

VI. Ueber die Absorption und Brechung des Lichtes in metallisch undurchsichtigen Körpern; von W. Wernicke.

(Aus den Monatsberichten d. Berl. Akad. Nov. 1874.)

Vor einigen Jahren hat Hr. Christiansen für die Brechungsexponenten alkoholischer Fuchsinlösungen Zahlenwerthe angegeben, welche mit stetig wachsender Schwingungszahl für die rothen Strahlen des Spectrums stark zunehmen, für die blauen zuerst abnehmen und dann wieder zunehmen. Diesen eigenthümlichen Gang der Dispersion hat Hr. Kundt bald darauf an verschiedenen Lösungen anderer Farbstoffe beobachtet, welche sämmtlich dadurch ausgezeichnet sind, daß sie die verschiedenen Strahlen des Spectrums in sehr ungleichem Grade absorbiren. Für die Strahlenparthien der stärksten Absorption (beim Fuchsin die grünen) ist es indess nicht nur nicht gelungen, die Brechungsexponenten zu ermitteln, sondern es herrschen selbst über den ungefähren Verlauf dieser Größen die allerverschiedensten Ansichten. Hr. Kundt wagt keine bestimmte Vermuthung darüber auszusprechen, ob jene Strahlen im Absorptionsmaximum mit einem Sprunge ihren Brechungsindex ändern, oder ob die kleinen Brechungsindices auf der einen Seite continuirlich in die großen auf der andern übergehen, so daß sie im Absorptionsmaximum einen mittleren Werth haben. Hr. Ketteler nimmt eine sprungweise Aenderung an; derselbe hat sogar ¹⁾ eine empirische Formel angegeben, welche „das spezifische Gesetz der anomalen Dispersion“ darstellen soll. Hr. Sellmeier ²⁾, welcher abgesehen von einem resultatlosen Versuche des Hrn. O. E. Meyer ³⁾ es unternommen hat, die anomale Dispersion theoretisch zu erklären, stellt eine

1) Pogg. Ann., Jubelband. S. 166.

2) Pogg. Ann. CXLV, 399, 520 und CXLVII, 386, 525.

3) Pogg. Ann. CXLV, 80.

Formel auf, welche eine sprungweise Aenderung der Brechung anzeigt, glaubt aber durch Annahme einer Nebenabsorption, die eine von der Hauptabsorption verschiedene Ursache haben soll und durch die Formel nicht dargestellt wird, einen allmählichen Uebergang ableiten zu dürfen. — Die Ansichten über anomale Dispersion, welche in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie Hr. v. Lang und Hr. Puschl¹⁾ geäußert haben, stehen mit den Beobachtungen im vollen Widerspruche.

Im Folgenden erlaube ich mir, einige Resultate einer vor sechs Jahren begonnenen Untersuchung mitzutheilen, welche die vorliegende Frage und einige andere, mit derselben verwandte, wie ich meine, entscheiden. Ich glaube, daß die richtige Beantwortung jener Fragen Einiges für den weitem Ausbau der Theorie des Lichtes beitragen wird.

Versuche über die numerische Bestimmung der Absorption des Lichtes in Metallen oder metallisch undurchsichtigen festen Körpern sind bis jetzt nicht veröffentlicht. Ich habe durch Methoden, deren ausführliche Mittheilung ich mir vorbehalte, sowohl die Extinctionscoëfficienten wie die Brechungsindices des Silbers und verschiedener organischer Farbstoffe bestimmt. Die leitenden Grundgedanken jener Methode sind etwa folgende:

Die Intensität des durchgehenden Lichtes ist gleich der des auffallenden, vermindert um den durch Reflexion und den durch Absorption entstehenden Verlust. Um den letzteren allein zu erhalten, ist es erforderlich, zwei Schichten von ungleicher Dicke, aber sonst völlig gleicher Beschaffenheit anzuwenden. Außerdem müssen die zur Untersuchung der Absorption verwendbaren Schichten so stark seyn, daß bei der dreifachen Dicke nicht merklich Licht mehr hindurchgeht, weil verschieden dicke Schichten auch bei völliger Gleichheit der Oberflächen und des Innern wegen der Interferenz der an den Gränzflächen reflectirten Strahlen ungleiche Lichtmengen durchlassen.

