

6. *Elektrische Leitungsfähigkeit und Reflexionsvermögen der Kohle; von E. Aschkinass.*

1. Schon vor längerer Zeit hatte ich im Anschlusse an frühere Untersuchungen¹⁾ im ultraroten Spektralgebiete einige Beobachtungen über das Reflexionsvermögen polierter Kohlenstücke ausgeführt. Dabei hatte sich bereits gezeigt, daß die Reflexionswerte schon bei mäßig großen Wellenlängen auffallend hohe Beträge erreichen. Die Versuche konnten jedoch damals nicht zu Ende geführt werden, so daß eine Mitteilung jener Resultate bisher nicht erfolgt ist. Im Hinblick auf die inzwischen von den Herren Hagen und Rubens²⁾ aufgefundene einfache Beziehung zwischen der elektrischen Leitungsfähigkeit der Metalle und ihrem Reflexionsvermögen für ultrarote Strahlen schienen mir aber meine früheren Beobachtungen über die Reflexion der Kohle ein erneutes Interesse zu bieten, so daß ich die Versuche in diesem Sommer wieder aufgenommen und in vielfacher Hinsicht vervollständigt habe.

Bezeichnet R das prozentische Reflexionsvermögen eines Metalles für Strahlen einer bestimmten Wellenlänge λ (1μ als Einheit von λ angenommen) und w seinen spezifischen Widerstand (= Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt in Ohm), so gilt nach Hagen und Rubens für hinreichend große Werte von λ die Beziehung

$$(1) \quad 100 - R = \frac{36,5 \sqrt{w}}{\sqrt{\lambda}}.$$

Diese Gesetzmäßigkeit ergibt sich, wie aus den theoretischen Untersuchungen der Herren Drude³⁾, Cohn⁴⁾ und Planck⁵⁾

1) E. Aschkinass, Ann. d. Phys. 1. p. 42. 1900.

2) E. Hagen u. H. Rubens, Ann. d. Phys. 11. p. 873. 1903.

3) P. Drude, Physik des Äthers p. 574. 1894; Verh. d. Deutschen Physik. Gesellsch. 5. p. 142. 1903.

4) E. Cohn, Das elektromagnetische Feld p. 444. 1900.

5) M. Planck, Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Berlin 1903. p. 278.

hervorgeht, als notwendige Konsequenz aus der elektromagnetischen Theorie des Lichtes.

2. Es existieren nun neben den Metallen selbst noch gewisse andere Substanzen, die den elektrischen Strom metallisch leiten. Unter diesen stehen gewisse Kohlsorten wegen der geringen Größe ihrer spezifischen Widerstände den Metallen besonders nahe. Es erschien daher wohl möglich, daß auch für das Reflexionsvermögen der Kohle in gewissen Spektralgebieten ihre elektrische Leitfähigkeit maßgebend sein würde.¹⁾ Die oben genannte Gleichung (1) gilt freilich nach den Entwicklungen von Planck²⁾ nur unter der Bedingung, daß das Produkt aus der im absoluten elektrostatischen Maße gemessenen Leitfähigkeit A und der Zeitdauer τ der in Frage kommenden elektromagnetischen Schwingungen groß gegen Eins ist. Es ist aber

$$A\tau = 30 \frac{\lambda}{w}.$$

Der Ausdruck $30(\lambda/w)$ muß also groß gegen Eins sein. In dem uns bisher zugänglichen Gebiete des von einer Wärmequelle emittierten ultraroten Spektrums wird diese Bedingung von der Kohle noch nicht gut erfüllt. Für eine schon recht stark leitende Kohle wäre z. B. $w = 50$ zu setzen; jenes Produkt besäße dann selbst bei $\lambda = 50 \mu$ erst den Wert 30.

Wenn wir jedoch das Gebiet der Hertzschen Wellen in Betracht ziehen, deren Längen etwa mehrere Zentimeter betragen mögen, so wird die Größe $30(\lambda/w)$ einen genügend hohen Wert erreichen, um die Anwendung der Formel (1) zuzulassen. In diesem Falle müßte daher auch für mäßig gut leitende Kohlen ein Reflexionsvermögen von nahezu 100 Proz. vorhanden sein. Der Versuch zeigte, daß dies in der Tat der Fall ist, daß sich also die im sichtbaren Spektralgebiete als

1) Von J. Königsberger (Phys. Zeitschr. 4. p. 495. 1903) wurde bereits die Absorption und Reflexion von Metallsulfiden und -oxyden im ultraroten Spektrum untersucht. Es zeigte sich jedoch hierbei kein deutlicher Zusammenhang mit dem elektrischen Leitungsvermögen; die spezifischen Widerstände dieser Substanzen sind übrigens im allgemeinen sehr viel größer als diejenigen der gut leitenden Kohlen.

