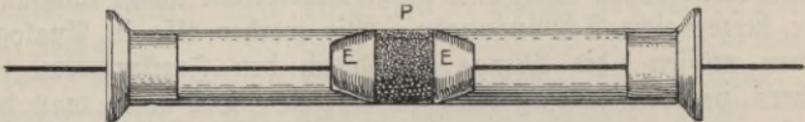


Fig. 111.

diese zum Zusammenbacken bringen, und nun geht ein Strom durch sie hindurch. Um zu erkennen, wann der Strom durchgeht, wann nicht, füge ich in die Leitung noch eine elektrische Klingel ein, die zu läuten anfängt, sobald der Strom durch den Kohärer geht. Der Klöppel der Klingel dient zugleich da-

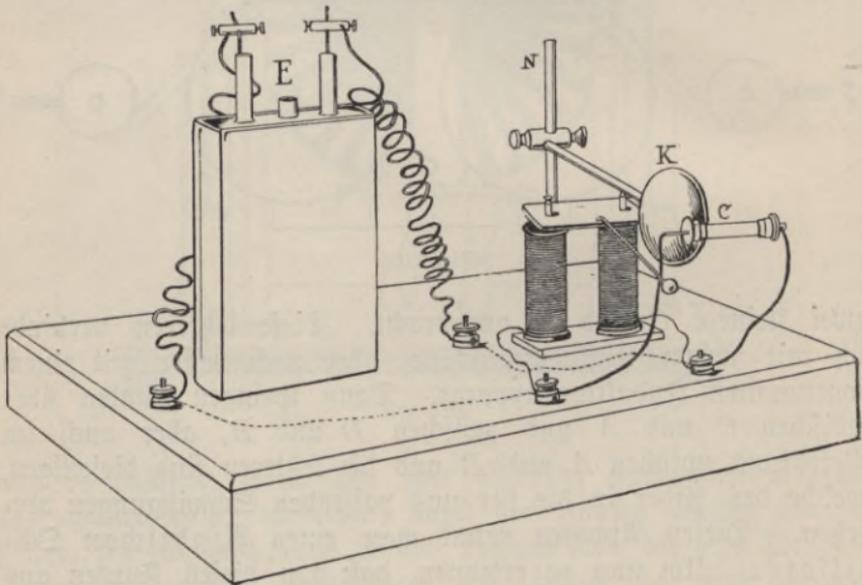


Fig. 112.

zu, die Glasröhre zu erschüttern, damit nach jedem Durchgang des Stromes die Teilchen wieder getrennt werden und so von neuem durch Wellen angeregt werden können. Sie sehen in Fig. 112 bei *E* das galvanische Element, bei *C* den Kohärer, der an der Glocke *K* der elektrischen Klingel befestigt ist. So-

balb ich nun in dem Righischen Oszillator Funken überspringen lasse, beginnt die Klingel des Kohärens zu läuten, auch wenn sie viele Meter davon entfernt ist, ein Beweis, daß von dem Oszillator die Wellen durch den Äther bis zum Kohärer gelangen. Da diese Wellen, wie gesagt, mehrere Zentimeter Länge haben, also in der Größe viel mehr den Schallwellen als den Lichtwellen gleichen, so ist es natürlich, daß bei ihnen von einer geradlinigen Fortpflanzung, wie beim Licht, nicht die Rede sein kann. Vielmehr verbreiten sich diese Wellen ebenso allseitig durch den Raum, wie die Schallwellen in der Luft. Um daher mit diesen Wellen dieselben Experimente machen zu können, wie mit dem Licht, muß ich sie künstlich zwingen, sich wenigstens auf eine kurze Strecke hin, möglichst geradlinig auszubreiten, möglichst einen Strahl zu bilden. Das kann ich

nun dadurch erreichen, daß ich den Oszillator zusammen mit dem Induktionsapparat, der ihn treibt, und mit den kleinen Akkumulatoren, die diesen speisen, in einen Blechkasten bringe, der ganz geschlossen ist und nur da, wo der Oszillator sich be-

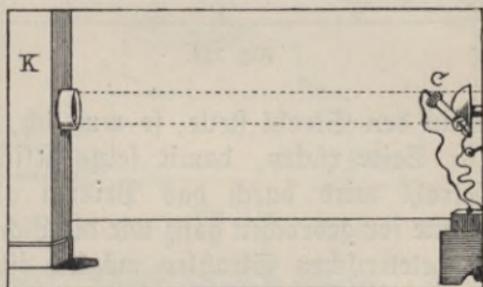


Fig. 113.

findet, eine Öffnung von etwa 6 cm Durchmesser hat. Die elektrischen Wellen können nämlich durch Metalle, also durch das Blech, nicht hindurch und müssen daher bloß durch das Loch nach außen gehen. In der Tat, wenn ich jetzt den Kohärer C dem Loch gegenüberstelle (Fig. 113), das in dem Blechkasten K angebracht ist, so reagiert er, die Klingel wird erregt; sobald ich ihn aber mehr zur Seite rücke, aus dem Strahl hinaus, der durch die Öffnung aus dem Kasten herauskommt, hört die Klingel auf zu läuten. Ich stelle nun den Kohärer wieder dem Loch gegenüber auf und bringe eine Metallplatte zwischen beide. Die Klingel schweigt, der elektrische Strahl geht durch das Metall nicht hindurch. Dagegen bringe ich jetzt eine ganz schwarze Ebonitplatte dazwischen, der Kohärer reagiert. Ebonit, obwohl es für Licht undurchlässig ist, ist für diese Strahlen durchlässig. Ebenso läßt eine Paraffinplatte die Strahlen durch. Ich kann

aber diese Strahlen auch wie die Lichtstrahlen regelmäßig reflektieren lassen. Zu dem Zwecke lasse ich (Fig. 114) den aus unserem Kasten *K* dringenden Strahl auf eine Metallplatte *M* schief auffallen, so daß die reflektierten Strahlen auf den Kohärer *C* fallen müssen. Die Klingel, die bis dahin in Ruhe war, klingelt augenblicklich, sobald ich die Reflexion erzeugt habe. Ebenso aber kann ich die elektrischen Strahlen auch

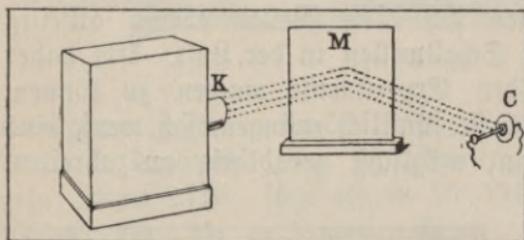


Fig. 114.

brechen. Ich werde das zeigen, indem ich sie durch ein Prisma aus Paraffin, das allerdings viel größere Dimensionen haben muß, wie unsere bisherigen Prismen, hindurchgehen lasse. Wenn ich (Fig. 115) das Prisma

*P* in den Strahl stelle, so muß ich, wie Sie sehen, den Kohärer zur Seite rücken, damit seine Klingel ertönt. Der elektrische Strahl wird durch das Prisma abgelenkt und zwar von der Kante fortgebogen ganz wie die Lichtstrahlen. Da also Brechung der elektrischen Strahlen möglich ist, so muß es auch möglich sein, diese Strahlen durch eine Linse zu konzentrieren. Auch

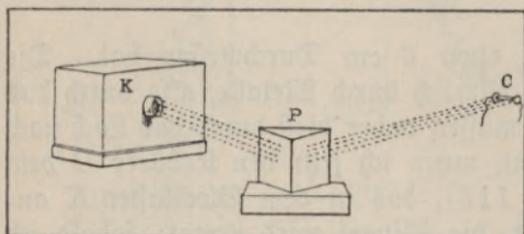


Fig. 115.

dieser Versuch läßt sich leicht anstellen und zwar braucht man bei diesen großen Wellen keine sorgfältig geschliffenen Linsen anzuwenden, sondern es genügt, eine Flasche zu nehmen, die mit Petroleum oder Öl gefüllt ist. Ich stelle den Kohärer *C* soweit von der Öffnung des Kastens *K* auf, daß er nicht mehr reagiert, weil die Wellen sich schon zu sehr ausgebreitet haben. Sobald ich nun (Fig. 116) die Petroleumflasche *P* in den Weg stelle, klingelt seine Glocke sofort heftig. Durch die Krümmung der Flasche sind also tatsächlich Wellen auf den Kohärer konzentriert worden, die vorher vorbeigegangen sind.

Diese Experimente enthalten nun aber, wie Sie leicht erkennen, eine großartige Erweiterung unserer bisherigen Einsichten, sie machen das Bild, das wir uns von der Natur ausmalen, weit reicher, farbiger und umfassender. Wir sehen jetzt nicht mehr bloß die winzigen Wellen im Äther verlaufen, die auf unser Auge wirken, oder die auf unsere feinen Thermometer oder auf unsere photographischen Platten Einfluß haben, sondern wir sehen, daß der Äther von Wellen aller Art durchzogen ist, daß er ein wahres unsichtbares Weltmeer, einen Ozean bildet, in dem

wir leben, und von dem alles, was wir beobachten können, umspült wird. Der Äther verdient den Namen eines wahren Weltmeeres eher als unsere irdischen Gewässer, da er in Wirklichkeit Welten miteinander verbindet. In diesem Meer von unermesslicher Ausdehnung erscheinen wir

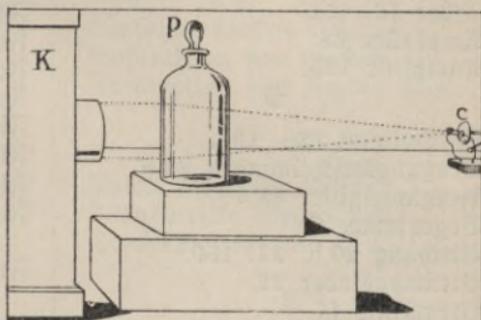


Fig. 116.

als ein Punkt, als ein einziges, unbedeutendes Etwas. Wir plätschern in ihm herum und freuen uns, wenn wir, wie gerade jetzt, in ihm einige große Wellen erregt haben. Wir sind dem Äthermeer gegenüber noch winziger als die Kinder dem Ozean gegenüber, an dessen Strande sie spielen. Aber gerade deswegen können wir uns doch mit um so größern Stolz sagen, daß wir trotz unserer unscheinbaren Stellung in der Natur bereits verstanden haben, einen Teil des dichten Schleiers zu lüften, in dem sie uns zuerst erscheint, daß wir schon imstande sind, diesen großen Ozean in mancher Hinsicht zu beherrschen und zu bemeistern, und daß, was mehr gilt als die Herrschaft, wir doch schon recht weitbringende Einsichten in die großen Geheimnisse der allumfassenden Mutter Natur gewonnen haben.

# R e g i s t e r.

## A

Absorption 41. 54. 95. 107. 110.  
 Absorptionsspektren 41 f.  
 Addition von Farben 43 f.  
 Äther 76. 151.  
 Amplitude 68.  
 Analyseur 135.

## B

Bartholinus 123. 132.  
 Beugungsercheinungen 83 ff.  
 Beugungsgitter 88.  
 Bogenlampe 2.  
 Brechung 20 ff. 97. 150.  
 Brechungsindex 22.  
 Brennlinie 17.  
 Brennpunkt 27. 97.  
 Brennweite 27.

## C

Camera obscura 8.  
 Camera, photographische 113.  
 Chemische Wirkung des Lichts 99 ff.

## D

Descartes 21.  
 Diapositive 114.  
 Dicke Blättchen 80 ff.  
 Diffraction 80 ff.  
 Diffuse Zurückwerfung 18.  
 Dispersion 34.  
 Doppelbrechung 124 ff.  
 Drehung der Polarisationsebene 139.  
 Dünne Blättchen 58 ff. 79.

## E

Elektrischer Funke 145.  
 Elektrische Wellen 147 ff.  
 Emissionsspektren 48 f.  
 Entwickler, photographischer 112.

## F

Farben 32 ff.  
 Farben dünner Blättchen 58 ff. 79.  
 Farbenglas, Newtonsches 58.  
 Farbmischung 42 ff. 119 ff.  
 Farbmischungsapparat 43 f. 119 f.  
 Farbenphotographie 115 ff. 119 ff.  
 Farben von Gipsplättchen 141 ff.  
 Films 112.  
 Flammen, farbige 47 ff.  
 Fluoreszenz 105 f.  
 Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts 67.  
 Fraunhofer'sche Beugungsercheinungen 88 ff.  
 Fraunhofer'sche Linien 51 ff.  
 Fresnel 72 ff. 84 ff.

## G

Gangunterschied 69.  
 Geradlinige Ausbreitung des Lichts 6. 10. 92.  
 Gitter 88 f.  
 Gitterspektrum 89.  
 Goethe 31 f.

## H

Halbschatten 9.  
 Helium 55.  
 Herschel, William 95.  
 Homogenes Licht 50.  
 Huyghens 60.

## I

Interferenz 62 ff. 70. 71.  
 Joly'sche Farbenphotographie 121.

## K

Kaleidoskop 14.  
 Katakauistik 17.

Kernschatten 9.  
 Kirchhoff 53.  
 Körperfarben 40 f.  
 Kohärer 147.  
 Komplementäre Farben 38 f.  
 Kondensor 29.

## L

Lachkabinette 14.  
 Lichtäther 76. 151.  
 Linsen 25 ff.  
 Lippmannsche Farbenphotographie  
 117 f.  
 Lochkamera 8.  
 Lochscheibe 4.  
 Longitudinale Wellen 125.

## M

Malus 128 f.

## N

Newton 31 ff. 56 ff.  
 Newtonsches Farbensglas 58 ff.  
 Nicol 134.  
 Normales Spektrum 90.

## O

Orthochromatische Platten 115.

## P

Paralleles Licht 3.  
 Periode 63.  
 Phosphoreszenz 109.  
 Photographie 100 ff. 112 ff.  
 Polarisation 131.  
 Polariseur 134.  
 Prismen 32 f.  
 Purpur 45.

## R

Reelle Bilder 15. 27.  
 Reflexion 11. 98. 130. 149.  
 Righischer Oszillator 147.  
 Römer, Olaf 67.  
 Rowlandsche Gitter 90.

## S

Sammellinsen 26.  
 Schatten 9.  
 Schwingungszahl 66.  
 Seifenblasen 56 ff. 81.  
 Snellius 21.  
 Sonnenlicht 3.  
 Sonnenspektrum 51.  
 Spalt 4.  
 Spektralanalyse 50.  
 Spektrum 33 f.  
 Spiegel 10 ff.  
 Stehende Wellen 115.  
 Subtraktion von Farben 42.  
 Summation von Farben 43 f.

## T

Totale Reflexion 23.  
 Transversale Wellen 125.  
 Trockenplatten 100. 112.

## U

Ultrarote Strahlen 96 ff.  
 Ultraviolette Strahlen 102 ff. 107.  
 Umkehrung der Natriumlinie 53 f.

## V

Virtuelle Bilder 13. 15. 16.

## W

Wärmewirkung des Lichts 95 ff.  
 Weißes Licht 34 ff. 44.  
 Wellen 61 ff.  
 Wellenlänge 63. 65. 72. 74.

## Y

Young, Thomas 71.

## Z

Zerstreuungslinsen 26.  
 Zurückwerfung 11. 18. 98. 130.  
 149.

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher  
Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

**Geheftet**  
**1 Mart.**

in Bändchen von 130–160 Seiten.

Jedes Bändchen ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

**Gebunden**  
**Mk. 1.25.**

Die Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“ sucht ihre Aufgabe nicht in der Vorführung einer Fülle von Lehrstoff und Lehrsätzen oder etwa gar unerwiesenen Hypothesen, sondern darin, dem Leser Verständnis dafür zu vermitteln, wie die moderne Wissenschaft es erreicht hat, über wichtige Fragen von allgemeinstem Interesse Licht zu verbreiten. Sie will dem Einzelnen ermöglichen, wenigstens an einem Punkte sich über den engen Kreis, in den ihn heute meist der Beruf einschließt, zu erheben, an einem Punkte die Freiheit und Selbständigkeit des geistigen Lebens zu gewinnen. In diesem Sinne bieten die einzelnen in sich abgeschlossenen Schriften gerade dem „Laien“ auf dem betreffenden Gebiete in voller Anschaulichkeit und lebendiger Frische eine gedrängte, aber anregende Übersicht.

**Aberglaube** s. Heilwissenschaft.

**Abstammungslehre.** Abstammungslehre und Darwinismus. Von Professor Dr. R. Hesse. 2. Auflage. Mit 37 Figuren im Text. (Nr. 39.)

Die Darstellung der großen Errungenschaft der biologischen Forschung des vorigen Jahrhunderts, der Abstammungslehre, erörtert die zwei Fragen: „Was nötigt uns zur Annahme der Abstammungslehre?“ und — die viel schwierigeren — „wie geschah die Umwandlung der Tier- und Pflanzenarten, welche die Abstammungslehre fordert?“ oder: „wie wird die Abstammung erklärt?“

**Algebra** s. Arithmetik.

**Alkoholismus.** Der Alkoholismus, seine Wirkungen und seine Bekämpfung. Herausgegeben vom Zentralverband zur Bekämpfung des Alkoholismus. 3 Bändchen. (Nr. 103. 104. 145.)

Die drei Bändchen sind ein kleines wissenschaftliches Kompendium der Alkoholfrage, verfaßt von den besten Kennern der mit ihr verbundenen sozial-hygienischen und sozial-ethischen Probleme. Sie enthalten eine Fülle von Material in übersichtlicher und schöner Darstellung und sind unentbehrlich für alle, denen die Bekämpfung des Alkoholismus als eine der wichtigsten und bedeutungsvollsten Aufgaben ernster, sittlicher und sozialer Kulturarbeit am Herzen liegt.

Band I. Der Alkohol und das Kind. Die Aufgaben der Schule im Kampf gegen den Alkoholismus. Der Alkoholismus und der Arbeiterstand. Alkoholismus und Armenpflege.

Band II. Alkoholismus und Nervosität. Alkohol und Geisteskrankheiten. Alkoholismus und Prostitution. Alkohol und Verkehrsweisen.

Band III. Alkohol und Seelenleben. Alkohol und Strafgesetz. Einrichtungen im Kampf gegen den Alkohol. Einwirkungen des Alkohols auf die inneren Organe. Alkohol als Nahrungsmittel. Älteste deutsche Mäßigkeitsbewegung.

**Ameisen.** Die Ameisen. Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 61 Figuren. (Nr. 94.)

Sagt die Ergebnisse der so interessanten Forschungen über das Tun und Treiben einheimischer und exotischer Ameisen, über die Vielgestaltigkeit der Formen im Ameisenstaate, über die Bautätigkeit, Brutpflege und ganze Ökonomie der Ameisen, über ihr Zusammenleben mit anderen Tieren und mit Pflanzen, über die Sinnesfähigkeit der Ameisen und über andere interessante Details aus dem Ameisenleben zusammen.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Amerika** (s. a. Schulwesen). Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. Laurence Laughlin. Mit 9 graph. Darstellungen. (Nr. 127.)

Ein Amerikaner behandelt für deutsche Leser die Fragen, die augenblicklich im Vordergrund des öffentlichen Lebens in Amerika stehen, den Wettbewerb zwischen den Vereinigten Staaten und Europa — Schutzzoll und Reziprozität in den Vereinigten Staaten — Die Arbeiterfrage in den Vereinigten Staaten — Die amerikanische Trustfrage — Die Eisenbahnfrage in den Vereinigten Staaten — Die Banfrage in den Vereinigten Staaten — Die herrschenden volkswirtschaftlichen Ideen in den Vereinigten Staaten.

——— **Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika.** Von Dr. E. Daenell. (Nr. 147.)

Gibt in großen Zügen eine übersichtliche Darstellung der geschichtlichen, kulturgeschichtlichen und wirtschaftlichen Entwicklung der Vereinigten Staaten von den ersten Kolonisationsversuchen bis zur jüngsten Gegenwart mit besonderer Berücksichtigung der verschiedenen politischen, ethnographischen, sozialen und wirtschaftlichen Probleme, die zur Zeit die Amerikaner besonders bewegen.