1) Sitzungsber d. Wien. Akad. 1873, 9. Jan.

Da zufolge dieser durchaus nothwendigen Bedingungen möglichst intensives Licht erforderlich ist, so habe ich als photometrischen Apparat ein Meyers'sches Spectrometer mit Vierordt'schem Doppelspalt gewählt. Die Breite jeder Spaltöffnung konnte mittelst einer Mikrometerschraube, deren Umgang $\frac{1}{5}$ Mm. betrug, und der hunderttheiligen Trommel derselben bis auf etwa $\frac{1}{500}$ Mm. genau abgelesen werden. Giebt man der einen Spalthälfte die Breite von 100 Einheiten ($\frac{1}{5}$ Mm.), setzt die stärkere zweier homogener Platten des zu prüfenden Körpers davor, und vor die andere Spalthälfte die dünnere, so giebt die Breite dieser Spalthälfte, nachdem beide Lichtmengen gleich gemacht sind, unmittelbar die Lichtmenge in Procenten an, welche eine der Dickendifferenz beider Platten gleich starke Schicht hindurchläßt. Das Beobachtungsfernrohr des Spectrometers hatte zwölffache Vergrößerung, im Ocularrohr diente $\frac{1}{4}$ Mm. breiter, genau nach der Krümmung der Fraunhofer'schen Linien gearbeiteter Spalt zur Ablendung des fremden Lichtes; der untersuchte Spectralbezirk umfaßte etwa die dreifache Breite der *b*-Gruppe.

Durch Methoden, welche ich an anderer Stelle mittheilen werde, habe ich eine scharfe Trennungslinie der beiden zu vergleichenden Spectralfelder erreicht, so daß die Einstellung fast mit derselben Sicherheit wie bei unbedecktem Doppelspalt bewerkstelligt werden konnte.

Die Bestimmung der Brechung und Dispersion habe ich auf die Messung der Absorption basirt. Diese Methode setzt nur die Unabhängigkeit der Extinctionscoefficienten vom Einfallswinkel voraus, liefert aber gleichzeitig das Mittel, jene Voraussetzung an den Beobachtungen zu prüfen. Diese haben mir gezeigt, daß bei isotropen Körpern die Abhängigkeit der Absorption von der Incidenz, wenn überhaupt vorhanden, doch jedenfalls sehr gering ist. Scheinbar widersprechen diese Resultate zwar der Theorie, denn Beer hat ¹⁾ aus der Cauchy'schen Re-

1) Pogg. Ann. Bd. 92, S. 402.

flexionstheorie für den Brechungsindex ν und den Extinctionscoefficienten γ die Ausdrücke $\nu^2 = n^2 + \sin^2 i$ und $\gamma^2 = g^2 + \sin^2 i$ abgeleitet, welche, da i den Einfallswinkel, n und g die Werthe jener Gröfsen für normale Incidenz bedeuten, sehr beträchtlich mit dem Einfallswinkel variiren. Die den Beer'schen Rechnungen zu Grunde liegenden Annahmen scheinen mir indefs unzulässig; berücksichtigt man dieselben nicht, so sind auch der Theorie zufolge Brechungsindices und Extinctionscoefficienten nur unmerklich mit dem Einfallswinkel veränderlich.