2) M. Planck, l. c.

typisch schwarz bekannte Kohle gegen Hertz'sche Wellen wie ein blankes Metall verhält.

3. Als Strahlungsquelle diente ein linearer Erreger aus zwei, je 12 mm langen Messingstiften. Vor diesem Primärleiter stand eine Petroleumlinse, durch welche die Strahlen nahezu parallel gerichtet wurden. Als Empfänger wurde ein im Fokus eines Hohlspiegels befestigter Resonator mit Klemenčič'schem Thermoelement, das an ein hochempfindliches Panzergalvanometer angeschlossen war, benutzt. Die Wellenlänge der Eigenschwingung dieses Resonators war gelegentlich einer früheren Untersuchung¹⁾ zu 90 mm bestimmt worden. Der Empfänger stand neben dem Erreger, so daß die Hertz'schen Wellen ihn nur erreichen konnten, wenn sie vorher eine Reflexion erfahren hatten. Der Reflexionswinkel betrug bei diesen, sowie bei allen noch zu beschreibenden Versuchen stets etwa 20° . Die ersten Messungen wurden an Gaskohle, wie sie als Elektrode in galvanischen Elementen benutzt wird, angestellt. Zwölf solcher Kohlenstücke wurden auf eine Glas-scheibe aufge kittet, so daß eine 30×40 cm große Platte entstand, deren Vorderseite alsdann eben abgeschliffen wurde. Da die Kohlen einzeln vorher nicht bearbeitet waren, besaß der Reflektor an den Stoßfugen Stellen von geringerer Reflexionsfähigkeit, so daß die zurückgeworfene Gesamtintensität bei diesen ersten Versuchen ein wenig zu klein erscheinen mußte. Es wurde nun stets alternierend die von der Kohle und andererseits die von einem der Kohlenplatte gleich großen, auf Glas aufgeklebten Stanniolplatte reflektierte Strahlung gemessen; Stanniol besitzt ja wie alle Metalle für diese Wellen ein Reflexionsvermögen von 100 Proz. Es war dafür gesorgt, daß die beiden miteinander zu vergleichenden Reflektoren in allen Fällen die gleiche Stellung zum Erreger einnahmen.

Aus einem der Kohlenstücke war ein Stäbchen herausgeschnitten worden, an dem die elektrische Leitungsfähigkeit des Materials bestimmt wurde. Dem Stäbchen wurde durch Schleifen ein durchweg quadratischer Querschnitt erteilt und die Messungen ergaben einen spezifischen Widerstand $w = 75,8$. Demgemäß berechnet sich nach Formel (1) das Reflexions-

1) E. Aschkinass u. Cl. Schaefer, Ann. d. Phys. 5. p. 489. 1901.

vermögen R für $\lambda = 9 \cdot 10^4 \mu$ zu 98,9 Proz. Die Beobachtungen lieferten im Mittel den Wert $R = 94$. Die Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung ist im Hinblick auf den oben bezeichneten systematischen Fehler ohne Belang.

Ich untersuchte hierauf noch anderes Kohlenmaterial, das mir von der Firma Gebr. Siemens & Co. (Charlottenburg) in entgegenkommendster Weise zur Verfügung gestellt wurde. Von ihrem als Marke 166 bezeichneten Fabrikate erhielt ich eine massive, 20×30 cm große Platte. Für diese wurden die genauesten Messungen ausgeführt; sie wurde ebenfalls auf einer Seite plan geschliffen. Für den spezifischen Widerstand dieses Materials lieferten meine Messungen den Wert 114. Hieraus folgt nach Formel (1) $R = 98,7$, während eine längere Beobachtungsreihe als Mittelwert $R = 98,3$ ergab (mit einem mittleren Fehler von 1 Proz.).

Man kann sich noch auf andere Weise davon überzeugen, daß solche gut leitenden Kohlen sich Hertzschen Wellen gegenüber wie Metalle verhalten. Es wurden auf eine Ebonitplatte eine Anzahl Bogenlampenkohlen (von je 7 mm Durchmesser und 35 cm Länge) in einem gegenseitigen Abstände von 14 mm parallel nebeneinander aufgekittet. Wird dieses System in der Weise in den Strahlengang eines Hertzschen Erregers gestellt, daß die Kohlenstäbe der Schwingungsrichtung der elektrischen Kraft parallel laufen, so wird kein merklicher Bruchteil der Strahlungsenergie hindurchgelassen, während bei gekreuzter Lage der Kohlenstäbe eine Schwächung der hindurchtretenden Wellen nicht zu bemerken ist. Das System verhält sich demnach völlig wie ein Hertzsches Drahtgitter.