**Anthropologie** s. Mensch.

**Arbeiterschutz.** Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. Von weil. Professor Dr. O. v. Zwi edineck-Südenhorst. (Nr. 78.)

Das Buch bietet eine gedrängte Darstellung des gemeinlich unter dem Titel „Arbeiterfrage“ behandelten Stoffes; insbesondere treten die Fragen der Notwendigkeit, Zweckmäßigkeit und der ökonomischen Begrenzung der einzelnen Schutzmaßnahmen und Versicherungseinrichtungen in den Vordergrund.

**Arithmetik und Algebra** (s. a. Mathematische Spiele) zum Selbstunterricht. Von Professor Dr. P. Cranz. I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades. Mit 9 Figuren im Text. (Nr. 120.)

Will in leicht faßlicher und für das Selbststudium geeigneter Darstellung über die Anfangsgründe der Arithmetik und Algebra unterrichten und behandelt die sieben Rechnungsarten, die Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten und die Gleichungen zweiten Grades mit einer Unbekannten, wobei auch die Logarithmen so ausführlich behandelt sind, daß jemand an der Hand des Buches sich auch vollständig mit dem Gebrauche der Logarithmentafeln vertraut machen kann.

**Astronomie** (s. a. Kalender; Mond; Weltall). Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. Von Professor Dr. S. Oppenheim. Mit 24 Abbildungen im Text. (Nr. 110.)

Schildert den Kampf der beiden hauptsächlichsten „Weltbilder“, des die Erde und des die Sonne als Mittelpunkt betrachtenden, der einen bedeutungsvollen Abschnitt in der Kulturgeschichte der Menschheit bildet, wie er schon im Altertum bei den Griechen entstanden ist, anderthalb Jahrtausende später zu Beginn der Neuzeit durch Kopernikus von neuem aufgenommen wurde und da erst mit einem Siege des heliozentrischen Systems schloß.

**Atome** s. Moleküle.

**Auge.** Das Auge des Menschen und seine Gesundheitspflege. Von Privatdozent Dr. med. Georg Abelsdorff. Mit 15 Abb. im Text. (Nr. 149.)

Schildert die Anatomie des menschlichen Auges sowie die Leistungen des Gesichtsinnes, besonders soweit sie außer dem medizinischen ein allgemein wissenschaftliches oder ästhetisches Interesse beanspruchen können, und behandelt die Gesundheitspflege (Hygiene) des Auges, besonders Schädigungen, Erkrankungen und Verletzungen des Auges, Kurzsichtigkeit und ererbliche Augenkrankheiten, sowie die künstliche Beleuchtung.

**Automobil.** Das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ing. Karl Blau. Mit 83 Abb. (Nr. 166.)

Gibt in gedrängter Darstellung und leichtfaßlicher Form einen anschaulichen Überblick über das Gesamtgebiet des modernen Automobilismus, so daß sich auch der Nichttechniker mit den Grundprinzipien rasch vertraut machen kann, und behandelt das Benzinautomobil, das Elektromobil und das Dampfautomobil nach ihren Kraftquellen und sonstigen technischen Einrichtungen, wie Zündung, Kühlung, Bremsen, Steuerung, Bereifung usw.

**Baukunst** (s. a. Städtebilder). Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Professor Dr. A. Matthäei. 2. Auflage. Mit Abbildungen im Text und auf 2 Doppeltafeln. (Nr. 8.)

Der Verfasser will mit der Darstellung der Entwicklung der deutschen Baukunst des Mittelalters zugleich über das Wesen der Baukunst als Kunst aufklären, indem er zeigt, wie sich im Verlauf der Entwicklung die Raumvorstellung klärt und vertieft, wie das technische Können wächst und die praktischen Aufgaben sich erweitern, wie die romanische Kunst geschaffen und zur Gotik weiter entwickelt wird.

**Beethoven** s. Musik.

**Befruchtungsvorgang.** Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. Ernst Reichmann. Mit 7 Abbildungen im Text und 4 Doppeltafeln. (Nr. 70.)

Will die Ergebnisse der modernen Forschung, die sich mit dem Befruchtungsproblem befaßt, darstellen. Ei und Samen, ihre Genese, ihre Reifung und ihre Vereinigung werden behandelt, im Chromatin die materielle Grundlage der Vererbung aufgezeigt und als die Bedeutung des Befruchtungsvorgangs eine Mischung der Qualität zweier Individuen.

**Beleuchtungsarten.** Die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Von Dr. phil. Wilhelm Brüsch. Mit 155 Abbildungen im Text. (Nr. 108.)

Gibt einen Überblick über ein gewaltiges Arbeitsfeld deutscher Technik und Wissenschaft, indem die technischen und wissenschaftlichen Bedingungen für die Herstellung einer wirtschaftlichen Lichtquelle und die Methoden für die Beurteilung ihres wirklichen Wertes für den Verbraucher, die einzelnen Beleuchtungsarten sowohl hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Grundlagen als auch ihrer Technik und Herstellung behandelt werden.

**Bevölkerungslehre.** Von Professor Dr. M. Haushofer. (Nr. 50.)

Will in gedrängter Form das Wesentliche der Bevölkerungslehre geben über Ermittlung der Volkszahl, über Gliederung und Bewegung der Bevölkerung, Verhältnis der Bevölkerung zum bewohnten Boden und die Ziele der Bevölkerungspolitik.

**Bibel** (s. a. Jesus; Religion). Der Text des Neuen Testaments nach seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit 8 Tafeln. (Nr. 134.)

Will in die das allgemeine Interesse an der Textkritik bekundende Frage: „Ist der ursprüngliche Text des Neuen Testaments überhaupt noch herzustellen?“ durch die Erörterung der Verschiedenheiten des Luthertextes (des früheren, revidierten und durchgesehenen) und seines Verhältnisses zum heutigen (deutschen) „berichtigten“ Text, einführen, den „ältesten Spuren des Textes“ nachgehen, eine „Einführung in die Handschriften“ wie die „ältesten Übersetzungen“ geben und in „Theorie und Praxis“ zeigen, wie der Text berichtigt und rekonstruiert wird.

**Bildungswesen** (s. a. Schulwesen). Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Prof. Dr. Friedrich Paulsen. (Nr. 100.)

Auf beschränktem Raum löst der Verfasser die schwierige Aufgabe, indem er das Bildungswesen stets im Rahmen der allgemeinen Kulturbewegung darstellt, so daß die gesamte Kulturentwicklung unseres Volkes in der Darstellung seines Bildungswesens wie in einem verkleinerten Spiegelbild zur Erscheinung kommt. So wird aus dem Büchlein nicht nur für die Erkenntnis der Vergangenheit, sondern auch für die Forderungen der Zukunft reiche Frucht erwachsen.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Biologie** f. Abstammungslehre; Ameisen; Befruchtungsvorgang; Leben; Meeresforschung; Pflanzen; Plankton; Tierleben.

**Botanik** f. Obstbau; Pflanzen; Wald.

**Buchwesen** f. Illustrationskunst; Schriftwesen.

**Buddha.** Leben und Lehre des Buddha. Von Professor Dr. Richard Pischel. Mit 1 Tafel. (Nr. 109.)

Gibt nach einer Übersicht über die Zustände Indiens zur Zeit des Buddha eine Darstellung des Lebens des Buddha, seiner Stellung zu Staat und Kirche, seiner Lehrweise, sowie seiner Lehre, seiner Ethik und der weiteren Entwicklung des Buddhismus.

**Chemie** (f. a. Haushalt; Metalle). Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimental-Chemie. Von Professor Dr. R. Blochmann. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abb. im Text. (Nr. 5.)

Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein und zeigt die praktische Bedeutung derselben für unser Wohlergehen.

**Christentum** (f. a. Bibel; Jesus; Religion). Aus der Werdezeit des Christentums. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. J. Gesslen. (Nr. 54.)

Gibt durch eine Reihe von Bildern eine Vorstellung von der Stimmung im alten Christentum und von seiner inneren Kraft und verschafft so ein Verständnis für die ungeheure und vielseitige weltgeschichtliche kultur- und religionsgeschichtliche Bewegung.

**Dampf und Dampfmaschine.** Von Professor Dr. R. Vater. Mit 44 Abbildungen. (Nr. 63.)

Schildert die inneren Vorgänge im Dampfkessel und namentlich im Zylinder der Dampfmaschine, um so ein richtiges Verständnis des Wesens der Dampfmaschine und der in der Dampfmaschine sich abspielenden Vorgänge zu ermöglichen.

**Darwinismus** f. Abstammungslehre.

**Deutschland** f. Kolonien; Volksstämme; Wirtschaftsgeschichte.

**Drama** (f. a. Theater). Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Professor Dr. G. Witkowski. 2. Auflage. Mit einem Bildnis Hebbels. (Nr. 51.)

Sucht in erster Linie auf historischem Wege das Verständnis des Dramas der Gegenwart anzubahnen und berücksichtigt die drei Faktoren, deren jeweilige Beschaffenheit die Gestaltung des Dramas bedingt: Kunstanschauung, Schauspielkunst und Publikum.

**Dürer.** Albrecht Dürer. Von Dr. Rudolf Wustmann. Mit 33 Abbildungen im Text. (Nr. 97.)

Eine schlichte und knappe Erzählung des gewaltigen menschlichen und künstlerischen Entwicklungsganges Albrecht Dürers und eine Darstellung seiner Kunst, in der nacheinander seine Selbst- und Angehörigenbildnisse, die Zeichnungen zur Apokalypse, die Darstellungen von Mann und Weib, das Marienleben, die Stiftungsgemälde, die Radierungen von Rittertum, Trauer und Heiligkeit sowie die wichtigsten Werke aus der Zeit der Reife behandelt werden.

**Ehe und Eherecht.** Von Professor Dr. Ludwig Wärmund. (Nr. 115.)

Schildert in gedrängter Fassung die historische Entwicklung des Ehebegriffes von den orientalischen und klassischen Völkern an nach seiner natürlichen, sittlichen und rechtlichen Seite und untersucht das Verhältnis von Staat und Kirche auf dem Gebiete des Eherechtes, behandelt darüber hinaus aber auch alle jene Fragen über die rechtliche Stellung der Frau und besonders der Mutter, die immer lebhafter die öffentliche Meinung beschäftigt.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Eisenbahnen** (s. a. Technik; Verkehrsentwicklung). Die Eisenbahnen, ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung. Von Professor Dr. F. Hahn. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und einer Doppeltafel. (Nr. 71.)

Nach einem Rückblick auf die frühesten Zeiten des Eisenbahnbaues führt der Verfasser die Eisenbahn im allgemeinen nach ihren Hauptmerkmalen vor. Der Bau des Bahnkörpers, der Tunnel, die großen Brückenbauten, sowie der Betrieb selbst werden besprochen, schließlich ein Überblick über die geographische Verbreitung der Eisenbahnen gegeben.

—— Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor E. Biedermann. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. (Nr. 144.)

Nach einem geschichtlichen Überblick über die Entwicklung der Eisenbahnen werden die wichtigsten Gebiete der modernen Eisenbahntechnik behandelt, der Oberbau, Entwicklung und Umfang der Spurbahnnetz in den verschiedenen Ländern, die Geschichte des Lokomotivwesens bis zur Ausbildung der Heißdampflokomotiven einerseits und des elektrischen Betriebes andererseits, sowie der Sicherung des Betriebes durch Stellwerks- und Blockanlagen.

**Eisenhüttenwesen.** Das Eisenhüttenwesen. Erläutert in acht Vorträgen von Geh. Bergrat Professor Dr. H. Wedding. 2. Auflage. Mit 12 Figuren im Text. (Nr. 20.)

Schildert in gemeinschaftlicher Weise, wie Eisen, das unentbehrlichste Metall, erzeugt und in seine Gebrauchsformen gebracht wird. Besonders wird der Hochofenprozeß nach seinen chemischen, physikalischen und geologischen Grundlagen geschildert, die Erzeugung der verschiedenen Eisenarten und die dabei in Betracht kommenden Prozesse erörtert.

**Elektrotechnik** (s. a. Funkentelegraphie). Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. Rud. Blochmann. Mit zahlreichen Abb. im Text. (Nr. 168.)

Eine durch lehrreiche Abbildungen unterstützte Darstellung der elektrischen Erscheinungen, ihrer Grundgesetze und ihrer Beziehungen zum Magnetismus, sowie eine Einführung in das Verständnis der zahlreichen praktischen Anwendungen der Elektrizität in den Maschinen zur Kräfteerzeugung, wie in der elektrischen Beleuchtung und in der Chemie.

**Entdeckungen** (s. a. Polarforschung). Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Professor Dr. S. Günther. 2. Auflage. Mit einer Weltkarte. (Nr. 26.)

Mit lebendiger Darstellungsweise sind hier die großen weltbewegenden Ereignisse der geographischen Renaissancezeit ansprechend geschildert, von der Begründung der portugiesischen Kolonialherrschaft und den Fahrten des Columbus an bis zu dem Hervortreten der französischen, britischen und holländischen Seefahrer.

**Erde** (s. a. Mensch und Erde; Wirtschaftsgeschichte). Aus der Vorzeit der Erde. Vorträge über allgemeine Geologie. Von Professor Dr. Fr. Srench. Mit 49 Abbildungen im Text und auf 5 Doppeltafeln. (Nr. 61.)

Erörtert die interessantesten und praktisch wichtigsten Probleme der Geologie: die Tätigkeit der Vulkane, das Klima der Vorzeit, Gebirgsbildung, Korallenriffe, Talbildung und Erosion, Wildbäche und Wildbachverbauung.

**Erfindungswesen** s. Gewerbe.

**Ernährung** (s. a. Alkoholismus; Haushalt; Kaffee; Säugling). Ernährung und Volksnahrungsmittel. Sechs Vorträge von weil. Professor Dr. Johannes Srenzel. Mit 6 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. (Nr. 19.)

Gibt einen Überblick über die gesamte Ernährungslehre. Durch Erörterung der grundlegenden Begriffe werden die Zubereitung der Nahrung und der Verdauungsapparat besprochen und endlich die Herstellung der einzelnen Nahrungsmittel, insbesondere auch der Konserven behandelt.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Erziehung.** (s. a. Jugendfürsorge; Knabenhandarbeit; Pädagogik). Moderne Erziehung in Haus und Schule. Vorträge in der Humboldt-Akademie zu Berlin. Von J. Cews. (Nr. 159.)

Betrachtet die Erziehung als Sache nicht eines einzelnen Berufes, sondern der gesamten gegenwärtigen Generation, zeichnet scharf die Schattenseiten der modernen Erziehung und zeigt Mittel und Wege für eine allseitige Durchdringung des Erziehungsproblems. In diesem Sinne werden die wichtigsten Erziehungsfragen behandelt: Die Familie und ihre pädagogischen Mängel, der Lebensmorgen des modernen Kindes, Bürokratie und Schematismus, Persönlichkeitspädagogik, Zucht und Zuchtmittel, die religiöse Frage, gemeinsame Erziehung der Geschlechter, die Armen am Geiste, Erziehung der reiferen Jugend usw.

**Farben** s. Licht.

**Frauenarbeit.** Die Frauenarbeit, ein Problem des Kapitalismus. Von Privatdozent Dr. Robert Wilbrandt. (Nr. 106.)

Das Thema wird als ein brennendes Problem behandelt, das uns durch den Kapitalismus aufgegeben worden ist, und behandelt von dem Verhältnis von Beruf und Mutterschaft aus, als dem zentralen Problem der ganzen Frage, die Ursachen der niedrigen Bezahlung der weiblichen Arbeit, die daraus entstehenden Schwierigkeiten in der Konkurrenz der Frauen mit den Männern, den Gegensatz von Arbeiterinnenschutz und Befreiung der weiblichen Arbeit.

**Frauenbewegung.** Die moderne Frauenbewegung. Von Dr. Käthe Schirmacher. (Nr. 67.)

Gibt einen Überblick über die Haupttatsachen der modernen Frauenbewegung in allen Ländern und schildert eingehend die Bestrebungen der modernen Frau auf dem Gebiet der Bildung, der Arbeit, der Sittlichkeit, der Soziologie und Politik.

**Frauenkrankheiten.** Gesundheitslehre für Frauen. Von Privatdozent Dr. R. Sticher. Mit 13 Abbildungen im Text. (Nr. 171.)

Eine Gesundheitslehre für Frauen, die über die Anlage des weiblichen Organismus und seine Pflege unterrichtet, zeigt, wie diese bereits im Kindesalter beginnen muß, welche Bedeutung die allgemeine körperliche und geistige Hygiene insbesondere in der Zeit der Entwicklung hat, um sich dann eingehend mit dem Beruf der Frau als Gattin und Mutter zu beschäftigen.

**Frauenleben.** Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Direktor Dr. Ed. Otto. Mit 25 Abbildungen. (Nr. 45.)

Gibt ein Bild des deutschen Frauenlebens von der Urzeit bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, von Denken und Fühlen, Stellung und Wirksamkeit der deutschen Frau, wie sie sich im Wandel der Jahrhunderte darstellen.

**Friedensbewegung** (s. a. Recht). Die moderne Friedensbewegung. Von Alfred H. Fried. (Nr. 157.)

Entwickelt das Wesen und die Ziele der Friedensbewegung, gibt dann eine Darstellung der Schiedsgerichtsbarkeit in ihrer Entwicklung und gegenwärtigem Umfang mit besonderer Berücksichtigung der hohen Bedeutung der Haager Friedenskonferenz, beschäftigt sich hierauf mit dem Abrüstungsproblem und gibt zum Schluß einen eingehenden Überblick über die Geschichte der Friedensbewegungen und eine chronologische Darstellung der für sie bedeutamen Ereignisse.

**Friedrich Fröbel.** Sein Leben und sein Wirken. Von Adele von Portugall. (Nr. 82.)

Lehrt die grundlegenden Gedanken der Methode Fröbels kennen und gibt einen Überblick seiner wichtigsten Schriften mit Betonung aller jener Kernaussprüche, die treuen und oft ratlosen Müttern als Wegweiser in Ausübung ihres hehrsten und heiligsten Berufes dienen können.

**Sunkentelegraphie.** Die Sunkentelegraphie. Von Ober-Postpraktikant H. Thurn. Mit 50 Illustrationen. (Nr. 167.)

Nach einer Übersicht über die elektrischen Vorgänge bei der Sunkentelegraphie und einer eingehenden Darstellung des Systems Telefunken werden die für die verschiedenen Anwendungsgebiete erforderlichen einzelnen Konstruktionstypen vorgeführt, (Schiffsstationen, Landstationen, Militärstationen und solche für den Eisenbahndienst), wobei nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik in jüngster Zeit ausgeführte Anlagen beschrieben werden. Danach wird der Einfluß der Sunkentelegraphie auf Wirtschaftsverkehr und das Wirtschaftsleben (im Handels- und Kriegesseeverkehr, für den Heeresdienst, für den Wetterdienst usw.) sowie im Anschluß daran die Regelung der Sunkentelegraphie im deutschen und internationalen Verkehr erörtert.

**Sürsorgewesen** s. Jugendfürsorge.

**Sürstentum.** Deutsches Sürstentum und deutsches Verfassungswesen. Von Professor Dr. E. Hubrich. (Nr. 80.)

Der Verfasser zeigt in großen Umrissen den Weg, auf dem deutsches Sürstentum und deutsche Volksfreiheit zu dem in der Gegenwart geltenden wechselseitigen Ausgleich gelangt sind, unter besonderer Berücksichtigung der preußischen Verfassungsverhältnisse. Nach kürzerer Beleuchtung der älteren Verfassungspartie schildert der Verfasser die Begründung des sürstlichen Absolutismus und demgegenüber das Erwachen, Fortschreiten und Siegen des modernen Konstitutionalismus.

**Gasmaschinen** s. Wärmekraftmaschinen.

**Geisteskrankheiten.** Von Anstaltsoberarzt Dr. Georg IIberg. (Nr. 151.)

Erörtert das Wesen der Geisteskrankheiten und an eingehend zur Darstellung gelangenden Beispielen die wichtigsten Formen geistiger Erkrankung, um so ihre Kenntnis zu fördern, die richtige Beurteilung der Zeichen geistiger Erkrankung und damit eine rechtzeitige verständnisvolle Behandlung derselben zu ermöglichen.

