



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

371. Hertzsche Versuche. Elektromagnetische Lichttheorie

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83789)

in Form von negativ geladenen kleinen Teilchen verläßt, denen die gleichen Merkmale zukommen, wie den Teilchen, aus denen die Kathodenstrahlen bestehen.

371. **Hertz'sche Versuche. Elektromagnetische Lichttheorie.** Daß zwischen Licht und Elektrizität eine Beziehung ganz prinzipieller grundlegender Natur bestehen müsse, darauf deutete vor allem der Umstand hin, daß in dem Verhältnis der verschiedenen elektrischen Maße eine Geschwindigkeitsgröße eine Rolle spielt, die ihrem absoluten Betrage nach gleich der Lichtgeschwindigkeit ist (243, 280). Hiervon ausgehend hat Maxwell eine Theorie entwickelt, nach der elektrische Schwingungen sich mit der Geschwindigkeit des Lichts durch den Raum hindurch fortpflanzen und Lichtschwingungen nichts anderes als elektrische Schwingungen sehr kleiner Schwingungsdauer sein sollen. Diese Theorie hat ihre experimentelle Bestätigung in den Versuchen von Heinrich Hertz (1888) erfahren, dem es gelang (279), elektrische Schwingungen von so kurzer Schwingungsdauer herzustellen, daß ihnen Wellen von bequem meßbarer Länge entsprachen. Wenn sich nämlich die elektrischen Schwingungen mit der Lichtgeschwindigkeit fortpflanzen, so würden Schwingungen von der Art, wie sie von Feddersen untersucht worden sind (279) mit einer Schwingungsdauer von einer milliontel Sekunde, Wellen erzeugen, deren Länge nach der Formel $\lambda = V \cdot T$ (284) 300 m betragen würde. Die von Hertz benutzten Erreger elektrischer Schwingungen aber, deren Schwingungsdauer sich aus den viel kleineren Werten ihrer Kapazität und ihrer Selbstinduktion zu einhundert milliontel Sekunden berechnen läßt, würden Wellen von 3 m Länge aussenden. Daß dies in der Tat der Fall war, konnte Hertz durch folgenden Versuch beweisen. Dem Erreger der elektrischen Schwingungen, dem Oszillator, stellte er in größerer Entfernung eine metallene Wand gegenüber und untersuchte mit einem auf den Oszillator abgestimmten Resonator mit kleiner Funkenstrecke, wie die Wirkung zwischen dem Oszillator und der Wand beschaffen war. Er fand in unmittelbarer Nähe der Wand keine Funken im Resonator; entfernte er ihn aber von der Wand gegen den primären Leiter hin, so traten Funken auf, welche bei einem bestimmten Abstand ihre größte Lebhaftigkeit erreichten; dann nahmen bei weiterer Entfernung die Funken an Stärke wieder ab, verschwanden ganz beim doppelten Abstände, wuchsen zu einem abermaligen Maximum an bei dreifachem Abstände usf. Dieser Versuch zeigt, daß die induzierende Wirkung sich wellenartig durch den Raum fortpflanzt, und mithin zur Fortpflanzung Zeit braucht; denn nur so wird verständlich, daß sich zwischen der Wand und dem primären Leiter durch Interferenz der einfallenden und der zurückgeworfenen Welle ein Zustand mit Ruhepunkten oder Knoten und regelmäßig damit abwechselnden Stellen lebhaftester Bewegung oder Bäuchen, mit einem Worte eine stehende Wellenbewegung (286), ausbilden kann, ebenso wie bei der Reflexion von Schall- und Lichtwellen. Da sich die halbe Wellenlänge als

Abstand zweier benachbarter Knotenpunkte ergibt und die Schwingungsdauer (und darum auch die Schwingungszahl) aus den Dimensionen des primären Leiters sich berechnen läßt, so findet man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit als Produkt der Wellenlänge mit der Schwingungszahl, und zwar zu 300 000 km/sec. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser „Strahlen elektrischer Kraft“ ist also gleich derjenigen der Lichtstrahlen.