Bedeutet k die durch eine Schicht von der Dicke der Einheit durchgehende Lichtmenge, die auffallende nach Abzug der reflectirten gleich 1 gesetzt, so ist k' die Intensität nach der Durchstrahlung einer gleichartigen Schicht von der Dicke d und Ak' diese Intensität mit Berücksichtigung des Reflexionsverlustes. Setzt man diese Schicht vor die eine Spalthälfte, welche die Breite b haben möge, so ist die ganze in den Spalt eintretende Lichtmenge $b \cdot Ak^d$. Hat die zweite Schicht die Dicke d_1 und die andere Spalthälfte die Breite b_0 , so ist $b_0 \cdot A \cdot k^d$ die in diese eintretende Lichtmenge. Da man der Beobachtung zufolge beide gleich macht, so ist $b \cdot A \cdot k^d = b_0 \cdot A \cdot k^{d_1}$ oder

$$\frac{b}{b_0} = k^{d_1 - d}.$$

Bei einem Einfallswinkel i ist die in die eine Spalthälfte eintretende Lichtmenge $b \cdot B \cdot k^{\frac{d}{\cos r}}$, die in die andere eintretende $b_0 \cdot B \cdot k^{\frac{d_1}{\cos r}}$, wenn b_0 die Spaltbreite, B den Reflexionsfactor für den Einfallswinkel i , r den zu i gehörigen Brechungswinkel bedeutet. Demgemäfs ist für den Einfallswinkel i das Verhältnifs der Spaltbreiten

$$\frac{b}{b_0} = k^{\frac{d_1 - d}{\cos r}},$$

beim Einfallswinkel 0° $\frac{b}{b_0} = k^{d_1 - d}$, woraus sich

$$\cos r = \log b_0 : \log b,$$

und der Brechungsindex $n = \sin i : \sin r$ auf die einfachste Weise ergibt.

Die Bestimmung der Brechungsindices ist hiernach leichter auszuführen als die der Extinctionscoëfficienten, weil man nicht nöthig hat, die Dickendifferenz der beiden Schichten zu kennen, deren genaue Messung besondere Methoden erfordert.

Die folgenden drei Tabellen enthalten die Resultate dreier Reihen von Versuchen, welche ich zur Bestimmung der Brechungsindices und Extinctionscoëfficienten des festen *Fuchsin*s angestellt habe. Dieser Farbstoff nämlich steht in Bezug auf die Stärke der Absorption der grünen Strahlen den Metallen am nächsten und zeigt gleichzeitig die Erscheinung der anomalen Dispersion am ausgeprägtesten. Die beiden ersten, mit b_0 und b_i überschriebenen Columnen geben die gemessenen Spaltbreiten für die Einfallswinkel 0° und $i = 60^\circ$ an, die dritte die aus den drei Gröfsen i , b_0 und b_i in der eben angegebenen Weise berechneten Brechungsindices, die vierte die zugehörigen Wellenlängen in Milliontel-Millimetern. Die letzte Verticalreihe der dritten Tabelle enthält die arithmetischen Mittel.

Tabelle I.

b_0	b_i	n	λ
0,160	0,135	2,113	598
0,128	0,106	2,168	581
0,101	0,080	2,062	571
0,078	0,054	1,930	562
0,077	0,053	1,878	550
0,077	0,049	1,855	541
0,077	0,049	1,855	532
0,077	0,047	1,754	522
0,077	0,045	1,572	512
0,128	0,081	1,506	489
0,135	0,085	1,487	483
0,192	0,109	1,374	469
0,240	0,134	1,229	460
0,344	0,223	1,232	454
0,435	0,321	1,272	448
0,482	0,370	1,275	443
0,528	0,427	1,310	438

Tabelle II.

b_n	b_i	n	λ
0,542	0,515	2,290	598
0,438	0,417	2,595	581
0,392	0,364	2,595	571
0,343	0,318	2,364	562
0,329	0,293	2,035	550
0,320	0,280	1,944	541
0,324	0,268	1,675	532
0,329	0,271	1,653	522
0,340	0,280	1,632	512
0,415	0,352	1,601	489
0,440	0,367	1,507	483
0,499	0,428	1,509	469
0,556	0,468	1,368	460
0,659	0,574	1,209	454
0,730	0,639	1,225	448
0,744	0,669	1,282	443
0,749	0,681	1,314	438