**Geographie** s. Entdeckungen; Japan; Kolonien; Mensch; Palästina; Polarforschung; Städte; Volksstämme; Wirtschaftsleben.

**Geologie** s. Erde.

**Germanen.** Germanische Kultur in der Urzeit. Von Dr. G. Steinhäusen. Mit 17 Abbildungen. (Nr. 75.)

Das Büchlein beruht auf eingehender Quellenforschung und gibt in fesselnder Darstellung einen Überblick über germanisches Leben von der Urzeit bis zur Berührung der Germanen mit der römischen Kultur.

—— Germanische Mythologie. Von Dr. Julius von Negelein. (Nr. 95.)

Der Verfasser gibt ein Bild germanischen Glaubenslebens, indem er die Äußerungen religiösen Lebens namentlich auch im Kultus und in den Gebräuchen des Aberglaubens aufsucht, sich überall bestrebt, das zugrunde liegende psychologische Motiv zu entdecken, die verwirrende Fülle mythischer Tatsachen und einzelner Namen aber demgegenüber zurücktreten läßt.

**Geschichte** (s. a. Amerika; Bildungswesen; Entdeckungen; Frauenleben; Sürstentum; Germanen; Japan; Jesuiten; Ingenieurtechnik; Kalender; Kriegswesen; Kultur; Kunstgeschichte; Literaturgeschichte; Luther; Münze; Musik; Palästina; Pompeji; Rom; Schulwesen; Städtewesen; Volksstämme; Welthandel; Wirtschaftsgeschichte).

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

### **Geschichte.** Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert. Von Professor Dr. K. Th. Heigel. (Nr. 129.)

Bietet eine knappe Darstellung der wichtigsten politischen Ereignisse vom Ausbruche der französischen Revolution bis zum Ausgange des 19. Jahrhunderts, womit eine Schilderung der politischen Ideen Hand in Hand geht und wobei überall Ursache und Folge, d. h. der innere Zusammenhang der einzelnen Vorgänge, dargelegt, auch Sinnesart und Taten wenigstens der einflussreichsten Persönlichkeiten gewürdigt werden.

### ——— Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Professor Dr. Otto Kar Weber. 2 Bändchen. (Nr. 123. 124.)

Ein knappes und doch eindrucksvolles Bild der nationalen und kulturellen Entwicklung der Neuzeit, das aus den vier Jahrhunderten je drei Persönlichkeiten herausgreift, die bestimmend eingegriffen haben in den Werdegang deutscher Geschichte. Der große Reformator, Regenten großer und kleiner Staaten, Generale, Diplomaten kommen zu Wort. Was Martin Luther einst geträumt: ein nationales deutsches Kaiserreich, unter Bismarck steht es begründet da.

### ——— 1848. Sechs Vorträge von Professor Dr. Otto Kar Weber. (Nr. 53.)

Bringt auf Grund des überreichen Materials in knapper Form eine Darstellung der wichtigen Ereignisse des Jahres 1848, dieser nahezu über ganz Europa verbreiteten großen Bewegung in ihrer bis zur Gegenwart reichenden Wirkung.

### ——— Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Professor Dr. Richard Schwemer. (Nr. 37.)

### ——— Die Reaktion und die neue Ära. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Professor Dr. Richard Schwemer. (Nr. 101.)

### ——— Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Professor Dr. Richard Schwemer. (Nr. 102.)

Die 3 Bändchen geben zusammen eine in Auffassung und Darstellung durchaus eigenartige Geschichte des deutschen Volkes im 19. Jahrhundert. „Restauration und Revolution“ behandelt das Leben und Streben des deutschen Volkes in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, von dem ersten Ausleuchten des Gedankens des nationalen Staates bis zu dem tragischen Sturze in der Mitte des Jahrhunderts. „Die Reaktion und die neue Ära“, beginnend mit der Zeit der Ermattung nach dem großen Aufschwung von 1848, stellt in den Mittelpunkt des Prinzen von Preußen und Otto von Bismarcks Schaffen. „Vom Bund zum Reich“ zeigt uns Bismarck mit sicherer Hand die Grundlage des Reiches vorbereitend und dann immer entschiedener allem Geschehenen das Gepräge seines Geistes verleihend.

### **Gesundheitslehre** (s. a. Alkoholismus; Ernährung; Frauenkrankheiten; Geisteskrankheiten; Haushalt; Heilwissenschaft; Krankenpflege; Leibesübungen; Mensch; Nervensystem; Säugling; Schulhygiene; Stimme; Tuberkulose). Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von Professor Dr. H. Buchner. 2. Auflage, besorgt von Professor Dr. M. Gruber. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. (Nr. 1.)

In klarer und überaus fesselnder Darstellung unterrichtet der Verfasser über die äußeren Lebensbedingungen des Menschen, über das Verhältnis von Luft, Licht und Wärme zum menschlichen Körper, über Kleidung und Wohnung, Bodenverhältnisse und Wasserversorgung, die Krankheiten erzeugenden Pilze und die Infektionskrankheiten, kurz über wichtige Fragen der Hygiene.

### **Gewerbe.** Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanwalt B. Tolksdorf. (Nr. 138.)

Nach einem allgemeinen Überblick über Entstehung und Entwicklung des gewerblichen Rechtsschutzes und einer Bestimmung der Begriffe Patent und Erfindung wird zunächst das deutsche

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Patentrecht behandelt, wobei der Gegenstand des Patentes, der Patentberechtigte, das Verfahren in Patentsachen, die Rechte und Pflichten des Patentinhabers, das Erlöschen des Patentrechtes und die Verletzung und Annahmung des Patentschutzes erörtert werden. Sodann wird das Muster- und Warenzeichenrecht dargestellt und dabei besonders Art und Gegenstand der Muster, ihre Nachbildung, Eintragung, Schutzdauer und Löschung klargelegt. Ein weiterer Abschnitt befaßt sich mit den internationalen Verträgen und dem Ausstellungsschutz. Zum Schlusse wird noch die Stellung der Patentanwälte besprochen.

### Handfertigkeit f. Knabenhandarbeit.

**Handwerk.** Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Direktor Dr. Ed. Otto. 2. Aufl. Mit 27 Abb. auf 8 Tafeln. (Nr. 14.)

Eine Darstellung der Entwicklung des deutschen Handwerks bis in die neueste Zeit, der großen Umwälzung aller wirtschaftlichen Verhältnisse im Zeitalter der Eisenbahnen und Dampfmaschinen und der Handwerkerbewegungen des 19. Jahrhunderts, wie des älteren Handwerkslebens, seiner Sitten, Bräuche und Dichtung.

**Haus** (f. a. Kunst). Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Professor Dr. Rudolf Meringer. Mit 106 Abbildungen, darunter 85 von Professor A. von Schroetter. (Nr. 116.)

Das Buch will das Interesse an dem deutschen Haus, wie es geworden ist, fördern; mit zahlreichen künstlerischen Illustrationen ausgestattet, behandelt es nach dem „Herbshaus“ das oberdeutsche Haus, führt dann anschaulich die Einrichtung der für dieses charakteristischen Stube, den Ofen, den Tisch, das Egggerät vor und gibt einen Überblick über die Herkunft von Haus und Hausrat.

——— Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Regierungsbaumeister a. D. Chr. Rand. Mit 70 Abbildungen. (Nr. 121.)

Der Verfasser führt den Leser in das Haus des germanischen Landwirtes und zeigt dessen Entwicklung, wendet sich dann dem Hause der slawischen Bauern zu, um hierauf die Entwicklung des deutschen Bauernhauses während des Mittelalters darzustellen und mit einer Schilderung der heutigen Form des deutschen Bauernhauses zu schließen.

**Haushalt** (f. a. Kaffee). Die Naturwissenschaften im Haushalt. Von Dr. J. Bongardt. 2 Bändchen. (Nr. 125. 126.)

1. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für die Gesundheit der Familie? Mit 31 Abbildungen.
- II. Teil: Wie sorgt die Hausfrau für gute Nahrung? Mit 17 Abbildungen.

Selbst gebildete Hausfrauen können sich Fragen nicht beantworten wie die, weshalb sie z. B. kondensierte Milch auch in der heißen Zeit in offenen Gefäßen aufbewahren können, weshalb sie hartem Wasser Soda zusetzen, weshalb Obst im kupfernen Kessel nicht ertalten soll. Da soll hier an der Hand einfacher Beispiele, unterstützt durch Experimente und Abbildungen, das naturwissenschaftliche Denken der Leserinnen so geschult werden, daß sie befähigt werden, auch solche Fragen selbst zu beantworten, die das Buch unberücksichtigt läßt.

——— Chemie in Küche und Haus. Von Professor Dr. G. Abel. Mit Abbildungen im Text und einer mehrfarbigen Doppeltafel. (Nr. 76.)

Das Bändchen will Gelegenheit bieten, die in Küche und Haus täglich sich vollziehenden chemischen und physikalischen Prozesse richtig zu beobachten und nutzbringend zu verwerten. So wird Heizung und Beleuchtung, vor allem aber die Ernährung erörtert, werden tierische und pflanzliche Nahrungsmittel, Genussmittel und Getränke behandelt.

### Handn f. Musik.

**Heilwissenschaft** (s. a. Auge; Geisteskrankheiten; Gesundheitslehre; Krankenpflege; Säugling). Die moderne Heilwissenschaft. Wesen u. Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernacki. Deutsch von Badearzt Dr. S. Ebel. (Nr. 25.)

Will in den Inhalt des ärztlichen Wissens und Könnens von einem allgemeineren Standpunkte aus einführen, indem die geschichtliche Entwicklung der medizinischen Grundbegriffe, die Leistungsfähigkeit und die Fortschritte der modernen Heilkunst, die Beziehungen zwischen der Diagnose und der Behandlung der Krankheit, sowie die Grenzen der modernen Diagnostik behandelt werden.

—— Der Aberglaube in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben. Von Professor Dr. D. von Hansemann. (Nr. 83.)

Behandelt alle menschlichen Verhältnisse, die in irgend einer Beziehung zu Leben und Gesundheit stehen, besonders mit Rücksicht auf viele schädliche Aberglauben, die geeignet sind, Krankheiten zu fördern, die Gesundheit herabzusetzen und auch in moralischer Beziehung zu schädigen.

**Herbarts Lehren und Leben.** Von Pastor O. Flügel. (Nr. 164.)

Herbarts Lehre zu kennen, ist für den Philosophen wie für den Pädagogen gleich wichtig. Aber seine eigenartige Terminologie und Deduktionsweise erschwert das Einleben in seine Gedankengebilde. Flügel übernimmt es mit musterhaftem Geschick, der Interpret des Meisters zu sein, dessen Werdegang zu prüfen, seine Philosophie und Pädagogik gemeinverständlich darzustellen.

**Hilfsschulwesen** (s. a. Geisteskrankheiten; Jugendfürsorge). Vom Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Nr. 73.)

Es wird in kurzen Zügen eine Theorie und Praxis der Hilfsschulpädagogik gegeben. An Hand der vorhandenen Literatur und auf Grund von Erfahrungen wird nicht allein zusammengestellt, was bereits gelehrt worden ist, sondern auch hervorgehoben, was noch der Entwicklung und Bearbeitung harret.

**Japan** (s. a. Kunst). Die Japaner und ihre wirtschaftliche Entwicklung. Von Professor Dr. K. Rathgen. (Nr. 72.)

Vermag auf Grund eigener langjähriger Erfahrung ein wirkliches Verständnis der merkwürdigen und für uns wirtschaftlich so wichtigen Erscheinung der fabelhaften Entwicklung Japans zu eröffnen.

**Jesuiten.** Die Jesuiten. Eine historische Skizze von Professor Dr. H. Boehmer. (Nr. 49.)

Ein Büchlein nicht für oder gegen, sondern über die Jesuiten, also der Versuch einer gerechten Würdigung des vielgenannten Ordens, das nicht nur von der sogenannten Jesuitenmoral oder von der Ordensverfassung, sondern auch von der Jesuitenschule, von den Leistungen des Ordens auf dem Gebiete der geistigen Kultur, von dem Jesuitenstaate usw. handelt.

**Jesus** (s. a. Bibel; Christentum; Religion). Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Professor Dr. H. Weinel. 2. Auflage. (Nr. 46.)

Will gegenüber kirchlicher und nichtkirchlicher Allegorisierung der Gleichnisse Jesu mit ihrer richtigen, wörtlichen Auffassung bekannt machen und verbindet damit eine Einführung in die Arbeit der modernen Theologie.

—— Jesus und seine Zeitgenossen. Von Pastor K. Bonhoff. (Nr. 89.)

Die ganze Herbeheit und köstliche Frische des Volkskindes, die hinreißende Hochherzigkeit und prophetische Überlegenheit des genialen Volksmannes, die reife Weisheit des Jüngerbildners und die religiöse Tiefe und Weite des Evangeliumverkünders von Nazareth wird erst empfunden, wenn man ihn in seinem Verkehr mit den ihn umgebenden Menschengestalten, Volks- und Parteigruppen zu verstehen sucht, wie es dieses Büchlein tun will.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Jesus.** Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer Dr. Paul Mehlhorn. (Nr. 137.)

Will zeigen, was von dem im Neuen Testament uns überlieferten Leben Jesu als wirklicher Tatbestand festzuhalten, was als Sage oder Dichtung zu betrachten ist, durch Darlegung der Grundzüge, nach denen die Scheidung des geschichtlich Glaubwürdigen und der es umrankenden Phantasiegebilde vorzunehmen ist und durch Vollziehung der so gekennzeichneten Art chemischer Analyse an den wichtigsten Stoffen des „Lebens Jesu“.

**Illustrationskunst.** Die deutsche Illustration. Von Professor Dr. Rudolf Kautsch. Mit 35 Abbildungen. (Nr. 44.)

Behandelt ein besonders wichtiges und besonders lehrreiches Gebiet der Kunst und leistet zugleich, indem es an der Hand der Geschichte das Charakteristische der Illustration als Kunst zu erforschen sucht, ein gut Stück „Kunsterziehung“.

**Ingenieurtechnik.** Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Baurat Kurt Merdel. 2. Auflage. Mit 55 Abbildungen im Text und auf Tafeln. (Nr. 28.)

Führt eine Reihe hervorragender und interessanter Ingenieurbauten nach ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung vor: die Gebirgsbahnen, die Bergbahnen, und als deren Vorläufer die bedeutenden Gebirgsstraßen der Schweiz und Tirols, die großen Eisenbahnverbindungen in Asien, endlich die modernen Kanal- und Hafengebäude.

—— Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat Kurt Merdel. Mit 43 Abbildungen im Text und auf einer Doppeltafel. (Nr. 60.)

Zeigt in einer Schilderung der Ingenieurbauten der Babylonier und Assyrer, der Ingenieurtechnik der alten Ägypter unter vergleichsweise Behandlung der modernen Irrigationsanlagen daselbst, der Schöpfungen der antiken griechischen Ingenieure, des Städtebaues im Altertum und der römischen Wasserleitungsbauten die hohen Leistungen der Völker des Altertums.

**Israel s. Religion.**

**Jugend = Fürsorge.** Von Direktor Dr. Joh. Petersen. 2 Bände. (Nr. 161. 162.)

Band I: Die öffentliche Fürsorge für die hilfsbedürftige Jugend.

Band II: Die öffentliche Fürsorge für die sittlich gefährdete und die gewerblich tätige Jugend.

Erörtert alle das Fürsorgewesen betreffenden Fragen, deckt die ihm anhaftenden Mängel auf, zeigt zugleich aber auch die Mittel und Wege zu ihrer Beseitigung. Besonders eingehend werden behandelt in dem 1. Bändchen das Vormundschaftsrecht, die Säuglingssterblichkeit, die Fürsorge für uneheliche Kinder, die Gemeindegewerkschaftspflege, die Vor- und Nachteile der Anstalts- und Familienpflege, in dem 2. Bändchen die gewerbliche Ausnutzung der Kinder und der Kinderhülfe im Gewerbe, die Kriminalität der Jugend und die Zwangserziehung, die Fürsorge für die schulentlassene Jugend.

**Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Aufgussgetränke** (s. a. Ernährung; Haushalt). Von Professor Dr. A. Wieler. Mit 24 Abbildungen und 1 Karte. (Nr. 132.)

Behandelt, durch zweckentsprechende Abbildungen unterstützt, Kaffee, Tee und Kakao eingehender, Mate und Kola kürzer, in bezug auf die botanische Abstammung, die natürliche Verbreitung der Stammpflanzen, die Verbreitung ihrer Kultur, die Wachstumsbedingungen und die Kulturmethoden, die Erntezeit und die Ernte, endlich die Gewinnung der fertigen Ware, wie der Weltmarkt sie aufnimmt, aus dem geernteten Produkte.

**Kakao s. Kaffee.**

**Kalender.** Der Kalender. Von Professor Dr. W. F. Wislicenus. (Nr. 69.)

Erklärt die astronomischen Erscheinungen, die für unsere Zeitrechnung von Bedeutung sind, und schildert die historische Entwicklung des Kalenderwesens vom römischen Kalender ausgehend, den Werdegang der christlichen Kalender bis auf die neueste Zeit verfolgend, setzt ihre Einrichtungen auseinander und lehrt die Berechnung kalendrischer Angaben für Vergangenheit und Zukunft, sie durch zahlreiche Beispiele erläuternd.

**Kant** (s. a. Philosophie). Immanuel Kant; Darstellung und Würdigung. Von Professor Dr. O. Külpe. Mit einem Bildnisse Kants. (Nr. 146.)

Kant hat durch seine grundlegenden Werke ein neues Fundament für die Philosophie aller Völker und Zeiten geschaffen. Dieses in seiner Tragfähigkeit für moderne Ideen darzustellen, hat sich der Verfasser zur Aufgabe gestellt. Es ist ihm gelungen, den wirklichen Kant mit historischer Treue zu schildern und auch zu beleuchten, wie die Nachwelt berufen ist, hinauszustreben über die Anschauungen des gewaltigen Denkers, da auch er ein Kind seiner Zeit ist und manche seiner Lehrmeinungen vergänglich von Art sein müssen.

**Kinderpflege** s. Säugling.

**Knabenhandarbeit.** Die Knabenhandarbeit in der heutigen Erziehung. Von Seminardirektor Dr. Alw. Pabst. Mit 21 Abbildungen im Text und 1 Titelbild. (Nr. 140.)

Gibt einen Überblick über die Geschichte des Knabenhandarbeitsunterrichts, untersucht seine Stellung im Lichte der modernen pädagogischen Strömungen und erhärtet seinen Wert als Erziehungsmittel, erörtert sodann die Art des Betriebes in den verschiedenen Schulen und gibt zum Schlusse eine vergleichende Darstellung der Systeme in den verschiedenen Ländern.

**Kolonien.** Die deutschen Kolonien. Land und Leute. Von Dr. Adolf Heilborn. Mit zahlreichen Abbildungen und 2 Karten. (Nr. 98.)

Bringt auf engem Raume eine durch Abbildungen und Karten unterstützte, wissenschaftlich genaue Schilderung der deutschen Kolonien, sowie eine einwandfreie Darstellung ihrer Völker nach Nahrung und Kleidung, Haus und Gemeindeleben, Sitte und Recht, Glaube und Aberglaube, Arbeit und Vergnügen, Gewerbe und Handel, Waffen und Kampfweise.

**Kraftfahrzeuge** s. Automobil.

**Krankenpflege.** Vorträge gehalten von Chirurgen Dr. B. Leid. (Nr. 152.)

Gibt zunächst einen Überblick über Bau und Funktion der inneren Organe des Körpers und deren hauptsächlichste Erkrankungen und erörtert dann die hiebei zu ergreifenden Maßnahmen. Besonders eingehend wird die Krankenpflege bei Infektionskrankheiten sowie bei plötzlichen Unglücksfällen und Erkrankungen behandelt.