Wir bringen nun den primären Leiter oder Oszillator O seiner Längsrichtung nach in die Brennpunktlinie eines großen zylindrischen Hohlspiegels aus Zinkblech S_1 ; der Induktionsapparat J (Fig. 428)

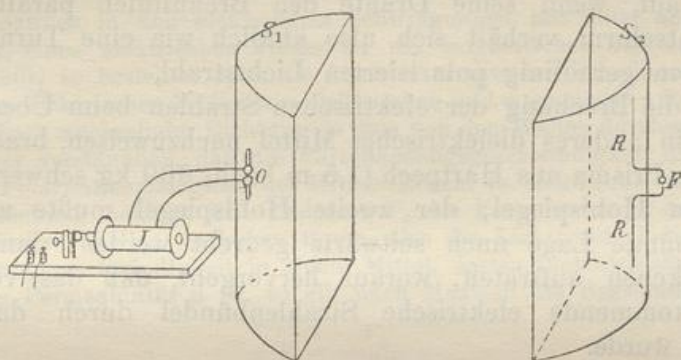


Fig. 428.
Hertzsche Hohlspiegel.

steht hinter dem Spiegel, und die Zuleitungsdrähte gehen isoliert durch dessen Wandung. Der ebenfalls geradlinige sekundäre Leiter oder Resonator R wird in die Brennpunktlinie eines zweiten dem ersten gleichen Hohlspiegels S_2 gebracht, so daß die beiden zur Funkenstrecke führenden Drähte den Spiegel isoliert durchsetzen und die Funkenstrecke F zur bequemeren Beobachtung hinter den Spiegel zu liegen kommt. Stehen die beiden Hohlspiegel (Fig. 428) einander gerade gegenüber (in einer Entfernung von 6—10 m), so sieht man an dieser Unterbrechungsstelle des sekundären Leiters zwischen einer Kugel und einer Spitze sehr kleine Fünkchen übergehen, welche aber sofort erlöschen, wenn man den zweiten Hohlspiegel etwas zur Seite dreht. Daraus geht hervor, daß die von dem primären Leiter ausgehenden elektrischen Strahlen ganz ebenso wie Lichtstrahlen an dem ersten Spiegel parallel unter sich zurückgeworfen und in der Brennpunktlinie des zweiten wieder gesammelt werden, wenn die optischen Achsen der beiden Spiegel zusammenfallen. Die Fünkchen erlöschen auch, wenn man zwischen die einander zugekehrten Hohlspiegel einen Schirm aus leitendem Material bringt; nichtleitende (dielektrische) Körper dagegen halten die Strahlen nicht auf: durch Wände, Türen u. dgl. gehen sie durch.

Daß die elektrischen Strahlen aus Transversalschwingungen parallel zur Längsrichtung des Oszillators gebildet und sonach im Sinne der Optik geradlinig polarisiert sind, ist schon aus der Art ihrer Entstehung unmittelbar ersichtlich, wird aber durch folgende

Versuche noch besonders erwiesen. Dreht man den empfangenden Spiegel um das Strahlenbündel als Achse, bis seine Brennnlinie zu der des ersteren senkrecht steht, so werden die sekundären Funken allmählich schwächer und verschwinden bei gekreuzter Lage ganz. Die beiden Spiegel verhalten sich also wie Polarisator und Analysator. Man bringe ferner einen mit parallelen Kupferdrähten bespannten Holzrahmen senkrecht zum Strahlenbündel zwischen die beiden Spiegel, deren Brennnlinien parallel stehen. Liegen die Drähte senkrecht zu den Brennnlinien, so beeinträchtigt der Rahmen die sekundären Funken so gut wie gar nicht, er hält aber die Strahlen vollkommen auf, wenn seine Drähte den Brennnlinien parallel laufen. Der Drahtschirm verhält sich also ähnlich wie eine Turmalinplatte gegen einen geradlinig polarisierten Lichtstrahl,

Um die Brechung der elektrischen Strahlen beim Übergang aus Luft in ein anderes dielektrisches Mittel nachzuweisen, brachte Hertz ein großes Prisma aus Hartpech (1,5 m hoch, 600 kg schwer) zwischen die beiden Hohlspiegel; der zweite Hohlspiegel mußte alsdann in eine bestimmte Lage nach seitwärts gedreht werden, damit sekundäre Fünkchen auftraten, woraus hervorgeht, daß das vom ersten Spiegel kommende elektrische Strahlenbündel durch das Prisma abgelenkt wurde.

