3. Ueber die Brechungsindices der Metalle bei verschiedenen Temperaturen; von A. Pflüger.

Durch die Messung der Ablenkung eines Lichtbündels in sehr dünnen und spitzen Metallprismen hat Kundt ¹⁾ folgende Werthe der Brechungsindices einiger Metalle für „rothes“ Licht erhalten:

Silber	Gold	Kupfer	Platin	Eisen	Nickel	Wismuth
0,27	0,38	0,45	1,76	1,81	2,17	2,61

Ziemlich mit diesen übereinstimmende Werthe erhielten nach derselben Methode die Hrn. du Bois und Rubens ²⁾ und Shea ³⁾.

Nimmt man nun an, dass die 'Geschwindigkeit des rothen Lichtes in den Metallen diesen Werthen umgekehrt proportional sei, und setzt man die Geschwindigkeit im Silber gleich 100, so erhält man folgende Reihe:

Silber	Gold	Kupfer	Platin	Eisen	Nickel	Wismuth
100	71	60	15,3	14,9	12,4	10,1

Es ergibt sich dann für diese sieben Metalle die Geschwindigkeit des rothen Lichtes annähernd proportional dem Leitungsvermögen für Electricität und Wärme.

Dieser Umstand hat Kundt zu dem Schlusse veranlasst, dass, wenn wirklich dieser Zusammenhang bestehe, er vielleicht auch in der Aenderung der betr. Eigenschaften mit der Temperatur zu Tage treten könne. Der Temperaturcoefficient des galvanischen Leitungsvermögens ist nach verschiedenen Beobachtern für reine Metalle im Durchschnitt 0,0037. Nähme man für den Temperaturcoefficienten der Lichtgeschwindigkeit denselben Werth an, so müsste beispielsweise der Brechungsindex des Goldes für blaues Licht, der etwa 1 beträgt, bei 100° Temperaturzunahme bis auf 1,37 wachsen, eine Zunahme,

1) Kundt, Wied. Ann. **34.** p. 469. 1888.

2) Du Bois u. Rubens, Wied. Ann. **41.** p. 507. 1890.

3) Shea, Wied. Ann. **47.** p. 177. 1892.

die sich nach der erwähnten Prismenmethode sehr wohl bestimmen liesse.

Kundt¹⁾ hat darum in einer zweiten Arbeit seine Metallprismen bei verschiedenen Temperaturen untersucht, und ist dabei zu dem Resultate gelangt, dass der Brechungsindex der Metalle sich mit der Temperatur ändert. Das Ergebniss seiner Untersuchung ist in folgender Tabelle enthalten:

Licht	Gold blau	Platin weiss	Nickel roth	Eisen roth	Silber weiss
Zimmertemperatur, $n =$	1,06	1,70	2,20	1,92	0,32
durchschnittlich ca. 100° höher, $n =$	1,72	2,10	2,69	2,54	0,46
Temperatur- coefficient =	0,0051	0,0027	0,0026	0,0040	0,0064

Nach diesen Resultaten würde also der Brechungsindex mit steigender Temperatur zu-, die Lichtgeschwindigkeit abnehmen, und der Temperaturcoefficient würde von derselben Grössenordnung wie der des Leitungsvermögens sein.

Dies Resultat lässt sich nun mit einigen Beobachtungen über Metallreflexion nicht in Einklang bringen. Hr. Sissingh²⁾ hat eine Aenderung der Reflexionsconstanten des Eisens mit der Temperatur nicht nachweisen können. Hr. Drude³⁾, der die Reflexion an Silber, Platin und Gold bis zu Temperaturen von 200° untersuchte, hat nur sehr geringe Aenderungen constatiren können. Endlich hat Hr. Zeeman⁴⁾ Reflexionsbeobachtungen am Platin bis zu Temperaturen von 800° angestellt. Unter Zugrundelegung des Temperaturcoefficienten der obigen Tabelle hätte der Werth des Brechungsindex bei 800° das dreifache des Werthes bei gewöhnlicher Temperatur betragen müssen und die Reflexionsconstanten müssten ähnliche erhebliche Variationen aufweisen. Aber Hr. Zeeman

1) Kundt, Wied. Ann. **36**. p. 824. 1889.

2) Sissingh, Mesures de la polarisation elliptique de la lumière. Arch. Néerlandaises. **20**.

3) Drude, Wied. Ann. **39**. p. 538. 1890.

4) Zeeman, Communications from the laboratory of Physics at the university of Leiden. Nr. 20. 1895.

hat durchaus keine merkliche Aenderung derselben entdecken können.

Schon vor zwei Jahren hatte Kundt mich beauftragt, die vorliegende Frage einer erneuten Prüfung zu unterziehen, und zwar unter Anwendung der von ihm benutzten Apparate und derselben Versuchsanordnung, deren Aufbau er persönlich überwachte. Ich habe diese Untersuchung, die ich nach dem kurz darauf erfolgten Tode Kundt's wegen anderer dringender Arbeiten unterbrechen musste, nach dem Erscheinen der Zeeman'schen Abhandlung wieder aufgenommen. Bezüglich der Methode verweise ich ganz auf die citirte Kundt'sche Arbeit, der ich mich so streng als möglich angeschlossen habe.