**Kriegswesen.** Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert. Zwanglose Skizzen von Major O. von Sothen. Mit 9 Übersichtskärtchen. (Nr. 59.)

In einzelnen Abschnitten wird insbesondere die Napoleonische und Moltkesche Kriegsführung an Beispielen (Jena-Königsgrätz-Sedan) dargestellt und durch Karten-Skizzen erläutert. Damit verbunden sind kurze Schilderungen der preussischen Armee von 1806 und nach den Befreiungskriegen, sowie nach der Reorganisation von 1860, endlich des deutschen Heeres von 1870 bis zur Jetztzeit.

— Der Seekrieg. Seine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart. Von Kurt Freiherr von Malzahn, Vize-Admiral a. D. (Nr. 99.)

Der Verf. bringt den Seekrieg als Kriegsmittel wie als Mittel der Politik zur Darstellung, indem er zunächst die Entwicklung der Kriegsflotte und der Seekriegsmittel schildert und dann die heutigen Weltwirtschaftsstaaten und den Seekrieg behandelt, wobei er besonders das Abhängigkeitsverhältnis, in dem unsere Weltwirtschaftsstaaten kommerziell und politisch zu den Verkehrswegen der See stehen, darstellt.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Kultur** (s. a. Germanen; Geschichte; griech. Städtebilder). Die Anfänge der menschlichen Kultur. Von Professor Dr. Ludwig Stein. (Nr. 95.)

Behandelt in der Überzeugung, daß die Kulturprobleme der Gegenwart sich uns nur durch einen tieferen Einblick in ihren Werdegang erschließen, Natur und Kultur, den vorgeschichtlichen Menschen, die Anfänge der Arbeitsteilung, die Anfänge der Rassenbildung, ferner die Anfänge der wirtschaftlichen, intellektuellen, moralischen und sozialen Kultur.

**Kunst** (s. a. Baukunst; Dürer; Städtebilder; Illustrationskunst; Rembrandt; Schriftwesen). Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Direktor Dr. Theodor Volbehr. Mit 44 Abbildungen. (Nr. 68.)

Führt von einem neuen Standpunkte aus in das Verständnis des Wesens der bildenden Kunst ein, erörtert die Grundlagen der menschlichen Gestaltungskraft und zeigt, wie das künstlerische Interesse sich allmählich weitere und immer weitere Stoffgebiete erobert.

—— **Kunstpflege in Haus und Heimat.** Von Superintendent R. Bürkner. Mit 14 Abbildungen. (Nr. 77.)

Will, ausgehend von der Überzeugung, daß zu einem vollen Menschensein und Volkstum die Pflege des Schönen unabwiesbar gehört, die Augen zum rechten Sehen öffnen lehren und die ganze Lebensführung, Kleidung und Häuslichkeit ästhetisch gestalten, um so auch zur Erkenntnis dessen zu führen, was an Heimatkunst und Heimatschutz zu hegen ist, und auf diesem großen Gebiete persönlichen und allgemeinen ästhetischen Lebens ein praktischer Ratgeber sein.

—— **Die ostasiatische Kunst und ihre Einwirkung auf Europa.** Von Direktor Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. im Text und auf 1 Doppeltafel. (Nr. 87.)

Bringt die bedeutungsvolle Einwirkung der japanischen und chinesischen Kunst auf die europäische zur Darstellung unter Mitteilung eines reichen Bildermaterials, den Einfluß Chinas auf die Entwicklung der zum Rokoko drängenden freien Richtungen in der dekorativen Kunst des 18. Jahrhunderts wie den auf die Entwicklung des 19. Jahrhunderts. Der Verfasser weist auf die Beziehungen der Malerei und Farbendruckkunst Japans zum Impressionismus der modernen europäischen Kunst hin.

**Leben.** Die Erscheinungen des Lebens. Grundprobleme der modernen Biologie. Von Privatdozent Dr. H. Mische. Mit 46 Figuren im Text. (Nr. 130.)

Ver sucht eine umfassende Totalansicht des organischen Lebens zu geben, indem nach einer Erörterung der spekulativen Vorstellungen über das Leben und einer Beschreibung des Protoplasmas und der Zelle die hauptsächlichsten Ausprägungen des Lebens behandelt werden, als Entwicklung, Ernährung, Atmung, das Sinnesleben, die Fortpflanzung, der Tod, die Variabilität und im Anschluß daran die Theorien über Entstehung und Entwicklung der Lebewelt, sowie die mannigfachen Beziehungen der Lebewesen untereinander.

**Leibesübungen.** Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Professor Dr. R. Zander. 2. Auflage. Mit 19 Abb. (Nr. 13.)

Will darüber aufklären, weshalb und unter welchen Umständen die Leibesübungen segensreich wirken, indem es ihr Wesen, andererseits die in Betracht kommenden Organe bespricht; erörtert besonders die Wechselbeziehungen zwischen körperlicher und geistiger Arbeit, die Leibesübungen der Frauen, die Bedeutung des Sportes und die Gefahren der sportlichen Übertreibungen.

**Licht** (s. a. Beleuchtungsarten; Chemie). Das Licht und die Farben. Sechs Vorlesungen, gehalten im Volkshochschulverein München. Von Professor Dr. E. Graeg. 2. Auflage. Mit 116 Abbildungen. (Nr. 17.)

Führt, von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben, behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungsercheinungen und die Photographie.

**Literaturgeschichte** s. Drama; Schiller; Theater; Volkslied.

**Luther** (s. a. Geschichte). Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein kritischer Bericht. Von Professor Dr. H. Boehmer. (Nr. 113.)

Versucht durch sorgfältige historische Untersuchung eine erschöpfende Darstellung von Luthers Leben und Wirken zu geben, die Persönlichkeit des Reformators aus ihrer Zeit heraus zu erfassen, ihre Schwächen und Stärken beleuchtend zu einem wahrheitsgetreuen Bilde zu gelangen, und gibt so nicht nur ein psychologisches Porträt, sondern bietet zugleich ein interessantes Stück Kulturgeschichte.

**Mädchenschule** (s. a. Bildungswesen; Schulwesen). Die höhere Mädchenschule in Deutschland. Von Oberlehrerin M. Martin. (Nr. 65.)

Bietet aus berufenster Feder eine Darstellung der Ziele, der historischen Entwicklung, der heutigen Gestalt und der Zukunftsaufgaben der höheren Mädchenschulen.

**Mathematische Spiele** (s. a. Arithmetik). Von Dr. W. Ahrens. (Nr. 170.)

Sucht in das Verständnis all der Spiele, die „ungleich voll von Nachdenken“ vergnügen, weil man bei ihnen rechnet, ohne Voraussetzung irgend welcher mathematischer Kenntnisse einzuführen und so ihren Reiz für Nachdenkliche erheblich zu erhöhen. So werden unter Beigabe von einfachen, das Mitarbeiten des Lesers belebenden Fragen Wettpringen, Boß-Puzzle, Solitär- oder Einsiedlerspiel, Wanderungsspiele, Dnadsische Spiele, der Baguenaudier, Mim, der Kösselsprung und die Magischen Quadrate behandelt.

**Meeresforschung.** Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. O. Janson. 2. Auflage. Mit 41 Figuren. (Nr. 30.)

Schildert kurz und lebendig die Fortschritte der modernen Meeresuntersuchung auf geographischem, physikalisch-chemischem und biologischem Gebiete, die Verteilung von Wasser und Land auf der Erde, die Tiefen des Meeres, die physikalischen und chemischen Verhältnisse des Meerwassers, endlich die wichtigsten Organismen des Meeres, die Pflanzen und Tiere.

**Mensch** (s. a. Auge; Kultur; Stimme). Der Mensch. Sechs Vorlesungen a. d. Gebiete der Anthropologie. Von Dr. A. Heilborn. Mit zahlr. Abb. (Nr. 62.)

Stellt die Lehren der „Wissenschaft aller Wissenschaften“ streng sachlich und doch durchaus vollständig dar: das Wissen vom Ursprung des Menschen, die Entwicklungsgeschichte des Individuums, die künstlerische Betrachtung der Proportionen des menschlichen Körpers und die streng wissenschaftlichen Meßmethoden (Schädelmessung usw.), behandelt ferner die Menschenrassen, die rassenanatomischen Verschiedenheiten, den Tertiärmenschen.

—— **Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.** Von Privatdozent Dr. H. Sachs. 2. Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Nr. 32.)

Stellt eine Reihe schematischer Abbildungen dar, erläutert die Einrichtung und die Tätigkeit der einzelnen Organe des Körpers und zeigt dabei vor allem, wie diese einzelnen Organe in ihrer Tätigkeit aufeinander einwirken, miteinander zusammenhängen und so den menschlichen Körper zu einem einheitlichen Ganzen, zu einem wohlgeordneten Staate machen.

—— **Die Seele des Menschen.** Von Prof. Dr. J. Rehmke. 2. Aufl. (Nr. 36.)

Behandelt, von der Tatsache ausgehend, daß der Mensch eine Seele habe, die ebenso gewiß sei wie die andere, daß der Körper eine Gestalt habe, das Seelenwesen und das Seelenleben und erörtert, unter Abwehr der materialistischen und halbmaterialistischen Anschauungen, von dem Standpunkt aus, daß die Seele Untörperliches Immaterielles sei, nicht etwa eine Bestimmtheit des menschlichen Einzelwesens, auch nicht eine Wirkung oder eine „Funktion“ des Gehirns, die verschiedenen Tätigkeitsäußerungen des als Seele Erkannten.

—— **Die fünf Sinne des Menschen.** Von Professor Dr. Jos. Clem. Kreibitz. Mit 30 Abbildungen im Text. 2. Auflage. (Nr. 27.)

Beantwortet die Fragen über die Bedeutung, Anzahl, Benennung und Leistungen der Sinne in gemeinschaftlicher Weise, indem das Organ und seine Funktionsweise, dann die als Reiz wirkenden äußeren Ursachen und zuletzt der Inhalt, die Stärke, das räumliche und zeitliche Merkmal der Empfindungen besprochen werden.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Mensch und Erde.** Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Prof. Dr. A. Kirchhoff. 2. Aufl. (Nr. 31.) Zeigt, wie die Ländernatur auf den Menschen und seine Kultur einwirkt, durch Schilderungen allgemeiner und besonderer Art, über Steppen- und Wüstenvölker, über die Entstehung von Nationen, wie Deutschland und China u. a. m.

— **und Tier.** Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Professor Dr. Karl Edstein. Mit 31 Abbildungen im Text. (Nr. 18.)

Der hohe wirtschaftliche Bedeutung beanspruchende Kampf erfährt eine eingehende, ebenso interessante wie lehrreiche Darstellung; besonders werden die Kampfmittel beider Gegner geschildert: Schußwaffen, Fallen, Gifte, oder auch besondere Wirtschaftsmethoden, dort spitze Krallen, scharfer Zahn, fürchtbares Gift, List und Gewandtheit, der Schutzfärbung und Anpassungsfähigkeit nicht zu vergessen.

**Menschenleben.** Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. UnoId. 2. Auflage. (Nr. 12.)

Beantwortet die Frage: Gibt es keine bindenden Regeln des menschlichen Handelns? in zureichend befähender, zugleich wohl begründeter Weise und entwirft die Grundzüge einer wissenschaftlich haltbaren und für eine nationale Erziehung brauchbaren Lebensanschauung und Lebensordnung.

**Metalle.** Die Metalle. Von Professor Dr. K. Scheid. Mit 16 Abb. (Nr. 29.)

Behandelt die für Kulturleben und Industrie wichtigen Metalle, schildert die mutmaßliche Bildung der Erze, die Gewinnung der Metalle aus den Erzen, das Hüttenwesen mit seinen verschiedenen Systemen, die Fundorte der Metalle, ihre Eigenschaften und Verwendung, unter Angabe historischer, kulturgeschichtlicher und statistischer Daten, sowie die Verarbeitung der Metalle.

**Meteorologie** s. Wetter.

**Mikroskop** (s. a. Optik; Tierwelt). Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung, gemeinverständlich dargestellt. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abbildungen im Text und einer Tafel. (Nr. 35.)

Nach Erläuterung der optischen Konstruktion und Wirkung des Mikroskops, und Darstellung der historischen Entwicklung wird eine Beschreibung der modernsten Mikroskoptypen, Hilfsapparate und Instrumente gegeben, endlich gezeigt, wie die mikroskopische Untersuchung die Einsicht in Naturvorgänge vertieft.

**Moleküle.** Moleküle — Atome — Weltäther. Von Professor Dr. G. Mie. 2. Auflage. Mit 27 Figuren im Text. (Nr. 58.)

Stellt die physikalische Atomlehre als die kurze, logische Zusammenfassung einer großen Menge physikalischer Tatsachen unter einem Begriffe dar, die ausführlich und nach Möglichkeit als einzelne Experimente geschildert werden.

**Mond** (s. a. Weltall). Der Mond. Von Professor Dr. J. Franz. Mit 31 Abbildungen im Text und auf 2 Doppeltafeln. (Nr. 90.)

Gibt die Ergebnisse der neueren Mondforschung wieder, erörtert die Mondbewegung und Mondbahn, bespricht den Einfluß des Mondes auf die Erde und behandelt die Fragen der Oberflächenbedingungen des Mondes und die charakteristischen Mondgebilde anschaulich zusammengefaßt in „Beobachtungen eines Mondbewohners“, endlich die Bewohnbarkeit des Mondes.

**Mozart** s. Musik.

**Münze.** Die Münze als historisches Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abbildungen im Text. (Nr. 91.)

Zeigt, wie Münzen als geschichtliche Überbleibsel der Vergangenheit zur Aufhellung der wirtschaftlichen Zustände und der Rechtsverhältnisse früherer Zeiten dienen, die verschiedenen Arten von Münzen, ihre äußeren und inneren Merkmale sowie ihre Herstellung werden in historischer Entwicklung dargelegt und im Anschluß daran Münzsammlern beherzigenswerte Winke gegeben.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Musik.** Einführung in das Wesen der Musik. Von Professor C. R. Hennig. (Nr. 119.)

Die hier gegebene Ästhetik der Tonkunst untersucht das Wesen des Tones als eines Kunstmaterials; sie prüft die Natur der Darstellungsmittel und untersucht die Objekte der Darstellung, indem sie klarlegt, welche Ideen im musikalischen Kunstwerke gemäß der Natur des Tonmaterials und der Darstellungsmittel in idealer Gestaltung zur Darstellung gebracht werden können.

——— **Geschichte der Musik.** Von Dr. Friedrich Spiro. (Nr. 143.)

Gibt in großen Zügen eine übersichtliche äußerst lebendig gehaltene Darstellung von der Entwicklung der Musik vom Altertum bis zur Gegenwart mit besonderer Berücksichtigung der führenden Persönlichkeiten und der großen Strömungen und unter strenger Ausscheidung alles dessen, was für die Entwicklung der Musik ohne Bedeutung war.

——— **Handn, Mozart, Beethoven.** Mit vier Bildnissen auf Tafeln. Von Professor Dr. C. Krebs. (Nr. 92.)

Eine Darstellung des Entwicklungsganges und der Bedeutung eines jeden der drei großen Komponisten für die Musikgeschichte. Sie gibt mit wenigen, aber scharfen Strichen ein Bild der menschlichen Persönlichkeit und des künstlerischen Wesens der drei Heroen mit Hervorhebung dessen, was ein jeder aus seiner Zeit geschöpft und was er aus eigenem hinzugebracht hat.

**Muttersprache.** Entstehung und Entwicklung unserer Muttersprache. Von Professor Dr. Wilhelm Uhl. Mit vielen Abbildungen im Text und auf Tafeln, sowie mit 1 Karte. (Nr. 84.)

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der sprachlich-wissenschaftlich lautphysiologischen wie der philologisch-germanistischen Forschung, die Ursprung und Organ, Bau und Bildung, andererseits die Hauptperioden der Entwicklung unserer Muttersprache zur Darstellung bringt.

**Mythologie** s. Germanen.

**Nahrungsmittel** s. Alkoholismus; Chemie; Ernährung; Haushalt; Kaffee.

**Nationalökonomie** s. Arbeiterschutz; Bevölkerungslehre; Soziale Bewegungen; Frauenbewegung; Schiffahrt; Welthandel; Wirtschaftsleben.

**Naturlehre.** Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Professor Dr. Felix Auerbach. 2. Auflage. Mit 79 Figuren im Text. (Nr. 40.)

Eine zusammenhängende, für jeden Gebildeten verständliche Entwicklung der in der modernen Naturlehre eine allgemeine und exakte Rolle spielenden Begriffe Raum und Bewegung, Kraft und Masse und die allgemeinen Eigenschaften der Materie, Arbeit, Energie und Entropie.

**Naturwissenschaften** s. Abstammungslehre; Ameisen; Astronomie; Befruchtungsvorgang; Chemie; Erde; Haushalt; Licht; Meeresforschung; Mensch; Moleküle; Naturlehre; Obstbau; Pflanzen; Plankton; Religion; Strahlen; Tierleben; Wald; Weltall; Wetter.

**Nervensystem.** Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele im gesunden und kranken Zustande. Von Professor Dr. R. Sander. Mit 27 Figuren im Text. (Nr. 48.)

Erörtert die Bedeutung der nervösen Vorgänge für den Körper, die Geistestätigkeit und das Seelenleben und sucht klarzulegen, unter welchen Bedingungen Störungen der nervösen Vorgänge auftreten, wie sie zu beseitigen und zu vermeiden sind.

**Obstbau.** Der Obstbau. Von Dr. Ernst Voges. Mit 13 Abbildungen im Text. (Nr. 107.)

Will über die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen des Obstbaues, sowie seine Naturgeschichte und große volkswirtschaftliche Bedeutung unterrichten. Die Geschichte des Obstbaues, das Leben des Obstbaumes, Obstbaumpflege und Obstbaumschutz, die wissenschaftliche Obstkunde, die Ästhetik des Obstbaues gelangen zur Behandlung.

**Optik** (s. a. Mikroskop; Stereoskop). Die optischen Instrumente. Von Dr. M. von Rohr. Mit 84 Abbildungen im Text. (Nr. 88.)

Gibt eine elementare Darstellung der optischen Instrumente nach modernen Anschauungen, wobei weder das Ultramikroskop noch die neuen Apparate zur Mikrophotographie mit ultraviolettem Licht (Monochromate), weder die Prismen- noch die Zielfernrohre, weder die Projektionsapparate noch die stereostopischen Entfernungsmesser und der Stereotomparator fehlen.

**Ostasien** s. Kunst.

**Pädagogik** (s. a. Bildungswesen; Erziehung; Fröbel; Herbart; Hilfsschulwesen; Jugendfürsorge; Knabenhandarbeit; Mädchenschule; Schulwesen). Allgemeine Pädagogik. Von Professor Dr. Th. Ziegler. 2. Aufl. (Nr. 33.)

Behandelt die großen Fragen der Volkserziehung in praktischer, allgemeinverständlicher Weise und in sittlich-sozialem Geiste. Die Zwecke und Motive der Erziehung, das Erziehungsgeschäft selbst, dessen Organisation werden erörtert, die verschiedenen Schulgattungen dargestellt.

**Palästina.** Palästina und seine Geschichte. Sechs Vorträge von Professor Dr. H. Freiherr von Soden. 2. Auflage. Mit 2 Karten und 1 Plan von Jerusalem und 6 Ansichten des Heiligen Landes. (Nr. 6.)

Ein Bild, nicht nur des Landes selbst, sondern auch alles dessen, was aus ihm hervor- oder über es hingegangen ist im Laufe der Jahrhunderte — ein wechselvolles, farbenreiches Bild, in dessen Verlauf die Patriarchen Israels und die Kreuzfahrer, David und Christus, die alten Assyrer und die Scharen Mohammeds einander ablösen.

**Patentrecht** s. Gewerbe.

**Pflanzen** (s. a. Obstbau; Plankton; Tierleben). Unsere wichtigsten Kulturpflanzen. (Die Getreidegräser.) Sechs Vorträge aus der Pflanzenkunde. Von Professor Dr. K. Giesenhagen. Mit 38 Figuren im Text. 2. Auflage. (Nr. 10.)