Da die äußerst kleinen Fünkchen nur in nächster Nähe sichtbar sind, benutzen wir, um die Wirkungen elektrischer Schwingungen einem größeren Kreise wahrnehmbar zu machen, die von Branly (1891) entdeckte Tatsache, daß locker aneinander liegende Metallspäne, die den elektrischen Strom schlecht leiten, ihn plötzlich gut leiten, wenn sie von elektrischen Strahlen getroffen werden, und nach

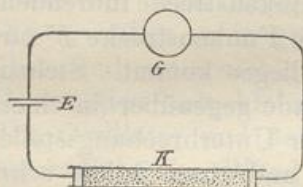


Fig. 429.
Kohärer.

Aufhören der Strahlung leitend bleiben, bis eine kleine Erschütterung sie wieder in ihren anfänglichen schlecht leitenden Zustand zurückführt. Das Metallpulver (Eisenfeilspäne) befindet sich in einer wenige Zentimeter langen Glasröhre (*K*, Fig. 429), dem „Kohärer“, zwischen zwei als Elektroden dienenden Metallklötzchen, deren mit

Klemmen versehene Enden durch eine Leitung, die ein galvanisches Element (*E* z. B. Daniell) und ein Galvanometer *G* enthält, verbunden sind. Sobald elektrische Strahlen auf den Kohärer treffen, wird das Galvanometer abgelenkt und kehrt nach leisem Klopfen am Kohärer, welches durch den Anker eines in die Leitung eingeschalteten Elektromagneten selbsttätig bewirkt werden kann, wieder in die Ruhelage zurück. Der Induktor, von dessen Funkenstrecke die Schwingungen ausgehen, ist von einem Kasten aus Zinkblech umgeben, der nur durch ein dem Funken gegenüberstehendes Ansatzrohr das elektrische Strahlenbündel herausdringen läßt, mit welchem sich nun alle oben erwähnten Versuche anstellen lassen. Zum Nachweis der Brechung genügt ein Prisma aus Paraffin von 10 cm Kantenlänge; eine Paraffin-

kugel oder eine mit Petroleum gefüllte Flasche wirken konzentrierend wie Linsen. Die Erscheinungen der Interferenz und Beugung, der Polarisation und Doppelbrechung lassen sich ebenfalls für diese elektrischen Strahlen nachweisen.

Die „Strahlen elektrischer Kraft“ befolgen hiernach dieselben Gesetze der Fortpflanzung, Reflexion und Brechung wie die Lichtstrahlen; es liegt daher nahe, beide als Bewegungen eines und desselben Mittels, des Äthers, anzusehen. Man kann sagen, elektrische Strahlen sind Lichtstrahlen von sehr großer Wellenlänge oder Lichtstrahlen sind elektrische Strahlen von sehr kleiner Wellenlänge.

Da man es in den elektrischen Schwingungen mit einer abwechselnden Umsetzung eines elektrischen Feldes in ein magnetisches und umgekehrt zu tun hat (280), so bestehen auch die von der erregenden Schwingung aus fortschreitenden elektrischen Wellen aus elektrischen und magnetischen Polarisationen von periodisch wechselnder Richtung in dem von den Wellen durchsetzten Mittel. Es ist daher verständlich, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wellen durch die Polarisationsfähigkeit des Mittels sowohl in elektrischer wie in magnetischer Beziehung bedingt ist. Bedeutet V_0 die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen im leeren Raum, also die Lichtgeschwindigkeit, V die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in einem Mittel, dessen Dielektrizitätskonstante k und dessen Permeabilität μ ist, so gilt nach Maxwell die Beziehung