Als Lichtquelle benutzte ich eine Bogenlampe mit vorgestelltem rothen Glase bez. einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak. Für die Beobachtungen mit spectral genau definirtem Licht wurde auf die Verschlussplatte des Collimatorrohres ein kleines sehr lichtstarkes Spectrum mittels eines Flintglasprismas entworfen, und der Spalt je nach Bedarf mit der gewünschten Spectralfarbe zur Deckung gebracht. Die Ablenkung wurde dann abwechselnd bei Zimmer- und bei einer etwa 90° höheren Temperatur gemessen. Die in der folgenden Tabelle niedergelegten Zahlen sind das Mittel aus jedesmal 80 bis 100 Beobachtungen.

Nickel. Rothcs Licht. Brechender Winkel = $14,5 \text{ sec.}$

Temperatur =	20°	103°	22°	100°	20°
$n =$	2,23	2,35	2,26	2,26	2,27

Mittel: für ca. 100° $n = 2,30$; für ca. 20° $n = 2,25$.

Gold. Blaues Licht. Brechender Winkel = $20,8 \text{ sec.}$

Temperatur =	20°	105°	30°	18°	105°	20°
$n =$	1,39	1,36	1,38	1,38	1,42	1,41

Mittel: für 105° $n = 1,37$; für ca. 20° $n = 1,39$.

Gold. F-Linie. Brechender Winkel = $20,8 \text{ sec.}$

Temperatur =	20°	62°	113°
$n =$	1,06	1,03	1,02

Eisen. Rothcs Licht. Brechender Winkel = 33,8 sec.

Temperatur =	18°	107°	15°	104°	18°	106°	18°	106°
$n =$	3,80	3,69	3,69	3,67	3,55	3,81	3,60	3,59

Mittel: für ca. 106° $n = 3,69$; für 18° $n = 3,66$.

Es ergibt sich also das Resultat, dass der Brechungsindex sich *nicht*, oder, unter Berücksichtigung der Grösse der Beobachtungsfehler, nur in viel geringerem Maasse als das Leitvermögen mit der Temperatur ändert.

Gegen die Richtigkeit dieser Messungen könnte der Einwand erhoben werden, dass die benutzten Prismen nicht frisch angefertigt worden sind, und durch langes Liegen zum grösseren Theile in Oxyd übergeführt sein könnten. Wäre dies der Fall, so würde allerdings der Messung jede Bedeutung abzusprechen sein.

Ich habe mich aber überzeugt, dass dieser Einwand nicht gerechtfertigt ist, wenigstens nicht für das Gold und das Nickelprisma, und zwar auf Grund nachstehender Erwägungen.

Für Eisen haben schon die Hrn. du Bois und Rubens für rothes Licht den Werth 3,12, sowie Hr. Shea den Werth 3,03, also einen erheblich höheren als den Kundt'schen 1,81 gefunden. Die ersteren Herren halten ihren Werth aus stichhaltigen Gründen für den richtigeren, zumal ihre Prismen die anomale Dispersion des reinen Eisens zeigen. Das Eisenoxyd zeigt nach Kundt normale Dispersion, und den Brechungsindex 1,78. Leider habe ich vor zwei Jahren eine Prüfung der Dispersion nicht vorgenommen, doch habe ich nach Beendigung meiner Versuche das Prisma durch Glühen in Oxyd übergeführt, und den Werth $n = 2,58$ erhalten, statt des Werthes 3,60 für das nicht oxydirte Eisen. Immerhin will ich den Messungen am Eisen ausschlaggebende Bedeutung nicht beimessen.

Um so höheren Werth aber lege ich auf die Beobachtungen am Gold und am Nickel. Das Goldprisma hatte ausgezeichneten Metallglanz, spiegelte sehr gut, und war mit schöner grüner Farbe durchsichtig. Nun sind aber Goldprismen, welche geringe Beimengungen von Oxyd enthalten, mit mehr oder minder violetter Farbe durchsichtig. Eine Messung der Dispersion ergab das folgende Resultat:

Li	Na	F	G
$n = 0,20$	0,38	1,04	1.55

Also für rothes Licht innerhalb der Fehlergrenzen im Einklang mit den Shea'schen Messungen. Dagegen giebt ein violettgrünlich durchsichtiges, oxydhaltiges Prisma für roth den Werth $n = 1,04$. Endlich sei bemerkt, dass Kundt selbst, wie ich, bei seinen Messungen ein mehrere Jahre altes Goldprisma benutzt hat. In der That ist wohl anzunehmen, dass ein Goldprisma bei sorgfältiger Aufbewahrung, wie in dem vorliegenden Falle, sich nicht wesentlich verändern wird.

Wie freilich die bedeutende Differenz zwischen den Shea'schen Beobachtungen für Na ($n = 0,66$), F ($n = 0,82$), und G ($n = 0,93$), und den meinigen zu erklären ist, vermag ich nicht anzugeben.