Behandelt die Getreidepflanzen und ihren Anbau nach botanischen wie kulturgeschichtlichen Gesichtspunkten, damit zugleich in anschaulichster Form allgemeine botanische Kenntnisse vermittelnd.

—— Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Privatdozent Dr. Ernst Küster. Mit 38 Abbildungen im Text. (Nr. 112.)

Gibt eine kurze Übersicht über die wichtigsten Formen der vegetativen Vermehrung und beschäftigt sich eingehend mit der Sexualität der Pflanzen, deren überraschend vielfache und mannigfaltige Ausprägungen, ihre große Verbreitung im Pflanzenreich und ihre in allen Einzelheiten erkennbare Übereinstimmung mit der Sexualität der Tiere zur Darstellung gelangen.

**Philosophie** (s. a. Buddha; Herbart; Kant; Menschenleben; Schopenhauer; Weltanschauung; Weltproblem). Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Professor Dr. O. Külpe. 3. Auflage. (Nr. 41.)

Schildert die vier Hauptrichtungen der deutschen Philosophie der Gegenwart, den Positivismus, Materialismus, Naturalismus und Idealismus, nicht nur im allgemeinen, sondern auch durch eingehendere Würdigung einzelner typischer Vertreter wie Mach und Dühring, Haedel, Nietzsche, Sechner, Loze, v. Hartmann und Wundt.

**Philosophie.** Einführung in die Philosophie. Sechs Vorträge von Professor Raoul Richter. (Nr. 155.)

Bietet eine gemeinverständliche Darstellung der philosophischen Hauptprobleme und der Richtung ihrer Lösung, insbesondere des Erkenntnisproblems und nimmt dabei zu den Standpunkten des Materialismus, Spiritualismus, Theismus und Pantheismus Stellung, um zum Schlusse die religions- und moralphilosophischen Fragen zu beleuchten.

**Physik** s. Licht; Mikroskop; Moleküle; Naturlehre; Optik; Strahlen.

**Plankton.** Das Süßwasser-Plankton. Einführung in die freischwebende Organismenwelt unserer Teiche, Flüsse und Seebecken. Von Dr. Otto Zacharias. Mit 49 Abbildungen. (Nr. 156.)

Gibt eine Anleitung zur Kenntnis der interessantesten Planktonorganismen, jener mikroskopisch kleinen und für die Existenz der höheren Lebewesen und für die Naturgeschichte der Gewässer so wichtigen Tiere und Pflanzen. Die wichtigsten Formen werden vorgeführt und die merkwürdigen Lebensverhältnisse und -bedingungen dieser unsichtbaren Welt einfach und doch vielseitig erörtert.

**Polarforschung.** Die Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Professor Dr. Kurt Hassert. Mit 6 Karten auf 2 Tafeln. (Nr. 38.)

Das in der neuen Auflage bis auf die Gegenwart fortgeführte und im einzelnen nicht unerheblich umgestaltete Buch faßt in gedrängtem Überblick die Hauptergebnisse der Nord- und Südpolarforschung zusammen. Nach gemeinverständlicher Erörterung der Ziele arktischer und antarktischer Forschung werden die Polarreisen selbst von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart geschildert unter besonderer Berücksichtigung der topographischen Ergebnisse.

**Pompeji,** eine hellenistische Stadt in Italien. Von Hofrat Professor Dr. Fr. v. Duhn. Mit 62 Abbildungen. (Nr. 114.)

Sucht, durch zahlreiche Abbildungen unterstützt, an dem besonders greifbaren Beispiel Pompejis die Übertragung der griechischen Kultur und Kunst nach Italien, ihr Werden zur Weltkultur und Weltkunst verständlich zu machen, wobei die Hauptphasen der Entwicklung Pompejis, immer im Hinblick auf die gestaltende Bedeutung, die gerade der Hellenismus für die Ausbildung der Stadt, ihrer Lebens- und Kunstformen gehabt hat, zur Darstellung gelangen.

**Post.** Das Postwesen, seine Entwicklung und Bedeutung. Von Postrat J. Bruns. (Nr. 165.)

Schildert immer unter besonderer Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung die Post als Staatsverkehrsanstalt, ihre Organisation und ihren Wirkungskreis, das Tarif- und Gebührenwesen, die Beförderungsmittel, den Betriebsdienst, den Weltpostverein, sowie die deutsche Post im In- und Ausland.

**Psychologie** s. Mensch; Nervensystem; Seele.

**Recht** (s. a. Gewerbe). Moderne Rechtsprobleme. Von Professor Josef Kohler. (Nr. 128.)

Behandelt nach einem einleitenden Abschnitte über Rechtsphilosophie die wichtigsten und interessantesten Probleme der modernen Rechtsprüfung, insbesondere die des Strafrechts, des Strafprozesses, des Genossenschaftsrechts, des Zivilprozesses und des Völkerrechtes.

**Religion** (s. a. Buddha; Christentum; Germanen; Jesuiten; Jesus; Luther). Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte. Von Professor Dr. Fr. Giesebrecht. (Nr. 52.)

Schildert, wie Israels Religion entsteht, wie sie die nationale Schale sprengt, um in den Propheten die Ansätze einer Menschheitsreligion auszubilden, wie auch diese neue Religion sich verpuppt in die Formen eines Priesterstaats.

**Religion.** Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick von Dr. A. Pfannkuche. (Nr. 141.)

Will durch geschichtliche Darstellung der Beziehungen beider Gebiete eine vorurteilsfreie Beurteilung des heiß umstrittenen Problems ermöglichen. Ausgehend von der ursprünglichen Einheit von Religion und Naturerkenntnis in den Naturreligionen schildert der Verfasser das Entstehen der Naturwissenschaft in Griechenland und der Religion in Israel, um dann zu zeigen, wie aus der Versäufelung beider jene ergreifenden Konflikte erwachsen, die sich besonders an die Namen von Kopernikus und Darwin knüpfen.

— Die religiösen Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent D. A. H. Braasch. (Nr. 66.)

Will die gegenwärtige religiöse Lage nach ihren bedeutsamen Seiten hin darlegen und ihr geschichtliches Verständnis vermitteln; die markanten Persönlichkeiten und Richtungen, die durch wissenschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung gestellten Probleme, wie die Ergebnisse der Forschung, der Ultramontanismus wie die christliche Liebestätigkeit gelangen zur Behandlung.

**Rembrandt.** Von Professor Dr. Paul Schubring. Mit einem Titelbild und 49 Textabbildungen. (Nr. 158.)

Eine durch zahlreiche Abbildungen unterstützte lebensvolle Schilderung des menschlichen und künstlerischen Entwicklungsganges Rembrandts. Zur Darstellung gelangen so seine persönlichen Schicksale bis 1642, die Frühzeit, die Zeit bis zu Saskias Tode, die Nachtwache, Rembrandts Verhältnis zur Bibel, die Radierungen, Urkundliches über die Zeit nach 1642 die Periode des farbigen Hellbunfels, die Gemälde nach der Nachtwache und die Spätzeit. Beigefügt sind die beiden ältesten Biographien Rembrandts.

**Rom.** Die ständischen und sozialen Kämpfe in der römischen Republik. Von Privatdozent Dr. Leo Bloch. (Nr. 22.)

Behandelt die Sozialgeschichte Roms, soweit sie mit Rücksicht auf die die Gegenwart bewegenden Fragen von allgemeinem Interesse ist. Insbesondere gelangen die durch die Großmachtstellung Roms bedingte Entstehung neuer sozialer Unterschichten, die Herrschaft des Amtsadels und des Kapitals, auf der anderen Seite eines großstädtischen Proletariats zur Darstellung, die ein Ausblick auf die Lösung der Parteikämpfe durch die Monarchie beschließt.

**Säugling.** Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege. Von Dr. Walther Kaupe. Mit 17 Textabbildungen. (Nr. 154.)

Will der jungen Mutter oder Pflegerin in allen Fragen, mit denen sie sich im Interesse des kleinen Erdenbürgers beschäftigen müssen, den nötigen Rat erteilen. Außer der allgemeinen geistigen und körperlichen Pflege des Kindes wird besonders die natürliche und künstliche Ernährung behandelt und für alle diese Fälle zugleich praktische Anleitung gegeben.

**Schiffahrt.** Deutsche Schiffahrt und Schiffahrtspolitik der Gegenwart. Von Professor Dr. K. Thieß. (Nr. 169.)

Verfasser will weiteren Kreisen eine genaue Kenntnis unserer Schiffahrt erschließen, indem er in leicht faßlicher und doch erschöpfender Darstellung einen allgemeinen Überblick über das gesamte deutsche Schiffsweesen gibt mit besonderer Berücksichtigung seiner geschichtlichen Entwicklung und seiner großen volkswirtschaftlichen Bedeutung.

**Schiller.** Von Professor Dr. Th. Ziegler. Mit dem Bildnis Schillers von Kugelgen in Heliogravüre. (Nr. 74.)

Gedacht als eine Einführung in das Verständnis von Schillers Werdegang und Werken, behandelt das Büchlein vor allem die Dramen Schillers und sein Leben, ebenso aber auch einzelne seiner lyrischen Gedichte und die historischen und die philosophischen Studien als ein wichtiges Glied in der Kette seiner Entwicklung.

**Schopenhauer.** Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Sechs Vorträge von Oberlehrer H. Richter. Mit dem Bildnis Schopenhauers. (Nr. 81.)

Unterrichtet über Schopenhauer in seinem Werden, seinen Werken und seinem Fortwirken, in seiner historischen Bedingtheit und seiner bleibenden Bedeutung, indem es eine gründliche Einführung in die Schriften Schopenhauers und zugleich einen zusammenfassenden Überblick über das Ganze seines philosophischen Systems gibt.

**Schriftwesen.** Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Professor Dr. O. Weise. 2. Auflage. Mit 37 Abbildungen. (Nr. 4.)

Verfolgt durch mehr als vier Jahrtausende Schrift-, Brief- und Zeitungswesen, Buchhandel und Bibliotheken.

**Schulhygiene.** Von Privatdozent Dr. Leo Burgerstein. Mit einem Bildnis und 33 Figuren im Text. (Nr. 96.)

Bietet eine auf den Forschungen und Erfahrungen in den verschiedensten Kulturländern beruhende Darstellung, die ebenso die Hygiene des Unterrichts und Schullebens wie jene des Hauses, die im Zusammenhang mit der Schule stehenden modernen materiellen Wohlfahrtseinrichtungen, endlich die hygienische Unterweisung der Jugend, die Hygiene des Lehrers und die Schularztfrage behandelt.

**Schulwesen** (s. a. Bildungswesen; Fröbel; Hilfsschulwesen; Mädchenschule; Pädagogik). Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. K. Knabe. (Nr. 85.)

Stellt die Entwicklung des deutschen Schulwesens in seinen Hauptperioden dar und bringt so Anfänge des deutschen Schulwesens, Scholastik, Humanismus, Reformation, Gegenreformation, neue Bildungsziele, Pietismus, Philanthropismus, Aufklärung, Neuhumanismus, Prinzip der allseitigen Ausbildung vermittels einer Anstalt, Teilung der Arbeit und den nationalen Humanismus der Gegenwart zur Darstellung.

——— **Schulkämpfe der Gegenwart.** Vorträge zum Kampf um die Volksschule in Preußen, gehalten in der Humboldt-Akademie in Berlin. Von J. Tews. (Nr. 111.)

Knapp und doch umfassend stellt der Verfasser die Probleme dar, um die es sich bei der Reorganisation der Volksschule handelt, deren Stellung zu Staat und Kirche, deren Abhängigkeit von Zeitgeist und Zeitbedürfnissen, deren Wichtigkeit für die Herausgestaltung einer volksfreundlichen Gesamtkultur scharf beleuchtet werden.

——— **Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten** in ihren hervortretenden Zügen. Reiseeindrücke. Von Direktor Dr. Franz Koppers. Mit 48 Abbildungen im Text und einem Titelbild. (Nr. 150.)

Schildert anschaulich das Schulwesen vom Kindergarten bis zur Hochschule, überall das Wesentliche der amerikanischen Erziehungsweise (die stete Erziehung zum Leben, das Wecken des Betätigungstriebes, das Hindrängen auf praktische Verwertung usw.) hervorhebend und unter dem Gesichtspunkte der Beobachtungen an unserer schulentlassenen Jugend in den Fortbildungsschulen zum Vergleich mit der heimischen Unterrichtsweise anregend.

**Seefrieg** s. Kriegswesen.

**Seele** s. Mensch.

**Sinnesleben** s. Mensch.

**Soziale Bewegungen** (s. a. Arbeiterschutz; Frauenbewegung). Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von Professor Dr. G. Maier. 3. Auflage. (Nr. 2.)

In einer geschichtlichen Betrachtung, die mit den altorientalischen Kulturvölkern beginnt, werden an den zwei großen wirtschaftlichen Schriften Platos die Wirtschaft der Griechen,

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

an der Griechischen Bewegung die der Römer beleuchtet, ferner die Utopie des Thomas Morus, andererseits der Bauernkrieg behandelt, die Bestrebungen Colberts und das Merkantilsystem, die Physiokraten und die ersten wissenschaftlichen Staatswirtschaftslehrer gewürdigt und über die Entstehung des Sozialismus und die Anfänge der neueren Handels-, Zoll- und Verkehrs-politik aufgeklärt.

**Spiele** s. Mathematik.

**Sprache** s. Muttersprache; Stimme.

**Städtewesen.** Die Städte. Geographisch betrachtet. Von Professor Dr. Kurt Hassert. Mit 21 Abbildungen. (Nr. 163.)

Behandelt als Versuch einer allgemeinen Geographie der Städte einen der wichtigsten Abschnitte der Siedlungskunde, erörtert die Ursache des Entstehens, Wachstums und Vergehens der Städte, charakterisiert ihre landwirtschaftliche und Verkehrs-Bedeutung als Grundlage der Großstadtbildung und schildert das Städtebild als geographische Erscheinung.

——— **Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter.** Von Oberlehrer Dr. B. Heil. 2. Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen im Text und auf 1 Doppeltafel. (Nr. 43.)

Stellt die geschichtliche Entwicklung dar, schildert die wirtschaftlichen, sozialen und staatsrechtlichen Verhältnisse und gibt ein zusammenfassendes Bild von der äußeren Erscheinung und dem inneren Leben der deutschen Städte.

——— **Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland.** Vorträge gehalten bei der Oberschulbehörde in Hamburg. Von Regierungs-Baumeister Albert Erbe. Mit 59 Abbildungen. (Nr. 117.)

Will dem als Zeichen wachsenden Kunstverständnisses zu begrüßenden Sinn für die Reize der alten malerischen Städtebilder durch eine mit Abbildungen reich unterstützte Schilderung der so eigenartigen und vielfachen Herrlichkeit Alt-Hollands wie Niederdeutschlands, ferner Danzigs, Lübecks, Bremens und Hamburgs nicht nur vom rein künstlerischen, sondern auch vom kulturgeschichtlichen Standpunkt aus entgegenkommen.

——— **Kulturbilder aus griechischen Städten.** Von Oberlehrer Dr. Erich Ziebarth. Mit 22 Abbildungen im Text und 1 Tafel. (Nr. 131.)

Sucht ein anschauliches Bild zu entwerfen von dem Aussehen einer altgriechischen Stadt und von dem städtischen Leben in ihr, auf Grund der Ausgrabungen und der inschriftlichen Denkmäler; die altgriechischen Bergstädte Thera, Pergamon, Priene, Milet, der Tempel von Didyma werden geschildert. Stadtpläne und Abbildungen suchen die einzelnen Städtebilder zu erläutern.

**Stereoskop** (s. a. Optik). Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Professor Th. Hartwig. Mit 40 Abbildungen im Text und 19 stereoskopischen Tafeln. (Nr. 135.)

Behandelt die verschiedenen Erscheinungen und praktischen Anwendungen der Stereoskopie, insbesondere die stereoskopischen Himmelsphotographien, die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Objekte, das Stereoskop als Meßinstrument und die Bedeutung und Anwendung des Stereocomparators, insbesondere in bezug auf photogrammetrische Messungen. Betgegeben sind 19 stereoskopische Tafeln.

**Stimme, die menschliche, und ihre Hygiene.** Sieben volkstümliche Vorlesungen. Von Professor Dr. P. Gerber. Mit 20 Abbildungen. (Nr. 136.)

Nach den notwendigsten Erörterungen über das Zustandekommen und über die Natur der Töne wird der Kehlkopf des Menschen, sein Bau, seine Verrichtungen und seine Funktion als musikalisches Instrument behandelt; dann werden die Gesang- und die Sprechstimme, ihre Ausbildung, ihre Fehler und Erkrankungen, sowie deren Verhütung und Behandlung, insbesondere Erkältungskrankheiten, die professionelle Stimmchwäche, der Alkoholeinfluß und die Abhärtung erörtert.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Strahlen** (s. a. Licht). Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Professor Dr. R. Börnstein und Professor Dr. W. Markwald. Mit 82 Abb. (Nr. 64.)  
Schildert die verschiedenen Arten der Strahlen, darunter die Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Herzischen Wellen, die Strahlungen der radioaktiven Körper (Uran und Radium) nach ihrer Entstehung und Wirkungsweise, unter Darstellung der charakteristischen Vorgänge der Strahlung.

**Süßwasser-Plankton** s. Plankton.

**Technik** (s. a. Automobil; Beleuchtungsarten; Dampf; Eisenbahnen; Eisenhüttenwesen; Elektrotechnik; Funken Telegraphie; Ingenieurtechnik; Metalle; Mikroskop; Post; Rechtsschutz; Stereoskop; Wärmekraftmaschinen). Am fassenden Webstuhl der Zeit. Übersicht über die Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik auf das gesamte Kulturleben. Von Geh. Regierungsrat Professor Dr. W. Launhardt. 2. Auflage. Mit 16 Abbildungen im Text und auf 5 Tafeln. (Nr. 23.)

Ein geistreicher Rückblick auf die Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik, der die Weltwunder unserer Zeit verdankt werden.

**Tee** s. Kaffee.

**Telegraphie** s. Funken Telegraphie.

**Theater** (s. a. Drama). Das Theater. Sein Wesen, seine Geschichte, seine Meister. Von Professor Dr. K. Borinski. Mit 8 Bildnissen. (Nr. 11.)

Begreift das Drama als ein Selbstgericht des Menschentums und charakterisiert die größten Dramatiker der Weltliteratur bei aller Knappheit liebevoll und geistvoll, wobei es die dramatischen Meister der Völker und Zeiten tunlichst selbst reden läßt.

**Theologie** s. Bibel; Christentum; Jesus; Palästina; Religion.

**Tierleben** (s. a. Ameise; Mensch und Tier; Plankton). Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt. Von Professor Dr. K. Kraepelin. (Nr. 79.)

Stellt in großen Zügen eine Fülle wechselseitiger Beziehungen der Organismen zueinander dar. Familienleben und Staatenbildung der Tiere, wie die interessantesten Beziehungen der Tiere und Pflanzen zueinander werden geschildert.

——— **Tierkunde**. Eine Einführung in die Zoologie. Von Privatdozent Dr. Kurt Hennings. Mit 34 Abbildungen. (Nr. 142.)

Will die Einheitlichkeit des gesamten Tierreiches zum Ausdruck bringen, Bewegung und Empfindung, Stoffwechsel und Fortpflanzung als die charakterisierenden Eigenschaften aller Tiere darstellen und sodann die Tätigkeit des Tierleibes aus seinem Bau verständlich machen, wobei der Schwerpunkt der Darstellung auf die Lebensweise der Tiere gelegt ist. So werden nach einem Vergleich der drei Naturreiche die Bestandteile des tierischen Körpers behandelt, sodann ein Überblick über die sieben großen Kreise des Tierleibes gegeben, ferner Bewegung und Bewegungsorgane, Aufenthaltsort, Bewußtsein und Empfindung, Nervensystem und Sinnesorgane, Stoffwechsel, Fortpflanzung und Entwicklung erörtert.

——— **Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus)**. Von Dr. Friedrich Knauer. Mit 37 Abbildungen. (Nr. 148.)