$$V = \frac{V_0}{\sqrt{k \cdot \mu}}.$$

Das Verhältnis V_0/V entspricht dem Brechungsexponenten N für die elektrischen Wellen. Folglich ist $N = \sqrt{k \cdot \mu}$. Da nun für die verschiedenen Isolatoren die Werte von μ nur sehr wenig voneinander und von 1 verschieden sind, so folgt aus der obigen Beziehung, daß die Dielektrizitätskonstante gleich dem Quadrat des Brechungsexponenten der elektrischen Wellen sein muß. Daß dieser Satz für die kürzeren Licht- und Wärmewellen im allgemeinen keine Gültigkeit hat, folgt ohne weiteres aus der Dispersion der Körper, d. h. aus der Tatsache, daß der Brechungsexponent von der Schwingungsdauer der Wellen abhängt, während doch die Dielektrizitätskonstante eine nach ihrer elektrostatischen Bedeutung von der Schwingungsdauer ganz unabhängige Größe ist. Dieser komplizierte Zusammenhang zwischen der Schwingungsdauer und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit läßt sich nur durch den molekularen Bau der Materie erklären, der die Fortpflanzung der Wellen beeinflusst, sobald die Schwingungsdauern der Wellen sich der Schwingungsdauer der Eigenschwingungen der kleinsten Teile der Materie nähern. Für die längeren elektrischen Wellen kommt dieser Umstand aber im allgemeinen noch nicht in Betracht. Man kann daher auf Grund obiger Beziehung die Dielektrizitätskonstante eines Stoffes dadurch ermitteln, daß man die Wellenlänge derselben elektrischen Schwingung einmal in Luft und dann in dem betreffenden Stoffe mißt. Das Verhältnis der Wellenlänge gibt den Brechungsexponenten, das Quadrat des Verhältnisses die Dielektrizitätskonstante. Diese Art der Messung von Dielektrizitätskonstanten ist besonders deswegen von Wichtigkeit, weil sie auch an schlechten Isolatoren, wie Wasser, Alkohol, ausführbar ist, deren Leitfähigkeit zu groß ist, um auf statischem Wege Messungen der Dielektrizitätskonstanten zu ermöglichen.

Zur genaueren Messung der Wellenlänge bedient man sich nicht der Wellen im freien Raum, sondern einer von Lecher (1890) angegebenen Anordnung, bei der die Wellen an und zwischen zwei parallel gespannten Drähten entlang laufen. Zwei größeren Blechscheiben B_1 und B_2 stehen zwei ebensolche C_1 und C_2 isoliert gegenüber (Fig. 430). An C_1 und C_2 schließen sich zwei Drähte an, die auf eine längere Strecke parallel nebeneinander herlaufen; sie sind bei D durch einen Draht leitend überbrückt. B_1 und C_1 , B_2 und C_2 bilden die Belegungen

zweier Kondensatoren, die in Kaskade oder hintereinander (183) geschaltet sind. Durch die Entladungen des Induktoriums werden B_1 und B_2 aufgeladen und entladen sich durch die Funkenstrecke F . Diese Entladungen sind ebenso wie die einer Leidener Flasche oder eines Hertzschen Oszillators oszillatorisch; die entgegengesetzten Ladungen der Belege B_1 und C_1 , B_2 und C_2 strömen durch die Funkenstrecke F einerseits, durch die Brücke D andererseits zwischen den Belegen hin und her mit einer von den Dimensionen des ganzen Systems abhängigen Schwingungsdauer. Legt man nun aber in R eine Geißlersche Röhre entlang, so findet man bestimmte Lagen dieser Brücke, $D_1 D_2 D_3$, für die die Röhre in R hell aufleuchtet, während sie für alle anderen Lagen dunkel bleibt. Legt man die zweite Brücke etwa in D_2 fest, und verschiebt die Röhre von D bis D_3 , so findet man, daß die Röhre in der Nähe von D gar nicht leuchtet, bei allmählicher Entfernung von D zu leuchten beginnt und in der Mitte zwischen D und D_1 ein Maximum erreicht; bei weiterer Verschiebung nimmt das Leuchten wieder ab, verschwindet ganz in D_1 , nimmt dann von neuem zu, erreicht in der Mitte zwischen D_1 und D_2 ein zweites Maximum und wird bei D_2 wieder null. Diese Versuche zeigen, daß die elektrischen Schwingungen des Systems $B_1 C_1 D C_2 B_2 F$ sich über D hinaus an den Drähten fortpflanzen und bei passender Abgrenzung des Systems durch eine zweite Brücke durch Reflexion an dieser stehende Schwingungen erzeugen, ganz ähnlich, wie die Luft in