Tabelle III.

b_n	b_i	n	Mittel n	λ
0,600	0,581	2,476	2,293	598
0,529	0,501	2,214	2,326	581
0,482	0,456	2,461	2,372	571
0,422	0,394	2,204	2,164	562
0,383	0,350	2,136	2,016	550
0,368	0,334	2,094	1,964	541
0,370	0,336	2,094	1,875	532
0,372	0,327	1,858	1,755	522
0,382	0,332	1,778	1,661	512
0,445	0,388	1,671	1,593	489
0,457	0,395	1,597	1,530	483
0,517	0,436	1,426	1,436	469
0,570	0,463	1,267	1,288	460
0,655	0,538	1,186	1,242	454
0,736	0,635	1,174	1,224	448
0,752	0,657	1,180	1,246	443
0,768	0,695	1,262	1,295	438

Die Zahlen der ersten Verticalreihe in jeder Tabelle bestimmen die Intensität des absorbierten Lichtes innerhalb einer Schicht, deren Dicke gleich der Differenz der beiden verglichenen Schichten ist. Abgesehen von einem constan-

ten Factor, dessen Bestimmung ich an anderer Stelle mittheilen werde, geben die negativen Logarithmen dieser Zahlen also die Extinctionscoefficienten des festen Fuchsins. Dieselben sind keineswegs identisch mit den Extinctionscoefficienten des Fuchsins in Lösungen. Zwei Unterschiede sind besonders bemerkenswerth. Erstens ist die Absorptionsbande beim festen Körper an beiden Gränzen schärfer als bei den Lösungen; zweitens habe ich die größten Extinctionscoefficienten der grünen Strahlen beim festen Fuchsin etwas kleiner, die andern größer gefunden als bei den Lösungen, so daß die ganze Absorptionsbande bei der festen Substanz geringere Unterschiede der Extinctionscoefficienten darbietet.

Die Brechungsindices des festen Fuchsins für rothe und violette Strahlen lassen sich direct durch prismatische Ablenkung bestimmen. Es ist nicht schwieriger, kleine Prismen aus der festen Substanz herzustellen, als so starko planparallele Schichten, daß die Interferenz der an den Gränzflächen reflectirten Strahlen mit den einfach durchgehenden nicht mehr störend wird. Mittelst eines kleinen Prismas von festem Fuchsin, dessen brechender Winkel $32' 18''$ betrug, fand ich durch Messung des Minimums der Ablenkung für die Fraunhofer'schen Linien *A*, *B*, *C*, *G*, *H* folgende Zahlen für die Brechungsindices:

$$\begin{array}{ll} n(A) = 1,73 & n(G) = 1,31 \\ n(B) = 1,81 & n(H) = 1,54 \\ n(C) = 1,90 & \end{array}$$

Das durch das Prisma entworfene Spectrum bestand aus einem sehr intensiven rothen und einem weit schwächeren violetten Lichtstreifen; letzterer verschwand vollständig durch Einschalten einer dünnen Jodsilberschicht, welche das Licht zwischen *G* und *H* absorbirt, zwischen *F* und *G* aber durchläßt; er konnte daher nur Strahlen, brechbarer als *G*, enthalten. Die Linien *A* und *B* waren deutlich, *C*, *G*, *H* zweifelhaft.

Die Beziehungen, welche die Brechungsindices und Absorptionsconstanten der Metalle zur Theorie des Lichtes haben, haben mich bewogen, diese Größen für Silber zu ermitteln. Dies Metall, welches unter allen bekannten Körpern das grösste Reflexionsvermögen hat, löscht Licht von jeder Wellenlänge noch kräftiger aus als Fuchsin die grünen Strahlen. Die zu meinen Versuchen verwendeten Silberschichten waren so stark, daß die Dickendifferenz der beiden Vergleichsschichten höchstens den dritten Theil der Stärke der dünnern betrug; sie hatten eine solche Cohäsion, daß man mit einem Federmesser kleine Drehspähne abhobeln konnte. Durch ein besonderes Verfahren sind beide auf derselben Glasplatte befestigt, haben gleiche Structur und Politur, und eine haarscharfe Trennungslinie, welche nur im durchgehenden Lichte bemerkbar ist.