Zeigt, von der ungeschlechtlichen Fortpflanzung zahlreicher niederster Tiere ausgehend, wie sich aus diesem Hermaphroditismus allmählich die Zweigeschlechtigkeit herausgebildet hat und sich bei verschiedenen Tierarten zu auffälligstem geschlechtlichem Dimorphismus entwickelt, an interessanten Fällen solcher Verschiedenheit zwischen Männchen und Weibchen, wobei vielfach die Brutpflege in der Tierwelt und das Verhalten der Männchen zu derselben erörtert wird.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Tierleben.** Die Tierwelt des Mikroskops (die Urtiere). Von Privatdozent Dr. Richard Goldschmidt. Mit 39 Abbildungen. (Nr. 160.)

Bietet nach dem Grundsatz, daß die Kenntnis des Einfachen grundlegend zum Verständnis des Komplizierten ist, eine einführende Darstellung des Lebens und des Baues der Urtiere, dieses mikroskopisch kleinen, formenreichen, unendlich zahlreichen Geschlechtes der Tierwelt und stellt nicht nur eine anregende und durch Abbildungen instruktive Lektüre dar, sondern vermag namentlich auch zu eigener Beobachtung der wichtigen und interessanten Tatsachen vom Bau und aus dem Leben der Urtiere anzuregen.

—— Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Professor Dr. Otto Maas. Mit Karten und Abbildungen. (Nr. 139.)

Lehrt das Verhältnis der Tierwelt zur Gesamtheit des Lebens auf der Erde verständnisvoll ahnen, zeigt die Tierwelt als einen Teil des organischen Erdganzen, die Abhängigkeit der Verbreitung des Tieres nicht nur vor dessen Lebensbedingungen, sondern auch von der Erdgeschichte, ferner von Nahrung, Temperatur, Licht, Luft, Feuchtigkeit und Vegetation, wie von dem Eingreifen des Menschen und betrachtet als Ergebnis an der Hand von Karten die geographische Einteilung der Tierwelt auf der Erde nach besonderen Gebieten.

**Tuberkulose.** Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Für die Gebildeten aller Stände gemeinfaßlich dargestellt von Oberstabsarzt Dr. W. Schumburg. Mit 1 Tafel und 8 Figuren im Text. (Nr. 47.)

Schildert nach einem Überblick über die Verbreitung der Tuberkulose das Wesen derselben, beschäftigt sich eingehend mit dem Tuberkelbazillus, bespricht die Maßnahmen, durch die man ihn von sich fernhalten kann, und erörtert die Fragen der Heilung der Tuberkulose, vor allem die hygienisch-diätetische Behandlung in Sanatorien und Lungenheilstätten.

**Turnen** f. Leibesübungen.

**Verfassung** (s. a. Fürstentum). Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Sechs Vorträge von Professor Dr. E. Coening. 2. Aufl. (Nr. 34.)

Beabsichtigt in gemeinverständlicher Sprache in das Verfassungsrecht des Deutschen Reiches einzuführen, soweit dies für jeden Deutschen erforderlich ist, und durch Aufweisung des Zusammenhanges sowie durch geschichtliche Rückblicke und Vergleiche den richtigen Standpunkt für das Verständnis des geltenden Rechtes zu gewinnen.

**Verkehrsentwicklung** (s. a. Automobil; Eisenbahnen; Sunfentelegraphie, Post; Technik). Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900. Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung, sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft von Professor Dr. W. Loß. 2. Auflage. (Nr. 15.)

Gibt nach einer kurzen Übersicht über die Hauptfortschritte in den Verkehrsmitteln und deren wirtschaftliche Wirkungen eine Geschichte des Eisenbahnwesens, schildert den heutigen Stand der Eisenbahnverfassung, das Güter- und das Personentarifwesen, die Reformversuche und die Reformfrage, ferner die Bedeutung der Binnenwasserstraßen und endlich die Wirkungen der modernen Verkehrsmittel.

**Versicherung** (s. a. Arbeiterschutz). Grundzüge des Versicherungswesens. Von Professor Dr. A. Manes. (Nr. 105.)

Behandelt sowohl die Stellung der Versicherung im Wirtschaftsleben, die Entwicklung der Versicherung, die Organisation ihrer Unternehmungsformen, den Geschäftsgang eines Versicherungsbetriebs, die Versicherungspolitik, das Versicherungsvertragsrecht und die Versicherungswissenschaft, als die einzelnen Zweige der Versicherung, wie Lebensversicherung, Unfallversicherung, Haftpflichtversicherung, Transportversicherung, Feuerversicherung, Hagelversicherung, Viehversicherung, kleinere Versicherungszweige, Rückversicherung.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Volkslied.** Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgefanges. Von Privatdozent Dr. J. W. Bruhier. 2. Auflage. (Nr. 7.)

Handelt in schwungvoller Darstellung vom Wesen und Werden des deutschen Volksgefanges, unterrichtet über die deutsche Volksliederpflege in der Gegenwart, über Wesen und Ursprung des deutschen Volksgefanges, Stof und Spielmann, Geschichte und Mär, Leben und Liebe.

**Volkschule** s. Schulwesen.

**Volksstämme.** Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Professor Dr. O. Weise. 3. Auflage. Mit 29 Abbildungen im Text und auf 15 Tafeln. (Nr. 16.)

Schildert, durch eine gute Auswahl von Städte-, Landschafts- und anderen Bildern unterstützt, die Eigenart der deutschen Gauen und Stämme, die charakteristischen Eigentümlichkeiten der Landschaft, den Einfluß auf das Temperament und die geistige Anlage der Menschen, die Leistungen hervorragender Männer, Sitten und Gebräuche, Sagen und Märchen, Besonderheiten in der Sprache und Hauseinrichtung u. a. m.

**Volkswirtschaftslehre** s. Amerika; Arbeiterschutz; Bevölkerungslehre; Frauenbewegung; Japan; Soziale Bewegungen; Verkehrsentwicklung; Versicherung; Wirtschaftsgeschichte.

**Wald.** Der deutsche Wald. Von Professor Dr. Hans Hausrath. Mit 15 Textabbildungen und 2 Karten. (Nr. 153.)

Schildert unter besonderer Berücksichtigung der geschichtlichen Entwicklung die Lebensbedingungen und den Zustand unseres deutschen Waldes, die Verwendung seiner Erzeugnisse, sowie seine günstige Einwirkung auf Klima, Fruchtbarkeit, Sicherheit und Gesundheit des Landes und erörtert zum Schluß die Pflege des Waldes und die Aufgaben seiner Eigentümer, ein Büchlein also für jeden Waldfreund.

**Warenzeichenrecht** s. Gewerbe.

**Wärme** s. Chemie.

**Wärmekraftmaschinen** (s. a. Dampf). Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen). Von Professor Dr. Richard Vater. 2. Auflage. Mit 34 Abbildungen. (Nr. 21.)

Will Interesse und Verständnis für die immer wichtiger werdenden Gas-, Petroleum- und Benzinmaschinen erwecken. Nach einem einleitenden Abschnitte folgt eine kurze Besprechung der verschiedenen Betriebsmittel, wie Leuchtgas, Kraftgas usw., der Viertakt- und Zweitaktwirkung, woran sich dann das Wichtigste über die Bauarten der Gas-, Benzin-, Petroleum- und Spiritusmaschinen sowie eine Darstellung des Wärmemotors Patent Diesel anschließt.

— Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. Von Professor Dr. Richard Vater. Mit 48 Abbildungen. (Nr. 86.)

Ohne den Streit, ob „Lokomotive oder Sauggasmaschine“, „Dampfturbine oder Großgasmaschine“, entscheiden zu wollen, behandelt Verfasser die einzelnen Maschinengattungen mit Rücksicht auf ihre Vorteile und Nachteile, wobei im zweiten Teil der Versuch unternommen ist, eine möglichst einfache und leichtverständliche Einführung in die Theorie und den Bau der Dampfturbine zu geben.

**Wasser** s. Chemie.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

**Weltall** (s. a. Astronomie). Der Bau des Weltalls. Von Professor Dr. J. Scheiner. 2. Auflage. Mit 24 Figuren im Text und auf einer Tafel. (Nr. 24.)

Stellt nach einer Einführung in die wirklichen Verhältnisse von Raum und Zeit im Weltall dar, wie das Weltall von der Erde aus erscheint, erörtert den inneren Bau des Weltalls, d. h. die Struktur der selbständigen Himmelskörper und schließlich die Frage über die äußere Konstitution der Fixsternwelt.

**Weltanschauung** (s. a. Kant; Menschenleben; Philosophie; Weltproblem). Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von Professor Dr. L. Busse. 2. Auflage. (Nr. 56.)

Will mit den bedeutendsten Erscheinungen der neueren Philosophie bekannt machen; die Beschränkung auf die Darstellung der großen klassischen Systeme ermöglicht es, die beherrschenden und charakteristischen Grundgedanken eines jeden scharf herauszuarbeiten und so ein möglichst klares Gesamtbild der in ihm enthaltenen Weltanschauung zu entwerfen.

**Weltäther** s. Moleküle.

**Welthandel**. Geschichte des Welthandels. Von Oberlehrer Dr. Max Georg Schmidt. (Nr. 118.)

Eine zusammenfassende Übersicht der Entwicklung des Handels führt von dem Altertum an über das Mittelalter, in dem Konstantinopel, seit den Kreuzzügen Italien und Deutschland den Weltverkehr beherrschen, zur Neuzeit, die mit der Auffindung des Seewegs nach Indien und der Entdeckung Amerikas beginnt und bis zur Gegenwart, in der auch der deutsche Kaufmann nach dem alten Hanjawort „Mein Feld ist die Welt“ den ganzen Erdball erobert.

**Weltproblem** (s. a. Philosophie; Weltanschauung). Das Weltproblem von positivistischem Standpunkte aus. Von Privatdozent Dr. J. Peholdt. (Nr. 133.)

Sucht die Geschichte des Nachdenkens über die Welt als eine sinnvolle Geschichte von Irrtümern psychologisch verständlich zu machen im Dienste der von Schuppe, Mach und Avenarius vertretenen Anschauung, daß es keine Welt an sich, sondern nur eine Welt für uns gibt. Ihre Elemente sind nicht Atome oder sonstige absolute Existenzen, sondern Farben-, Ton-, Druck-, Raum-, Zeit- usw. Empfindungen. Trotzdem aber sind die Dinge nicht bloß subjektiv, nicht bloß Bewußtseinserscheinungen, vielmehr müssen die aus jenen Empfindungen zusammengesetzten Bestandteile unserer Umgebung fortexistierend gedacht werden, auch wenn wir sie nicht mehr wahrnehmen.

**Wetter**. Wind und Wetter. Fünf Vorträge über die Grundlagen und wichtigeren Aufgaben der Meteorologie. Von Professor Dr. Leonh. Weber. Mit 27 Figuren im Text und 3 Tafeln. (Nr. 55.)

Schildert die historischen Wurzeln der Meteorologie, ihre physikalischen Grundlagen und ihre Bedeutung im gesamten Gebiete des Wissens, erörtert die hauptsächlichsten Aufgaben, die dem ausübenden Meteorologen obliegen, wie die praktische Anwendung in der Wettervorhersage.

**Wirtschaftsgeschichte** (s. a. Amerika; Eisenbahnen; Geographie; Handwerk; Japan; Rom; Soziale Bewegungen; Verkehrsentwicklung). Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im 19. Jahrhundert. Von Professor Dr. L. Pohle. (Nr. 57.)

Gibt in gedrängter Form einen Überblick über die gewaltige Umwälzung, die die deutsche Volkswirtschaft im letzten Jahrhundert durchgemacht hat: die Umgestaltung der Landwirtschaft; die Lage von Handwerk und Hausindustrie; die Entstehung der Großindustrie mit ihren Begleiterscheinungen; Kartellbewegung und Arbeiterfrage; die Umgestaltung des Verkehrswesens und die Wandlungen auf dem Gebiete des Handels.

**Wirtschaftsgeschichte.** Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert von Prof. Dr. Chr. Gruber. Mit 4 Karten. (Nr. 42.)

Beabsichtigt, ein gründliches Verständnis für den stetigen Aufschwung unseres wirtschaftlichen Lebens seit der Wiederaufrichtung des Reichs herbeizuführen und darzulegen, inwieweit sich Produktion und Verkehrsbewegung auf die natürlichen Gelegenheiten, die geographischen Vorzüge unseres Vaterlandes stützen können und in ihnen sicher verankert liegen.

——— **Wirtschaftliche Erdkunde.** Von Professor Dr. Chr. Gruber. (Nr. 122.)

Will die ursprünglichen Zusammenhänge zwischen der natürlichen Ausstattung der einzelnen Länder und der wirtschaftlichen Kraftäußerung ihrer Bewohner klar machen und das Verständnis für die wahre Machistellung der einzelnen Völker und Staaten eröffnen. Das Weltmeer als Hochstraße des Weltwirtschaftsverkehrs und als Quelle der Völkergröße, — die Landmassen als Schauplatz alles Kulturlebens und der Weltproduktion, — Europa nach seiner wirtschaftsgeographischen Veranlagung und Bedeutung, — die einzelnen Kulturstaaten nach ihrer wirtschaftlichen Entfaltung (viele geistreiche Gegenüberstellungen!): all dies wird in anschaulicher und großzügiger Weise vorgeführt.

**Zoologie** s. Ameisen; Tierleben.



### Überzicht nach den Autoren.

- |   |  |
|---|--|
| Abel, Chemie in Küche und Haus.   | Bräsch, Die Beleuchtungsarten der Gegenwart.                       |
| Abelsdorff, Das Auge.   | Buchner, 8 Vorträge a. d. Gesundheitslehre.                        |
| Ahrens, Mathematische Spiele.   | Burgerstein, Schulhygiene.   |
| Alkoholismus, der, seine Wirkungen und seine Bekämpfung. 3 Bände.         | Bürkner, Kunstpflege in Haus u. Heimat.                            |
| Auerbach, Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre.                      | Busse, Weltanschauung. d. gr. Philosoph.                           |
| Biedermann, Die technische Entwickl. der Eisenbahnen der Gegenwart.       | Cranz, Arithmetik und Algebra. I.                                  |
| Biernacki, Die moderne Heilwissenschaft.                                  | Daenell, Geschichte der Ver. Staaten von Amerika.                  |
| Blaü, Das Automobil.  | v. Duhn, Pompeji.  |
| Bloch, Die ständischen u. sozialen Kämpfe.                                | Eckstein, Der Kampf zwischen Mensch und Tier.                      |
| Blochmann, Luft, Wasser, Licht u. Wärme. — Grundlagen der Elektrotechnik. | Erbe, hist. Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland.        |
| Boehmer, Jesuiten.  | Flügel, Herbart's Lehren und Leben.                                |
| Boehmer, Luther im Lichte der neueren Forschungen.                        | Franz, Der Mond.   |
| Bongardt, Die Naturwissenschaften im Haushalt. 2 Bändchen.                | Frenz, Aus der Vorzeit der Erde.                                   |
| Bonhoff, Jesus und seine Zeitgenossen.                                    | Frenzel, Ernähr. u. Volksnahrungsmittel.                           |
| Borinski, Das Theater.  | Fried, Die moderne Friedensbewegung.                               |
| Börnstein und Markwald, Sichtbare und unsichtbare Strahlen.               | Geffken, A. d. Werdezeit d. Christentums.                          |
| Braasch, Religiöse Strömungen.  | Gerber, Die menschliche Stimme.                                    |
| Bruinier, Das deutsche Volkslied.   | Giesebrecht, Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte. |
|   | Giesenhagen, Unsere wichtigsten Kulturpflanzen.                    |

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

- Goldschmidt, Die Tierwelt d. Mikrostops.  
 Graetz, Licht und Farben.  
 Graul, Ostasiatische Kunst.  
 Gruber, Deutsches Wirtschaftsleben.  
 Gruber, Wirtschaftliche Erdkunde.  
 Günther, Das Zeitalter der Entdeckungen.  
 Hahn, Die Eisenbahnen.  
 v. Hansemann, Der Aberglaube in der Medizin.  
 Hartwig, Das Stereoskop.  
 Hassert, Die Polarforschung.  
 Hassert, Die deutschen Städte.  
 Haushofer, Bevölkerungslehre.  
 Hausrath, Der deutsche Wald.  
 Heigel, Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrh.  
 Heil, D. Städte u. Bürger im Mittelalter.  
 Heilborn, Die deutschen Kolonien. (Land und Leute.)  
 Heilborn, Der Mensch.  
 Hennig, Einführung in das Wesen der Musik.  
 Hennings, Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie.  
 Hesse, Abstammungslehre u. Darwinismus.  
 Hubrich, Deutsches Fürstentum und deutsches Verfassungsweisen.  
 Janion, Meeresforschung u. Meeresleben.  
 Jilberg, Geisteskrankheiten.  
 Kaupe, Der Säugling.  
 Kauzsch, Die deutsche Illustration.  
 Kirchhoff, Mensch und Erde.  
 Knabe, Geschichte d. deutsch. Schulwesens.  
 Knauer, Zweigestalt der Geschlechter in der Tierwelt.  
 Knauer, Die Ameisen.  
 Kohler, Moderne Rechtsprobleme.  
 Kraepelin, Die Beziehungen der Tiere zueinander.  
 Krebs, Haydn, Mozart, Beethoven.  
 Kreibitz, Die fünf Sinne des Menschen.  
 Külpe, Die Philosophie der Gegenwart.  
 Külpe, Immanuel Kant.  
 Küster, Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen.  
 Kunpers, Volksschule und Lehrerbildung der Ver. Staaten.  
 Laughlin, Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben.  
 Launhardt, Am tausenden Webstuhl der Zeit.  
 Leid, Krankenpflege.  
 Loening, Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches.  
 Loß, Verkehrsnetzdig. i. Dtschl. 1800—1900.  
 Luschin von Ebengreuth, Die Münze.  
 Maas, Lebensbedingungen der Tiere.  
 Maier, Soziale Bewegungen u. Theorien.  
 von Mahahn, Der Seekrieg.  
 Manes, Grundzüge d. Versicherungswes.  
 Maennel, Vom Hilfsschulwesen.  
 Martin, Die höh. Mädchenschule in Dtschl.  
 Matthaei, Deutsche Baukunst i. Mittelalt.  
 Mehlhorn, Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu.  
 Merkel, Bilder aus der Ingenieurtechnik.  
 Merkel, Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit.  
 Meringer, Das deutsche Haus und sein Hausrat.  
 Mie, Moleküle — Atome — Weltäther.  
 Mische, Die Erscheinungen des Lebens.  
 von Negelein, Germ. Mythologie.  
 Oppenheim, Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit.  
 Otto, Das deutsche Handwerk.  
 Otto, Deutsches Frauenleben.  
 Pabst, Die Knabenhandarbeit.  
 Paulsen, Das deutsche Bildungswesen.  
 Petersen, Öffentliche Fürsorge für die hilfbedürftige Jugend.  
 Pezoldt, Das Weltproblem.  
 Pfannkuche, Religion u. Naturwissensch.  
 Pischel, Leben und Lehre des Buddha.  
 Pohle, Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im 19. Jahrhundert.  
 von Portugal, Friedrich Fröbel.  
 Pott, Der Text des Neuen Testaments nach seiner geschichtl. Entwicklung.  
 Rand, Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses.  
 Rathen, Die Japaner.  
 Rehmke, Die Seele des Menschen.  
 Reufauf, Die Pflanzenwelt d. Mikrostops.  
 Richter, Schopenhauer.  
 Richter, Einführung in die Philosophie.  
 von Rohr, Optische Instrumente.  
 Sachs, Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers.  
 Scheffer, Das Mikroskop.  
 Scheid, Die Metalle.  
 Scheiner, Der Bau des Weltalls.  
 Schirmacher, Die mod. Frauenbewegung.  
 Schmidt, Gesch. des Welthandels.  
 Schubring, Rembrandt.  
 Schumburg, Die Tuberkulose.  
 Schwemer, Restauration und Revolution.  
 Schwemer, Die Reaktion u. die neue Ära.  
 Schwemer, Vom Bund zum Reich.  
 von Soden, Palästina.  
 von Sothen, D. Kriegswesen i. 19. Jahrh.  
 Spiro, Geschichte der Musik.  
 Stein, Die Anfänge der menschl. Kultur.  
 Steinhäuser, Germanische Kultur in der Urzeit.  
 Sticker, Eine Gesundheitslehre für Frauen.  
 Teichmann, Der Befruchtungsvorgang.  
 Tews, Schulkämpfe der Gegenwart.  
 Tews, Mod. Erziehung in Haus u. Schule.  
 Thieß, Deutsche Schifffahrt.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Thurn, Die Funkentelegraphie,  
Tollsdorf, Gewerblicher Rechtsschutz in  
Deutschland.  
Uhl, Entsteh. u. Entwickl. unj. Mutterspr.  
Unold, Aufgab. u. Ziele d. Menschenlebens.  
Vater, Theorie u. Bau der neueren Wärme-  
kraftmaschinen. — Die neueren Fort-  
schritte auf dem Gebiete der Wärmekraft-  
maschinen. — Dampf u. Dampfmaschine.  
Voges, Der Obstbau.  
Volbehr, Bau u. Leben d. bildenden Kunst.  
Wahrmond, Ehe und Eherecht.  
Weber, Wind und Wetter.  
Weber, Von Luther zu Bismard. 2 Bdch.  
Wedding, Eisenhüttenwesen.  
Weinell, Die Gleichnisse Jesu.