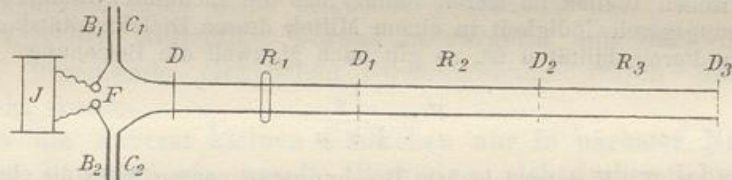


Fig. 430.

Lechersches Drahtsystem.

einer Röhre bei passender Länge der Röhre auf die Schwingungen einer Stimmgabel anspricht (296). Diese stehenden Schwingungen vollziehen sich in der Weise, daß auf den Drähten die elektrischen Ladungen nach gewissen Punkten von beiden Seiten heranströmen, und zwar auf den einander gegenüberliegenden Stellen der beiden Drähte stets entgegengesetzte Ladungen. Die Punkte, in denen sich die Ladungen in dieser Weise periodisch anhäufen, sind die Punkte R_1, R_2, R_3 . An dieser Stelle leuchtet die Röhre am hellsten, weil hier die größten Spannungsdifferenzen zwischen den gegenüberliegenden Stellen der beiden Drähte auftreten. Zu der Zeit aber, zu der sich der obere Draht in R_1 positiv ladet, ladet er sich in R_2 negativ und umgekehrt. Die positive Ladung strömt von R_2 nach R_1 und R_3 und gleichzeitig im unteren Draht von R_1 und R_3 nach R_2 ; nachdem dann das Maximum der Ladung eingetreten ist, strömt die Ladung auf dem oberen Draht von R_1 und R_3 nach R_2 zurück und umgekehrt auf dem unteren Draht. Dabei treten in $D_1 D_2$ nur hin- und hergehende Strömungen der Elektrizität auf, aber keine Spannungsdifferenzen zwischen den gegenüberliegenden Punkten der Drähte. Die Stellen $D_1 D_2$ entsprechen also in gewissem Sinne den Bäuchen der Luftschwingung in der Pfeife, die Stellen $R_1 R_2 R_3$ den Knoten, in denen Verdichtungen und Verdünnungen der Luft stattfinden, entsprechend den Ladungen auf den Drähten. Theorie und Versuch haben übereinstimmend ergeben, daß die Geschwindigkeit, mit der sich die elektrischen Wellen zwischen solchen parallel gespannten Drähten fortpflanzen, genau die gleiche ist, wie diejenige, mit der sich die Wellen im freien Raum fortpflanzen würden. Der Abstand zweier benachbarter Brückenlagen, $D_1 D_2$, gibt also die halbe Wellenlänge der erregenden Schwingung. Da sich die richtigen Brückenlagen mit großer Genauigkeit feststellen lassen, so kann man auf diese Weise die Wellenlänge λ der erregenden Schwingung, die mit der Schwingungsdauer T