Das Nickelprisma endlich besass gleichfalls vorzüglichen Metallglanz und zeigte anomale Dispersion, nämlich die Werthe:

C	Na	F
$n = 2,23$	1,87	1,67
(für Li δ 2,04)	(1,84)	(1,71)

die mit den (eingeklammerten) Werthen der Hrn. du Bois und Rubens gut übereinstimmen. Dieser Umstand ist umsomehr entscheidend, als das Nickeloxyd normal dispergirt, und für rothes Licht den Brechungsindex 2,18, für blaues den Werth 2,39 hat. Es kommt hinzu, dass das Nickel sich fast immer rein erhalten lässt. Da ausserdem das Prisma vortrefflich spiegelte, und im durchgehenden Lichte sehr scharfe Spaltbilder gab, bin ich geneigt, den Beobachtungen gerade an diesem Metall entscheidenden Werth beizulegen.

Es entsteht nun die Frage, wie die abweichenden Beobachtungen von Kundt sich erklären lassen. Ich glaube, nach den zahlreichen Erfahrungen, die ich auf diesem Gebiete gesammelt habe, annehmen zu dürfen, dass Kundt, der die grösste Fehlerquelle dieser Messungen, nämlich die ungenaue Einstellung des Spaltbildes, erkannt, und durch seine ausgezeichnete Collimationsmethode beseitigt hatte, doch vielleicht die Grösse dieser mit den Umständen sehr veränderlichen Fehlerquelle in einzelnen Punkten nicht völlig gewürdigt hat. Trotzdem der Kupferkasten, der die Prismen zum Zweck der Erhitzung umgiebt, durch schlechte Wärmeleiter isolirt ist,

ändert sich die Einstellung des Instrumentes mit höherer Temperatur recht erheblich. Es bedarf der genauesten Collimierung nicht allein vor, sondern auch nach jeder Beobachtungsreihe, um nicht Fehler zu übersehen, die grösser sind, als die zu messenden Grössen. Selbstverständlich hat Kundt auch diesen Umstand in Betracht gezogen. Aber es scheint ihm der äusserlich geringfügige Nebenumstand entgangen zu sein, dass die Aenderung der Einstellung mit der Temperatur einen ziemlich regelmässigen Gang verfolgt, und insbesondere nicht sofort aufhört, wenn die Temperatur constant geworden ist. Da nun die Methode damals noch nicht zu ihrer jetzigen Vollkommenheit ausgebildet war, musste diese Aenderung eines-theils in ihrer Grösse um so eher unterschätzt werden, als sie sehr langsam erfolgt, andererseits musste sie durch ihre Stetigkeit die Resultate in dem Sinne beeinflussen, dass ein Wachsen der Ablenkung beobachtet wurde. Dazu kommt noch der Umstand, dass Kundt die Einstellung des Spaltbildes durch ein am Ocular angebrachtes Fadenmikrometer bewerkstelligte. Diese Procedur erforderte bei der Empfindlichkeit der Collimierung gegen jede Berührung des Oculars grössere Vorsicht, und darum weit mehr Zeit, als die jetzige Einstellungsmethode mittels der Alhidadenschraube. Dieser Zeitraum wurde noch vergrössert, wenn man die sehr umständliche Ablesung der Mikroskope des Theilkreises anwendete. Bei so langen Zeiträumen aber musste die Aenderung der Collimierung bedeutend schädlicher wirken, als jetzt, wo erstlich eine Beobachtungsreihe nur wenige Minuten in Anspruch nimmt, und ausserdem die Collimation vor- und nachher geprüft wurde.

Es sei hier ausdrücklich hervorgehoben, dass die erwähnte erhebliche Fehlerquelle, nämlich die Aenderung der Collimation, nur bei der Beobachtung bei hohen Temperaturen auftritt. Im übrigen liefert die Kundt'sche Prismenmethode ausgezeichnete Resultate, die sehr wohl zur Prüfung der Theorie verwandt werden können. Die Abweichungen, die die Resultate verschiedener Beobachter für einige Metalle ergeben, sind nur auf mehr oder minder grossen Oxydgehalt zurückzuführen. In der That zeigen sowohl die Resultate für Jodsilber, als auch diejenigen, die ich für feste Farbstoffe¹⁾ nach derselben Methode

1) A. Pflüger, Wied. Ann. 56. p. 412. 1895.

erhalten habe, und bei denen die letztere Fehlerquelle ausgeschlossen ist, für die verschiedensten Prismen genügende Uebereinstimmung. Endlich ist die Uebereinstimmung zwischen den Werthen der Brechungsindices des festen Fuchsins und Diamantgrüns, welche Hr. Walter¹⁾ aus den Reflexionsconstanten nach der Cauchy'schen Theorie berechnet hat, und den meinigen eine vortreffliche.

Berlin, Physik. Inst. d. Univ., Mai 1896.

1) Walter, Wied. Ann. 57. p. 394. 1896.