Weise, Schrift- und Buchwesen in alter  
und neuer Zeit.  
Weise, Die d. Volksstämme u. Landschaft.  
Wieler, Kaffee, Tee, Kakao und die  
übrigen nartotischen Aufguggetränke.  
Wilbrandt, Die Frauenarbeit.  
Wislicenus, Der Kalender.  
Witkowsk, Das d. Drama d. XIX. Jahrh.  
Wustmann, Albrecht Dürer.  
Zacharias, Süßwasserplanton.  
Zander, Nervensystem. — Leibesübungen.  
Ziebarth, Kulturbilder aus griechischen  
Städten.  
Ziegler, Allgem. Pädagogik. — Schüler.  
v. Zwiedinck-Südenhorst, Arbeiter-  
schutz und Arbeiterversicherung.

## Es werden folgen:

Alt, Physik der Kälte.  
Anselmino, Das Wasser.  
Arndt, Deutschlands Stellung in der  
Weltwirtschaft.  
Auhagen, Agrarpolitische Zeitfragen.  
Badhaus, Die Milch.  
Bardeleben, Die menschliche Anatomie.  
Barinck, Erforschung und künstliche Her-  
stellung der Stoffe des Pflanzen- und  
Tierreichs.  
Bendig, Geldmarkt.  
Bitterauf, Die franz. Revolution.  
— Napoleon und seine Zeit.  
— Friedrich der Große.  
Bock, Zeitmesser.  
Bödel, Die deutsche Volksage.  
Börnstein, Wärmelehre.  
Brandenburger, Deutschland u. Polen  
in ihren geschichtlichen Beziehungen.  
Braun, Ethik.  
Buchgewerbe und die Kultur. (Vor-  
träge von: Fode, Hermelint, Kaugsch,  
Wäntig, Witkowsk und Wuttke.)  
Buchka, Geschichte der Chemie.  
Buhl, Kultur des Islams.  
Claasen, Deutsche Landwirtschaft.  
Cohn, Führende Denker.  
Cornils, Einführung in das Studium  
der Theologie.  
Dähnhardt, Das Märchen.  
Dippe, Die Hygiene des täglichen Lebens.  
Doren, Die Hanja und die Entwicklung  
der deutschen Seemacht.  
Edert, Kolonialpolitik.  
Endell, Städtebau.  
Fessler, Die neueren Fortschritte der  
Chirurgie.  
Fizner, Allgemeine Völkerkunde.

Franko, Geschichte des deutschen Gefühls.  
Fried, Internationales Leben der Gegen-  
wart.  
Friedrich, Die wirtschaftlichen Verhält-  
nisse Asiens.  
Fritz, Das moderne Volksbildungswesen.  
Gaehde, Das Theater.  
Gaupp, Kinderpsychologie.  
Geffken, Grundzüge des Völkerrechts.  
Gieseler, Die Pflanzen.  
Graul, Die Entwicklung der deutschen  
Malerei im 19. Jahrhundert.  
Gutzert, Die Bakterien.  
Haendke, Die deutsche Kunst im täglichen  
Leben.  
Haguentin, Hauptströmungen der fran-  
zösischen Literatur.  
v. Halle, Truste und Kartelle.  
Heinrich, Recht und Rechtspflege in  
Deutschland.  
Hellwig, Verbrechen und Aberglaube.  
Hensel, Rousseau.  
Hoffmann, Die europäischen Sprachen.  
Jacob, Einleitung in das Studium der  
Geschichte.  
Jaeschke, Dante.  
Jhering, Wasserkraftmaschinen.  
Jiriczek, Geschichte der engl. Dichtung.  
Jstel, Die musikalische Romantik in  
Deutschland.  
— Das Kunstwerk Wagners.  
Kahle, Ibsen, Björnson und ihre Zeit-  
genossen.  
Kaugsch, Die Krebskrankheit.  
Kirn, Die sittlichen Lebensanschauungen  
der Gegenwart.  
Knabe, Das deutsche Schulwesen der  
Gegenwart.

## Aus Natur und Geisteswelt.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

- Köhler, Aufklärung.  
 Krumm, Das Drama.  
 Kühne, Geschichte der Freiheitskriege.  
 Kummel, Photochemie.  
 Lampert, Welt der Organismen.  
 Landauer, Talmud.  
 Landsberg, Biologie.  
 Langenbeck, Englands Weltmacht.  
 Lehmann, Mystik.  
 — Die tierische Form in Beziehung zur Lebensweise der Tiere.  
 Lehmann-Haupt, Die babylonische Kultur.  
 — Schliemanns Ausgrabungen.  
 Lehner, Römische Kultur in Deutschland.  
 Lejer, Börse und Börsengeschäfte.  
 Louis, Liszt und Berlioz.  
 Lyon, Einführung in die deutsche Sprach- und Literatur-Forschung.  
 Maas, Die geistige Entwicklung des Kindes.  
 Marcuse, Praktische Himmelskunde.  
 Matthäi, Die deutsche Baukunst vom 15. Jahrhundert bis zur Gegenwart.  
 Man, Gesteinsbildende Tiere.  
 Maner, Geschichte des westeuropäischen Beamtentums.  
 Menzer, Grundzüge der Ästhetik.  
 Meyer, Der Krieg im Zeitalter des Verkehrs.  
 — Das Neue Testament.  
 Meyer, R. M., Neuzeitliche Meister der Weltliteratur.  
 Mielke, Das deutsche Dorf.  
 Mollwo, Die deutschen Erwerbsgesellschaften.  
 Morgenroth, Die Statistik.  
 Most, Die Boden- und Wohnungsfrage.  
 Müller, Methoden der Physiologie.  
 — Die chemische Industrie.  
 Müller, S., Amerikanische technische Hochschulen.  
 Natorp, Pestalozzi.  
 Neurath, Antike Wirtschaftsgeschichte.  
 Ohr, Staat und Kirche im Mittelalter.  
 Oppenheim, Die Probleme der neueren Astronomie.  
 Peter, Die Planeten.  
 Pinder, Einführung in das Studium der Kunstgeschichte.  
 Pöschel, Die Luftschiffahrt.  
 Potonje, Morphologie der Pflanzen.  
 Rehm, Deutsche Volksfeste und Volksitten.  
 Reukauf, Die Pflanzenwelt des Mikrotopfs.  
 Richter, Einleitung in das Studium der Philosophie.  
 Riemann, Geschichte des deutschen Romans.  
 Rietsch, Die Grundlagen der Tonkunst.  
 Rosin, Herz, Blutgefäße, Blut und deren Erkrankungen.  
 Sallwirt, Einleitung in die wissenschaftliche Pädagogik.  
 Salomon, Die politische und kulturelle Entwicklung Rußlands.  
 Saenger, Das englische Kulturleben der Gegenwart.  
 v. Scala, Die Entwicklung des griechischen Volkes.  
 Scheibe, Die Minerale.  
 Scheler, Erkenntnislehre.  
 Schmidt, Bedeutung der Seemacht in der neueren Geschichte.  
 Schöne, Politische Geographie.  
 Schulz, Antike Wirtschaft, Technik und Kultur.  
 Schwarz, Allgemeine Finanzverwaltung.  
 Sieger, Der moderne Begriff der Nation.  
 — Shakespeare.  
 Solmsen, Die russische Literatur des 19. Jahrhunderts.  
 Spiro, Antikes Leben im Ege.  
 Steindorf, Kultur des alten Ägyptens.  
 Steinmann, Die Eiszeit und der urgeschichtliche Mensch.  
 Stöcker, Die Frau und die moderne Kultur.  
 Strauß, Mietrecht.  
 Thieß, Zeitungswesen.  
 Thumb, Die Völker der Balkanhalbinsel.  
 Tobler, Kolonialbotanik.  
 Troeltsch, Einführung in die Arbeiterfrage.  
 Trömmner, Suggestion und Hypnotismus.  
 Trüper, Die Charakterfehler im Kindes- und Jugendalter.  
 Überschaer, Die deutsche Zollpolitik.  
 Unger, Das Buch und seine Herstellung.  
 Vater, Maschinenkunde.  
 Verworn, Mechanik des Geisteslebens.  
 Vischer, Paulus.  
 Vogt, Deutsches Vogelleben.  
 Vollers, Weltreligionen.  
 Walzel, Geschichte der deutschen Romantik.  
 Weber, Probleme der großindustriellen Entwicklung.  
 Weinstein, Entstehung der Welt und der Erde.  
 Wendtscher, Goethes Welt- und Lebensanschauung.  
 Wentscher, Geschichte und Kritik des Materialismus.  
 Wernicke, Ansteckende Volkskrankheiten.  
 Wiedenfeld, Verkehrsweisen.  
 — Die Seehäfen des Weltverkehrs.  
 Wobbermin, Wesen und Wahrheit der Religion.  
 Zur Straßen, Seelenleben der Tiere.

# Aus deutscher Wissenschaft u. Kunst.

Die Sammlung soll dazu dienen, alle, die bestrebt sind, ihre Bildung zu erweitern, in die Lektüre wissenschaftlicher Werke einzuführen. Aus geisteswissenschaftlichen, naturwissenschaftlichen, religiösen und philosophischen Werken wird eine Auslese getroffen, die geeignet ist, in die wichtigsten Fragen auf den einzelnen Gebieten einzuführen, den Weg zu den Quellen zu weisen und zugleich die Kunstformen der Darstellung in Musterbeispielen zu zeigen. Die Erläuterungen räumen unter Beiseitelassen unnötiger Gelehrsamkeit und auf das knappste Maß beschränkt, nur solche Schwierigkeiten aus dem Wege, die eine unbefangene und rasche Aufnahme der Lektüre verhindern. Zunächst erschienen folgende Bändchen:

**Zur Geschichte der deutschen Literatur.** Proben literar-historischer Darstellung für Schule und Haus ausgewählt und erläutert von Dr. R. Wessely. geb. M. 1.20.

Inhalt: Vogt, Der Heliand. Uhland, Walther von der Vogelweide. v. Treitschke, Die neue Literatur. Gervinus, Lessing. Fettner, Herder. Bielschowsky, Goethe und Schiller. Beller-  
mann, Schillers Don Carlos. Brahm, Kleists HermannsSchlacht. Schäfer, Grillparzer. Mann-  
Mörke als Lyriker. Schmidt, Gustav Freytag.

**Zur Kunst.** Ausgewählte Stücke moderner Prosa zur Kunstbetrachtung und zum Kunstgenuß herausgegeben von Dr. M. Spanier. Mit Einleitung, Anmerkungen und Bilderanhang. geb. M. 1.20.

Inhalt: Avenarius, Kunstgenuß und helfendes Wort. Avenarius, Rethel: Der Tod als Freund.  
v. Seidlitz, Deutsche Kunst. Springer, Albrecht Dürers Phantasielust: Ritter, Tod und Teufel.  
Hirth, Malerische Auffassungen und Techniken des Mittelalters und der Renaissance. Hirth,  
Das Natürliche in der Kunst. Lichtwardt, Rembrandt: Der blinde Tobias. Lichtwardt, Rem-  
brandts Haus. Surtwängler, Medusa. Ullrich, Die Laokoongruppe. Bürtner, Gotische Schmuck-  
formen. Borrmann, Andreas Schlüter. Bayersdorfer, Zur Charakteristik Michelangelos.  
Bayersdorfer, Über Kunst. (Aphorismen.) Wölfflin, Die Teppichkarissen Raffaels: Der  
wunderbare Fischzug. Justi, Delaquerz: Die Übergabe von Breda. Schulze-Naumburg, Vom  
Bauernhaus. Gurlitt, Sachlicher Stil im Gewerbe. Gurlitt, Was will die Hellmalerei?  
Brindmann, Meißner Porzellan. Floerke, Etwas über Böcklin. Thoma, Ansprache an die  
Freunde bei Gelegenheit seines 60. Geburtstages.

**Zur Geschichte.** Proben von Darstellungen aus der deutschen Geschichte für  
Schule und Haus ausgewählt und erläutert von Dr. W. Scheel. geb. M. 1.20.

Inhalt: Mommsen, Kelten und Germanen vor Cäsar. Brunner, Kriegswesen und Gefolgs-  
schaft. Freytag, Karl der Große. v. Giesebrecht, Gründung des Deutschen Reichs durch  
Heinrich I. v. Kugler, Der Kreuzzug Kaiser Friedrichs I. v. Below, Die Stadtverwaltung in  
ihrer Beziehung zu Handel und Gewerbe. Schäfer, Die Hanse. Lamprecht, Entwicklung der  
ritterlichen Gesellschaft. v. Treitschke, Luther und die deutsche Nation. v. Rante, Die Epoche  
der Reformation und der Religionskriege. Schiller, Die Schlacht bei Lützen. Dronsen, Febrbellin.  
Friederich, Blücher und Gneisenau. v. Moltke, Schlacht bei Dionville — Mars la Tour  
(16. August). Mars, Kaiser Wilhelm I. Anhänge.

**Zur Erdkunde.** Proben erdkundlicher Darstellung für Schule und Haus  
ausgewählt und erläutert von Dr. F. Lampe. geb. M. 1.20.

Inhalt: v. Humboldt, Über die Wasserfälle des Orinoto bei Atures und Manpures. Ritter,  
Aus der Einleitung zur „Erdkunde im Verhältnis zur Natur und zur Geschichte des Menschen  
oder allgemeine vergleichende Geographie“. Peschel, Der Zeitraum der großen Entdeckungen.  
Barth, Reise in Adamaua, Entdeckung des Benué. v. Richtshofen, Aus China. v. Drygalsti, Die  
deutsche Südpolarexpedition. Kirchhoff, Das Meer im Leben der Völker. Razel, Deutschlands  
Lage und Raum. Parthsch, Das niederrheinische Gebirge, seine Täler und seine Tiefenlandschaft.  
v. d. Steinen, Jägertum, Feldbau und Steinzeitkultur der Indianer am Schingu. Geschichtlich-  
biographische Anmerkungen. Erklärung geologischer Sachausdrücke.

**Zur Einführung in die Philosophie der Gegenwart.**  
**Acht Vorträge von Prof. Dr. A. Riehl.** 2. Auflage. Geheftet M 3.—  
in Leinwand gebunden M 3.60.

„Wir gestehen, daß uns selten die Lektüre eines Buches so viel geistigen Genuß bereitet hat, als die des vorliegenden. Der Verfasser hat es meisterhaft verstanden, die vielfach als äußerst langweilig und trocken verschriene Disziplin nicht nur interessant und fesselnd darzustellen, sondern es ist ihm auch gelungen, recht klar und allgemein verständlich zu schreiben, so daß jeder Gebildete getroßt nach dem Buche greifen kann.“ (Leipziger Lehrzeitung.)

„Von den üblichen Einleitungen in die Philosophie unterscheidet sich Riehls Buch nicht bloß durch die Form der freien Rede, sondern auch durch seine ganze methodische Auffassung und Anlage, die wir nur als eine höchst glückliche bezeichnen können. Nichts von eigenem System, nichts von langatmigen logischen, psychologischen oder gelehrten historischen Entwicklungen, sondern eine lebendig anregende und doch nicht oberflächliche, vielmehr in das Zentrum der Philosophie führende Betrachtungsweise. . . . Wir möchten somit das philosophische Interesse . . . mit Nachdruck auf Riehls Schrift hinweisen. (Monatschr. f. höh. Schulen.)

**Arbeit und Rhythmus.** Von Prof. Dr. Karl Bücher.

Dritte, stark vermehrte Auflage. Geheftet M 7.—, in Leinwand gebunden M 8.—

„. . . Die übrige Gemeinde allgemein Gebildeter, welche nicht bloß diese oder jene Einzelheit der in der Bücherschen Arbeit enthaltenen wissenschaftlichen Errungenschaften interessiert, sondern die sich für die Gesamtheit des selbständigen und weitgreifenden Überblicks über den vielverschlungenen Zusammenhang von Arbeit und Rhythmus aufrichtig freuen darf, wird meines Erachtens dem bewährten Forscher auch dafür besonders dankbar sein, daß er ihr einen wertvollen Beitrag zu einer Lehre geliefert hat, welche die edelsten Genüsse in unserm armen Menschenleben vermittelt, nämlich zur Lehre von der denkenden Beobachtung nicht bloß welterschütternder Ereignisse, sondern auch alltäglicher, auf Schritt und Tritt uns begegnender Geschehnisse.“ (G. v. Mayr in der Beilage z. Allgem. Ztg.)

**Himmelsbild und Weltanschauung im Wandel der Zeiten.**  
Von Prof. Troels-Lund. Autorisierte Übersetzung von E. Bloch. Zweite Auflage. In Leinwand gebunden M 5.—

„. . . Es ist eine wahre Lust, diesem kundigen und geistreichen Führer auf dem langen, aber nie ermüdenden Wege zu folgen, den er uns durch Asien, Afrika und Europa, durch Altertum und Mittelalter bis herab in die Neuzeit führt. . . . Es ist ein Werk aus einem Guß, in großen Zügen und ohne alle Kleinlichkeit geschrieben. . . . Wir möchten dem schönen, inhaltreichen und anregenden Buche einen recht großen Leserkreis nicht nur unter den zünftigen Gelehrten, sondern auch unter den gebildeten Laien wünschen. Denn es ist nicht nur eine geschichtliche, d. h. der Vergangenheit angehörige Frage, die darin erörtert wird, sondern auch eine solche, die jedem Denkenden auf den Fingern brennt. Und nicht immer wird über solche Dinge so kundig und so frei, so leidenschaftlos und doch mit solcher Wärme gesprochen und geschrieben, wie es hier geschieht. . . .“ (W. Neßle in den Neuen Jahrbüchern für das klassische Altertum.)

**Das Erlebnis und die Dichtung.** Lessing, Goethe, Novalis, Hölderlin. Vier Aufsätze von Wilhelm Dilthey. Geheftet M 4.80.  
in Leinwand gebunden M 5.60.

„. . . Dieses tiefe und schöne Buch gewährt einen starken Reiz, Dilthey's feinfühlig wägende und leitende Hand das künstlerische Fazit so außerordentlicher Phänomene im unmittelbaren Anschluß an die knappe, großlinige Darstellung ihres Wesens und Lebens ziehen zu sehen. Hier, das fühlt man auf Schritt und Tritt, liegt auch wahrhaft inneres Erlebnis eines Mannes zugrunde, dessen eigene Geistesbeschaffenheit ihn zum nachschöpferischen Eindringen in die Welt unserer Dichter und Denker geradezu bestimmen mußte. . . . Was diesen auf einen Lebenszeitraum von 40 Jahren verteilten — man wendet hier das Wort fast instinktiv an — klassischen Aufsätzen ein ganz besonders edles Gepräge gibt, das ist der goldene Schimmer geistiger Jugendfrische, der sie verklärt, die lautere Verehrung unserer höchsten literarisch-künstlerischen Kulturwerke, der den Ausdruck überall durchzittert. Hier schreibt Ehrfurcht und zwar lebendige Ehrfurcht, die sich den Geistern und ihrem Werk in liebendem Erkenntnisdrange hingibt und weiß, warum sie es tut.“ (Das literarische Echo.)