und der Fortpflanzungsgeschwindigkeit V durch die bekannte Formel $\lambda = V \cdot T$ zusammenhängt, leicht mit Sicherheit ermitteln. Diese Messungen kann man aber nicht bloß in Luft, sondern auch in flüssigen Isolatoren ausführen, indem man die Drähte bei D_1 durch die Wand eines mit der Flüssigkeit gefüllten Troges hindurchtreten läßt und in der Flüssigkeit für die zweite Brücke die passenden Lagen für das Aufleuchten der Röhre in R_1 aufsucht. Das Verhältnis der in Luft und in der Flüssigkeit gemessenen Wellenlänge gibt dann den Brechungs-exponenten, und sein Quadrat die Dielektrizitätskonstante. So findet man, daß in Wasser die Wellenlänge $\frac{1}{9}$ von derjenigen in Luft ist, daraus folgt die Dielektrizitätskonstante des Wassers = 81.

Wenn es sich darum handelt, kürzere Wellen von möglichster Stärke und von möglichst geringer Dämpfung auf den Drähten zu erregen, so bedient man sich statt des Lecherschen Erregers zweckmäßiger des Erregers von Blondlot (Fig. 431). Hier bestehen die beiden Erregerhälften, die vom Induktorium geladen sich durch die Funkenstrecke F entladen, aus zwei halbkreisförmig gebogenen starken Metalldrähten M_1 und M_2 . Diese sind in einigem Abstände von einem offenen Ring eines dünneren Drahtes umschlossen, der sich in die beiden Paralleldrähte fortsetzt. Zur besseren Isolation und um die Funkenstrecke wirksamer zu gestalten, liegen die Halbkreise $M_1 M_2$ nebst dem umgebenden Drahttring unter Petroleum, aus dem die Paralleldrähte in die Luft hinausgeführt sind. Wenn sich die Halbkreise $M_1 M_2$ durch F entladen, so strömen die Ladungen auf dem von den beiden Halbkreisen gebildeten Kreise hin und her, ihre Wirkungen entsprechen denen eines Kreisstromes, in dem die Stromrichtung in dem außerordentlich schnellen Tempo dieser Schwingungen wechselt. Die elektromagnetische Induktion dieses Wechselstromes erzeugt in dem umgebenden Draht-

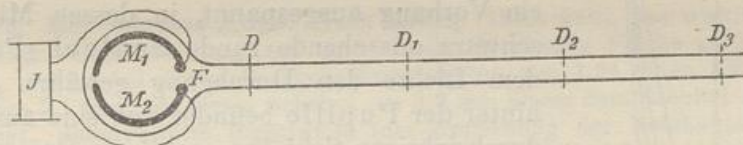


Fig. 431.

Lechersches Drahtsystem mit Erreger von Blondlot.

ring Wechselströme von gleicher Frequenz und erregt dadurch die Schwingungen auf den Drähten. Man bezeichnet diese Art der Übertragung der Schwingungen von dem erregenden auf das erregte System als elektromagnetische oder induktive Koppelung, während bei dem zuvor beschriebenen System (Fig. 430) die Übertragung durch Influenz oder elektrostatische Koppelung erfolgte. Um mit dem Blondlotschen Erreger kräftige Schwingungen zu erhalten, hat es sich als praktisch erwiesen, die Erregerhälften nicht direkt mit dem Induktorium zu laden, sondern eine Leidener Flasche mit Funkenstrecke und Teslatransformator an das Induktorium zu legen, und die Enden der Sekundärspule des Teslatransformators mit den Halbkreisen zu verbinden. In dieser Form ist der Apparat von Drude zur Messung von Dielektrizitätskonstanten ausgebildet worden.