Die folgende Tabelle enthält die an drei Plattenpaaren gemessenen Intensitäten des bei normaler Incidenz und einem größeren (am Eingange der zweiten Verticalreihen angegebenen) Einfallswinkel durchgehenden Lichtes. Jede Zahl ist das Mittel aus etwa 20 Beobachtungen.

Tabelle IV.

	I.		II.		III.	
	0°	60°	0°	80°	0°	75°
<i>C</i>	0,287	0,281	0,672	0,663	0,565	0,557
<i>D</i>	0,275	0,265	0,659	0,650	0,553	0,550
<i>E</i>	0,272	0,267	0,643	0,637	0,551	0,541
<i>b</i>	0,272	0,265	0,646	0,640	0,552	0,544
<i>F</i>	0,273	0,260	0,642	0,636	0,552	0,542
<i>G</i>	0,262	0,250	0,636	0,626	0,550	0,532
<i>G</i> — $\frac{1}{2}$ <i>H</i>	0,260	0,245	0,630	0,615	0,540	0,526

Zufolge der Versuchsreihe I variiren die Brechungsindices zwischen *G* — $\frac{1}{2}$ *H* und *C* von 3,02 bis 4,76; zufolge II von 3,13 bis 5,18 und nach III von 3,39 bis 4,40. Da der Unterschied in der Intensität des bei 0° und des bei großen Einfallswinkeln durchgelassenen Lichtes nur sehr

gering ist, so haben die für die Brechungsindices gefundenen Zahlen nicht dieselbe Genauigkeit wie die des Fuchsins. Sie beweisen aber, wie ich meine, unwiderleglich, daß die Bestimmung der Brechungsindices der Metalle aus der Cauchy'schen Reflexionstheorie, wie sie von Cauchy angedeutet, von Beer, v. Ettingshausen, Eisenlohr ausgeführt wurde, völlig unzulässig ist. Diese Forscher haben die Brechungsindices des Silbers aus dem durch die Beobachtung gegebenen Haupteinfallswinkel und Hauptazimuth berechnet und dieselben kleiner als 1, zum Theil sogar kleiner als $\frac{1}{2}$ gefunden. Selbst bei geringem Wachsen des Einfallswinkels würden jene kleinen Werthe eine sehr bedeutende Verminderung des durchgehenden Lichtes erfordern, während dieselbe in Wirklichkeit so gering ist, daß man sie nur mit den besten Messapparaten unter Anwendung der größten Sorgfalt überhaupt bestimmen kann. Für große Einfallswinkel beträgt der Unterschied der beobachteten und der nach jener Theorie berechneten Werthe mehr als das 50fache.

Die in der Tab. IV enthaltenen Zahlen zeigen zugleich, daß die Abhängigkeit der Absorption vom Einfallswinkel, wenn überhaupt vorhanden, doch jedenfalls so gering ist, daß sie unter der Gränze der Beobachtungsfehler liegt. Die oben erwähnten, von Beer aufgestellten Formeln, welche ein beträchtliches Wachsen des Brechungsindex sowohl wie des Extinctionscoëfficienten mit dem Einfallswinkel verlangen, widersprechen der Erfahrung. Weit auffallender wird dieser Widerspruch bei den kleinen Brechungsindices des Fuchsins und einiger anderen Farbestoffe, an denen ich jene Formeln geprüft habe.

Die Werthe für die durchgehenden Lichtintensitäten zeigten keine merklichen Unterschiede, wenn statt des natürlichen Lichtes polarisirtes angewendet wurde; Extinctionscoëfficienten und Brechungsindices sind daher unabhängig von der Schwingungsrichtung.