# Die hellenische Kultur. Dargestellt von Fritz Baumgarten, Franz Poland, Richard Wagner.

Mit 7 farbigen Tafeln, 2 Karten und gegen 400 Abbildungen im Text und auf 2 Doppeltafeln. Gebefet M. 10.—, in Leinwand gebunden M. 12.—

„Ein Buch, das, ohne mit Gelehrsamkeit zu prahlen, die wissenschaftliche Tüchtigkeit der Verfasser bezeugt. Überall sind auch, bei der Behandlung der Kunst wie der des Schrifttums und der politischen Verhältnisse, die neuesten Funde eingehend berücksichtigt. Die Darstellung ist meist knapp, aber inhaltreich, verständlich und gefällig. Trefflich ist gleich der kurze Abschnitt über Sprache und Religion in der Einleitung. Ganz meisterhaft scheint mir die Behandlung der Kunst. Nirgends bloße Redensarten, selten Urteile, die für den Leser in der Luft schweben, weil ihm die Anschauungen fehlen. Was zu sagen ist, wird meist an gut gewählte Beispiele angeknüpft. Neben der äußerlichen Geschichte der Kunst kommt auch die Stillentwicklung zu vollem Recht. Das staatliche Leben, besonders in Athen, wird in allen seinen Betätigungen anschaulich und doch nicht zu ausführlich vorgeführt. Vergleiche mit späteren Verhältnissen erleichtern oft das Verständnis. Die Schilderung des geistigen Lebens hebt besonders die gewaltigeren Persönlichkeiten hervor, begnügt sich aber nicht mit bloßen Tatsachen und Urteilen, sondern fährt, soweit tunlich, auch Proben an oder gibt Inhaltsangaben der überlieferten Werke, die auch dem mit der griechischen Literatur unbefannten Leser ein Verständnis für die Bedeutung dieser Geisteshelden eröffnen.“ (Lehrproben und Lehrgänge. 1906.)

# Das Mittelmeergebiet. Von Professor Dr. A. Philippson.

Mit 9 Figuren im Text, 13 Ansichten und 10 Karten auf 15 Tafeln. Geb. M. 6.—, in Leinwand geb. M. 7.—

„... Das vorliegende Werk eignet sich vorzüglich, um einem weiten Kreise allgemein Gebildeter eine Vorstellung von dem zu geben, was Geographie heute ist, namentlich aber der stetig wachsenden Zahl der Besucher des Mittelmeergebietes ein tieferes Verständnis für das, was sie sehen, zu erschließen. Jeder sollte sich das Buch als Ergänzung seines Reisehandbuchs mitnehmen, und die Bibliotheken unserer Ausdreselbampfer sollten es in mehreren Exemplaren enthalten. ... Auch dem Historiker, dem Kulturhistoriker, dem Soziologen bringt das Buch bedeutenden Gewinn. ... Die Bilder sind vorzüglich gewählt und gut ausgeführt, die Karten sehr klare Veranschaulichungen des Textes.“ (Deutsche Literaturzeitung.)

# Die Renaissance in Florenz und Rom. Acht Vorträge von Prof. Dr. K. Brandi. 2. Aufl. Geb. M. 5.—, in Leinwand geb. M. 6.—

„... Im engsten Raum stellt sich die gewaltigste Zeit dar, mit einer Kraft und Bedrängtheit, Schönheit und Kürze des Ausdrucks, die klassisch ist. Gerade was das größere Publikum erlangen will und soll, kann es daraus gewinnen, ohne doch mit oberflächlichem Halbverstand überladen zu werden. Den tiefer Dringenden gibt das schöne Werk den Genuß einer nochmaligen, kurzen, knappen Zusammenfassung; als habe man lange in einer fernen, großartigen Welt gelebt, ganz von ihrem Sein und Wesen erfüllt, müsse nun Abschied nehmen und sehe sie noch einmal mit einem Schlage vor sich, groß, fahn, farbenreich und nahe und ins Gedächtnis unwandelbar eingegraben, indes man sich wieder der eigenen Zeit zuwendet und weiterwandert.“ (Die Nation.)

# Die Entwicklung des deutschen Städtewesens. Von Hugo Preuß. I. Band. Entwicklungsgeichichte der deutschen Städteverfassung. Geb. M. 4.80, in Leinwand geb. M. 6.—

Das vorliegende Werk stellt sich als erstes die Aufgabe einer zusammenfassenden Betrachtung des deutschen Städtewesens in entwicklungsgeschichtlichem Zusammenhange seiner Organisation und seiner Funktionen. Der erste, geschichtliche Band betrachtet so die deutsche Verfassungsgeschichte, die sonst vom Standpunkte der Entwicklung des Reiches oder der Territorialstaaten aus behandelt wird, unter dem Gesichtspunkte der bürgerlichen Entwicklung mit dem Ergebnis, daß der ungelöste Gegensatz zwischen dem urbanen Verfassungsprinzip der freien Genossenschaft und dem agrarischen Organisationsprinzip des herrschaftlichen Verbandes alle Jahrhunderte der deutschen Entwicklung durchzieht.

So darf auch schon dieser erste Band — ein zweiter wird die Probleme der städtischen Verfassung und Verwaltung untersuchen, die sich aus der neuesten Entwicklung namentlich der großstädtischen Agglomerationen mit unabwetslicher Notwendigkeit ergeben — aktuelles Interesse beanspruchen und von keinem unlesen bleiben, der irgendwie an der Entwicklung unserer inneren Zustände praktisch oder ideell beteiligt ist.

# DIE KULTUR DER GEGENWART

## IHRE ENTWICKLUNG UND IHRE ZIELE

HERAUSGEGEBEN VON PROF. PAUL HINNEBERG

In 4 Teilen. Lex.-8. Jeder Teil zerfällt in einzelne inhaltlich vollständig in sich abgeschlossene u. einzeln käufliche Bände (Abteilungen).

Die „Kultur der Gegenwart“ soll eine systematisch aufgebaute, geschichtlich begründete Gesamtdarstellung unserer heutigen Kultur darbieten, indem sie die Fundamentalergebnisse der einzelnen Kulturgebiete nach ihrer Bedeutung für die gesamte Kultur der Gegenwart und für deren Weiterentwicklung in großen Zügen zur Darstellung bringt. Das Werk vereinigt eine Zahl erster Namen aus allen Gebieten der Wissenschaft und Praxis und bietet Darstellungen der einzelnen Gebiete jeweils aus der Feder des dazu Berufensten in gemeinverständlicher, künstlerisch gewählter Sprache auf knappstem Raume.

### Teil I: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete. 1. Hälfte. Religion und Philosophie, Literatur, Musik und Kunst mit vorangehender Einleitung zu dem Gesamtwerk.

- Abt. 1. Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.
- Abt. 2. Aufgaben und Methode der Geisteswissenschaften.
- Abt. 3. Außerchristliche Religionen.
- Abt. 4. Die christliche Religion mit Einschluß der israelit.-jüd. Religion.
- Abt. 5. Allgem. Geschichte der Philosophie.
- Abt. 6. Systematische Philosophie.
- Abt. 7. Die orientalischen Literaturen.
- Abt. 8. Die griechische und lateinische Literatur und Sprache.

- Abt. 9. Die osteuropäischen Literaturen und die slawischen Sprachen.
- Abt. 10. Die deutsche Literatur und Sprache. Allgemeine Literaturwissenschaft.
- Abt. 11. Die romanische und englische Literatur und Sprache.
- Abt. 12. Die Musik.
- Abt. 13. Die orientalische Kunst. Die europäische Kunst des Altertums.
- Abt. 14. Die europäische Kunst des Mittelalters und der Neuzeit. Allgemeine Kunstwissenschaft.

### Teil II: Die geisteswissenschaftlichen Kulturgebiete. 2. Hälfte. Staat und Gesellschaft, Recht und Wirtschaft.

- Abt. 1. Völker-, Länder- und Staatenkunde.
- Abt. 2. Allgemeine Verfassungs- und Verwaltungsgeschichte.
- Abt. 3. Staat und Gesellschaft des Orients.
- Abt. 4. Staat und Gesellschaft Europas im Altertum und Mittelalter.
- Abt. 5. Staat und Gesellschaft Europas und Amerikas in der Neuzeit.

- Abt. 6. System der Staats- und Gesellschaftswissenschaft.
- Abt. 7. Allgemeine Rechtsgeschichte.
- Abt. 8. Systematische Rechtswissenschaft.
- Abt. 9. Allgemeine Wirtschaftsgeschichte.
- Abt. 10. System der Volkswirtschaftslehre.

### Teil III: Die naturwissenschaftlichen Kulturgebiete. Mathematik, Anorganische und organische Naturwissenschaften, Medizin.

### Teil IV: Die technischen Kulturgebiete. Bautechnik, Maschinentechnik, industrielle Technik, Landwirtschaftliche Technik, Handels- und Verkehrstechnik.

**Probeheft und Spezial-Prospekte** über die einzelnen Abteilungen (mit Auszug aus dem Vorwort des Herausgebers, der Inhaltsübersicht des Gesamtwerkes, dem Autoren-Verzeichnis und mit Probestücken aus dem Werke) werden auf Wunsch umsonst u. postfrei vom Verlag versandt.

Von Teil I und II sind erschienen:

**Teil I, Abt. 1: Die allgemeinen Grundlagen der Kultur der Gegenwart.**

Inhalt: Das Wesen der Kultur: W. Lexis. — Das moderne Bildungswesen: Fr. Paulsen. — Die wichtigsten Bildungsmittel. A. Schulen und Hochschulen. Das Volksschulwesen: G. Schöppa. Das höhere Knabenschulwesen: A. Matthias. Das höhere Mädchenschulwesen: H. Gaudig. Das Fach- und Fortbildungsschulwesen: G. Kerchensteiner. Die gelteswissenschaftliche Hochschulausbildung: Fr. Paulsen. Die naturwissenschaftliche Hochschulausbildung: W. v. Dyck. B. Museen. Kunst- und Kunstgewerbe-Museen: L. Pallat. Naturwissenschaftlich-technische Museen: K. Kraepelin. G. Ausstellungen. Kunst- und Kunstgewerbe-Ausstellungen: J. Lessing. Naturwissenschaftlich-technische Ausstellungen: O. N. Witt. D. Die Musik: G. Göhler. R. Das Theater: P. Schlenker. F. Das Zeitungswesen: K. Bücher. G. Das Buch: R. Pietschmann. H. Die Bibliotheken: F. Milkau. — Die Organisation der Wissenschaft: H. Diels. [XV u. 671 S.] 1906. Preis geb. *M.* 16.—, in Leinwand geb. *M.* 18.—

**Teil I, Abt. 3, 1: Die orientalischen Religionen.** Inhalt: Die Anfänge der Religion und die Religion der primitiven Völker: Ed. Lehmann. — Die ägyptische Religion: A. Erman. — Die asiatischen Religionen: Die babylonisch-assyrische Religion: G. Bezold. — Die indische Religion: H. Oldenberg. — Die iranische Religion: H. Oldenberg. — Die Religion des Islams: J. Goldziher. — Der Lamaismus: A. Grünwedel. — Die Religion der Chinesen: J. J. M. de Groot. — Die Religion der Japaner: a) Der Shintoisimus: K. Florensz, b) Der Buddhismus: H. Haas. [VII u. 267 S.] 1906. Preis geb. *M.* 7.—, in Leinwand geb. *M.* 9.—

**Teil I, Abt. 4: Die christliche Religion mit Einschluß der israelitisch-jüdischen Religion.** Inhalt: Die israelitisch-jüdische Religion: J. Wellhausen. — Die Religion Jesu und die Anfänge des Christentums bis zum Nicaenum (325): A. Jülicher. — Kirche und Staat bis zur Gründung der Staatskirche: A. Harnack. — Griechisch-orthodoxes Christentum und Kirche in Mittelalter und Neuzeit: N. Bonawitsch. — Christentum und Kirche in Westeuropa im Mittelalter: K. Müller. — Katholisches Christentum und Kirche in der Neuzeit: F. X. Funk. Protestantisches Christentum und Kirche in der Neuzeit: E. Troeltsch. — Wesen der Religion und der Religionswissenschaft: E. Troeltsch. — Christlich-katholische Dogmatik: J. Pohle. — Christlich-katholische Ethik: J. Mauzsch. — Christlich-katholische praktische Theologie: C. Krieg. — Christlich-protestantische Dogmatik: W. Herrmann. — Christlich-protestantische Ethik: B. Seeberg. — Christlich-protestantische praktische Theologie: W. Faber. — Die Zukunftsaufgaben der Religion und die Religionswissenschaft: H. J. Holtzmann. [XI u. 759 S.] 1906. Preis geb. *M.* 16.—, in Leinwand geb. *M.* 18.— Auch in 2 Hälften: 1. Geschichte der christlichen Religion. geb. *M.* 9.60, geb. *M.* 11.— 2. Systematisch-christliche Theologie. geb. *M.* 6.60, geb. *M.* 8.—

**Teil I, Abt. 5: Allgemeine Geschichte der Philosophie.** Inhalt: Die Anfänge der Philosophie und die Philosophie der primitiven Völker: W. Windt. — Die orientalische Philosophie des Altertums, Mittelalters und der Neuzeit. Indische Philosophie: H. Oldenberg. — Semitische Philosophie: J. Goldziher. — Chinesische Philosophie: W. Grube. — Japanische Philosophie: Inoué. — Die europäische Philosophie. Altertum: H. v. Arnim. Mittelalter: Cl. Baumker. Neuzeit: W. Windelband. [ca. 25 Bogen.] Preis geb. ca. *M.* 8.—, in Leinw. geb. ca. *M.* 10.—

**Teil I, Abt. 6: Systematische Philosophie.** Inhalt: Das Wesen der Philosophie: W. Dilthey. — Logik und Erkenntnistheorie: A. Riehl. — Metaphysik: W. Windt. — Naturphilosophie: W. Ostwald. — Psychologie: H. Ebbinghaus. — Philosophie der Geschichte: R. Eucken. — Ethik: Fr. Paulsen. — Pädagogik: W. Münch. — Ästhetik: Th. Lipps. — Die Zukunftsaufgaben der Philosophie: Fr. Paulsen. [VIII u. 452 S.] 1907. Preis geb. *M.* 10.—, in Leinwand geb. *M.* 12.—

**Teil I, Abt. 7: Die orientalischen Literaturen.** Inhalt: Die Anfänge der Literatur und die Literatur der primitiven Völker: E. Schmidt. — Die ägyptische Literatur: A. Erman. — Die babylonisch-assyrische Literatur: C. Bezold. — Die israelitische Literatur: H. Gunkel. — Die aramäische Literatur: Th. Nöldke. — Die äthiopische Literatur: Th. Nöldke. — Die arabische Literatur: M. J. de Goeje. — Die indische Literatur: R. Pischel. — Die altpersische Literatur: K. Geldner. — Die mittelpersische Literatur: P. Horn. — Die neupersische Literatur: P. Horn. — Die türkische Literatur: E. Horn. — Die armenische Literatur: F. N. Finck. — Die georgische Literatur: F. N. Finck. — Die chinesische Literatur: W. Grube. — Die japanische Literatur: K. Florenz. [IX u. 419 S.] 1906. Preis geh. *M.* 10.—, in Leinwand geb. *M.* 12.—

**Teil I, Abt. 8: Die griechische und lateinische Literatur und Sprache.** Inhalt: I. Die griechische Literatur und Sprache. Die griechische Literatur des Altertums: U. v. Wilamowitz-Moellendorf. — Die griechische Literatur des Mittelalters: K. Krumbacher. — Die griechische Sprache: J. Wackernagel. — II. Die lateinische Literatur und Sprache. Die römische Literatur des Altertums: Fr. Leo. — Die lateinische Literatur im Übergang vom Altertum zum Mittelalter: E. Norden. — Die lateinische Sprache: F. Skutsch. 2. Auflage. [VIII u. 494 S.] 1907. Preis geh. *M.* 10.—, in Leinwand geb. *M.* 12.—

**Teil I, Abt. 9: Die osteuropäischen Literaturen und die slawischen Sprachen.** Inhalt: Die russische Literatur: A. Wesselovsky. — Die polnische Literatur: A. Brückner. — Die böhmische Literatur: J. Machál. — Die südslawischen Literaturen: M. Murko. — Die slawischen Sprachen: V. v. Jagić. — Die neugriechische Literatur: O. Thumb. — Die ungarische Literatur: Fr. Riedl. — Die finnische Literatur: E. N. Setälä. — Die estnische Literatur: G. Suits. — Die litauische Literatur: A. Bezzenbarger. — Die lettische Literatur: Ed. Wolter. [ca 24 Bogen.]

**Teil I, Abt. 10: Die romanische Literatur und Sprache.** Inhalt: Die celtische Literatur: H. Zimmer, Stern u. Meyer. — Die romanische Literatur: H. Morf. — Die romanischen Sprachen: W. Meyer-Lübke. [U. d. Fr.]

**Teil II, Abt. 5: Staat und Gesellschaft Europas und Amerikas in der Neuzeit.** Verfasser: Fr. v. Bezold, E. Gothein, R. Koser, E. Marcks, Th. Schieffmann. [ca. 90 Bogen.] Preis geh. ca. *M.* 10.—, in Leinwand geb. ca. *M.* 12.—

**Teil II, Abt. 8: Systematische Rechtswissenschaft.** Inhalt: Wesen des Rechtes und der Rechtswissenschaft: R. Stammler. — Die einzelnen Teilgebiete: Privatrecht. Bürgerliches Recht: R. Sohm. — Handels- und Wechselrecht: K. Garcia. — Versicherungsrecht: V. Ehrenberg. — Internationales Privatrecht: L. v. Bar. — Zivilprozessrecht: L. v. Sœuffert. — Strafrecht und Strafprozessrecht: F. v. Liszt. — Kirchenrecht: W. Kahl. — Staatsrecht: P. Laband. — Verwaltungsrecht. Justiz und Verwaltung: G. Anschütz. — Polizei- und Kulturpflege: E. Bernatzik. — Völkerrecht: F. v. Martitz. — Die Zukunftsaufgaben des Rechtes und der Rechtswissenschaft: R. Stammler. [X, IX u. 526 S.] 1906. Preis geh. *M.* 14.—, in Leinwand geb. *M.* 16.—

## B. G. Teubners Allgemeiner Katalog

gibt eine reich illustrierte, durch ausführliche Inhaltsangaben, Proben, Besprechungen eingehend über jedes einzelne Werk unterrichtende Übersicht aller derjenigen Veröffentlichungen des Verlages, die von allgemeinem Interesse für die weitesten Kreise der Gebildeten sind. Der Katalog liegt in folgenden Abteilungen vor, die jedem Interessenten und speziell den Käufern der Bändchen „Aus Natur und Geisteswelt“ auf Wunsch umsonst u. postfrei vom Verlage B. G. Teubner in Leipzig übersandt werden:

- |  |   |
|--|---|
| 1. Allgemeines (Sammelwerke, Zeitschriften, Bildungswesen).  | 6. Neuere fremde Literaturen und Sprachen.                      |
| 2. Klassisches Altertum (Literatur, Sprache, Mythologie, Religion, Kunst, Geschichte, Recht und Wirtschaft). | 7. Länder- und Völkerkunde.                                     |
| 3. Religion, Philosophie.  | 8. Volkswirtschaft, Handel und Gewerbe, Fortbildungsschulwesen. |
| 4. Geschichte, Kulturgeschichte, Kunst.  | 9. Pädagogik.   |
| 5. Deutsche Sprache und Literatur.   | 10. Mathematik, Naturwissenschaften, Technik.                   |
- Vollständige Ausgabe.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301680

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296126