Die außerordentliche Empfindlichkeit des Kohärrers hat es später ermöglicht, die elektrischen Wellen auf viel größere Entfernungen hin zu verfolgen, als es Hertz ursprünglich möglich war. Marconi kam dadurch auf den Gedanken, mit Hilfe dieser Wellen durch den Raum hindurch zu telegraphieren (Telegraphie ohne Draht, 1897). Um die Wellen in wirksamer Weise auszusenden und in Entfernungen von 50, 100 oder mehr Kilometer aufzufangen, verband Marconi die eine Hälfte des Oszillators mit der Erde, die andere mit einem an hohem Maste isoliert in die Lüfte geführten Drahte von etwa 30 m Länge. In derselben Weise war an der Empfangsstation der

Kohärer einerseits an das Ende eines solchen Auffangedrahtes, andererseits an Erde gelegt. Man bezeichnet diese Drähte als „Antennen“. Der Strom des Kohärerkreises betreibt ein empfindliches Relais, mit dessen Hilfe ein Morse-Apparat in Tätigkeit gesetzt wird, der für jeden Funken der Sendestation einen Strich aufschreibt.

Nach dem Vorschlage von Braun werden heute die Schwingungen in den Antennen nicht mehr durch direkte Verbindung der Antennen mit dem Oszillator erregt; sondern der Schwingungskreis des Oszillators enthält einen Transformator, und die Enden der Sekundärspule dieses Transformators werden einerseits an das untere Ende der Antennen, andererseits an Erde gelegt. Ebenso werden die Schwingungen der Empfangsantennen durch einen Transformator auf den Kohärer übertragen.

372. **Das Auge.** Der menschliche Augapfel ist umschlossen von einer derben sehnigen Haut (sclerotica), welche als „das Weiße im Auge“ sich darstellt; in diese ist vorn ein rundes durchsichtiges Fenster, die gleich einem Uhrglas gewölbte Hornhaut (cornea), eingesetzt.

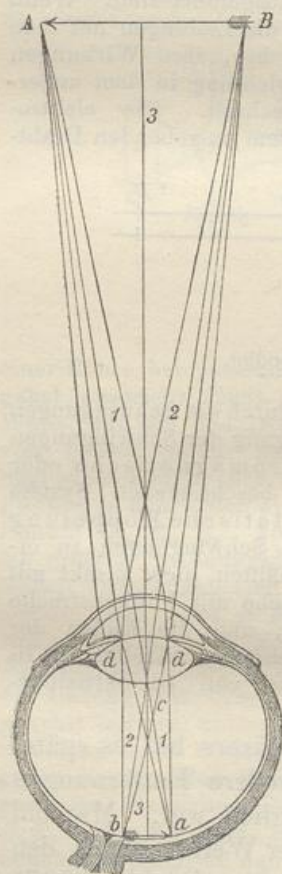


Fig. 432.
Auge.

Hinter der Hornhaut ist die Regenbogenhaut (iris), welche die Farbe des Auges bestimmt, wie ein Vorhang ausgespannt, in dessen Mitte das schwarz aussehende runde Sehloch (Pupille) dem Lichte den Durchgang gewährt. Dicht hinter der Pupille befindet sich eine aus vielen durchsichtigen Schichten gebildete Sammellinse, die Kristalllinse *dd* (Fig. 432). Die vordere durch Hornhaut und Kristalllinse abgegrenzte Augenkammer ist mit einer durchsichtigen wässerigen Flüssigkeit ausgefüllt, die größere hintere Augenkammer enthält eine durchsichtige Gallertmasse, den sogen. Glaskörper. Die Innenwand der hinteren Augenkammer ist zunächst von der Aderhaut (Gefäßhaut, choroidea) ausgekleidet, über welche sich wieder die Netzhaut (retina), als Fortsetzung des Sehnervs, ausbreitet. Die Eintrittsstelle des Sehnervs in die Netzhaut ist für Licht unempfindlich und heißt deshalb der blinde Fleck. Das Auge wirkt ähnlich wie eine kleine Camera obscura; die Kristalllinse entwirft nämlich auf der Netzhaut kleine umgekehrte Sammelbilder (*ab*) der äußeren Gegenstände *AB*. Diese Bildchen werden auf kurze Zeit durch chemische Veränderungen in der Netzhaut gleichsam photo-

graphisch festgehalten, verschwinden aber bald wieder, indem sich jene Veränderungen durch die Lebenstätigkeit immer wieder zurückbilden. Durch den Sehnerv werden die empfangenen Eindrücke dem Gehirn als