Ein gleich wirksames Gitter erhält man auch, wenn man die Lampenkohlen durch Bleistifte¹⁾ ersetzt. Die letzteren können dabei sämtlich ohne Zwischenräume dicht nebeneinander angeordnet werden, da die Graphitkerne durch die Holzmäntel genügend weit voneinander getrennt bleiben.

4. Nachdem sich somit gezeigt hatte, daß die Reflexion der gut leitenden Kohle für Hertzsche Wellen tatsächlich eine ihrem Leitungsvermögen entsprechende Höhe erreicht,

1) Der spezifische Widerstand Faberscher Bleistifte beträgt nach Winkelmanns Handbuch der Physik (1. Aufl. Bd. III 1. p. 283) 952.

erschien es von Interesse, zu prüfen, inwieweit sich auch im ultraroten Spektrum einer Wärmequelle ein Einfluß der elektrischen Leitfähigkeit auf das Reflexionsvermögen bemerkbar machen würde. Ein solcher Einfluß war offenbar am ehesten für ultrarote Strahlen einer möglichst großen Wellenlänge zu erwarten. Aus dem oben erwähnten Grunde kann aber hier die Formel (1) nicht mehr anwendbar sein, vielmehr wird in diesen Spektralgebieten, wo $\Delta\tau$ nicht mehr groß gegen Eins ist, der Zusammenhang zwischen dem Reflexions- und Leitvermögen nach Planck (l. c.) durch die Beziehung

$$(2) \quad R = 100 \frac{\sqrt{4 \Delta^2 \tau^2 + 1} + 1 - \sqrt{2(\sqrt{4 \Delta^2 \tau^2 + 1} + 1)}}{\sqrt{4 \Delta^2 \tau^2 + 1} + 1 + \sqrt{2(\sqrt{4 \Delta^2 \tau^2 + 1} + 1)}}$$

dargestellt. Auch diese Gleichung kann aber, den Grundlagen der Theorie gemäß, nur in dem Falle erfüllt sein, daß ein Einfluß von Eigenschwingungen der Elementarteilchen des reflektierenden Körpers nicht in Betracht kommt.

5. Ich untersuchte zunächst die Reflexion für die Reststrahlen des Steinsalzes, die eine Wellenlänge von $51,2 \mu$ besitzen.¹⁾ Als Strahlungsquelle diente ein Auerscher Brenner ohne Zugglas. Bezüglich aller Einzelheiten der zu diesen und den folgenden Versuchen benutzten Meßmethode verweise ich lediglich auf die zuletzt zitierte Arbeit. Die Reflexion der verschiedenen Substanzen wurde dementsprechend stets mit derjenigen von Silber, für die ja jenseits 12μ $R = 100$ gesetzt werden darf, verglichen. Zu den Messungen wurden folgende Materialien herangezogen: Gaskohle — von derselben Art, wie sie in den Versuchen mit Hertzschen Wellen benutzt worden war —, ferner die Kohle der Marke 166 von Gebr. Siemens & Co., und außerdem als eine natürliche Kohle der Anthrazit.²⁾

Die letztgenannte Substanz besitzt von allen Mineralkohlen den höchsten Kohlenstoffgehalt. Nach den Angaben der Bezugsfirma (Anthrazitwerke Gustav Schulze, Berlin)

1) H. Rubens u. E. Aschkinass, Wied. Ann. 65. p. 241. 1898.

2) Andere Kohlenarten, die gleichfalls untersucht wurden, mögen in dieser Mitteilung unberücksichtigt bleiben, da die an ihnen gewonnenen Resultate ihrem Charakter nach mit den übrigen Ergebnissen durchaus übereinstimmen.

enthält der von mir benutzte englische Anthrazit 94 Proz. Kohlenstoff. Sämtliche Versuchsobjekte wurden möglichst sorgfältig geschliffen und poliert. Eine recht gute Politur ließ sich an der Gaskohle erzielen, während die Siemensschen Kohlen eine weniger vollkommene Oberflächenbeschaffenheit annahmen; hervorragend schön gelang die Politur des auffallend harten Anthrazits, doch war es nicht möglich, Stücke zu erhalten, die völlig frei von Sprüngen gewesen wären. Soweit daher die Resultate von Oberflächenfehlern beeinflußt worden sind, — dieser Einfluß dürfte bei den langen Wellen von $51,2 \mu$ noch kaum zur Geltung kommen, bei den später zu beschreibenden Messungen in Spektralgebieten geringerer Wellenlängen aber schon eher ins Gewicht fallen — wären die erhaltenen Reflexionszahlen als Minimalwerte zu betrachten. In allen *wesentlichen* Punkten bleiben indessen die gewonnenen Versuchsergebnisse von jenen Fehlern unberührt.

Es ergaben sich nun folgende Zahlen für die prozentischen Reflexionen bei $\lambda = 51,2 \mu$:

	<i>R</i>
Gaskohle	56,5
Siemenskohle Nr. 166	54,5
Anthrazit	13,8

Die beiden künstlichen Kohlensorten reflektieren also von diesen langwelligen ultraroten Strahlen noch über 50 Proz., d. h. etwa ebensoviel wie ein Goldspiegel im sichtbaren Spektralgebiete bei der Wellenlänge $0,6 \mu$.¹⁾ Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß dieses starke Reflexionsvermögen durch die hohe Leitfähigkeit der Kohlen bedingt wird.

6. Da dieser Einfluß in dem zuletzt betrachteten Teile des ultraroten Spektrums demnach noch sehr lebhaft in die Erscheinung trat, so entschloß ich mich, die Untersuchung auf das ganze ultrarote Spektralgebiet auszudehnen. Durch viermalige Spiegelung an Flußspat erhält man eine Reststrahlung

1) E. Hagen u. H. Rubens, Ann. d. Phys. 8. p. 1. 1902.

von der mittleren Wellenlänge $\lambda = 26 \mu$. Für diese Strahlen waren die Reflexionswerte folgende:

	<i>R</i>
Gaskohle	49,5
Siemenskohle Nr. 166	41,1
Anthrazit	12,8

7. Ein weiterer begrenzter Spektralbezirk läßt sich durch mehrfache Reflexion an Quarzoberflächen isolieren. Ich benutzte vier Reflexionen und ließ die gesamte Strahlung, um die anderenfalls zugleich vorhandene Energie der Wellenlänge 21μ zu eliminieren, durch eine 5 mm dicke Flußspatplatte hindurchtreten. Bei dieser Anordnung besitzen die restierenden Strahlen eine mittlere Wellenlänge von $8,9 \mu$, für welche folgende Zahlen gefunden wurden:

	<i>R</i>
Gaskohle	34,8
Siemenskohle Nr. 166	29
Anthrazit	12,2

Da die Gaskohle sowie die Siemenssche Kohle somit selbst noch bei diesen relativ kurzen Wellen ein recht bedeutendes Reflexionsvermögen besitzen (der Wert $R = 35$ entspricht dem Reflexionsvermögen des Goldes für $\lambda = 0,47 \mu$), so schien es lohnend, wenigstens für die gut polierte Gaskohle, den Verlauf des Reflexionsvermögens auch noch für kürzere Wellen in einem prismatischen Spektrum von Punkt zu Punkt zu verfolgen. Es mußte ja schließlich ein stärkerer Abfall der *R*-Werte eintreten, da die Reflexion aller Kohlenarten, wie man sich schon mit bloßem Auge überzeugen kann, im sichtbaren Gebiete nur wenige Prozente beträgt.

8. Zunächst wurde zur Ermittlung der genauen Werte, die dem Reflexionsvermögen im sichtbaren Spektrum zukommen, innerhalb dessen natürlich eine merkliche Veränderlichkeit mit der Wellenlänge nicht mehr vorhanden ist, — auch die polierten Kohlen erscheinen ja tiefschwarz — auf optischem Wege

Messungen für Natronlicht ($\lambda = 0,589 \mu$) mit Hilfe eines Glanschen Spektralphotometers angestellt. Von dem Glühfaden einer Nernstlampe trafen die Lichtstrahlen, nachdem sie an einer Spiegelglasplatte eine Reflexion unter 45° erlitten hatten, die zu untersuchenden Reflektoren und gelangten von hier auf den Photometerspalt. Als Vergleichslicht diente ein Strahlenbündel desselben Glühfadens, das durch Reflexion an einer zweiten unter 45° geneigten Spiegelglasplatte auf die andere Spalthälfte geworfen wurde. Die Reflektoren bestanden wieder abwechselnd aus Kohle und aus Silber. Die Messungen lieferten demnach unmittelbar die Reflexionswerte der Kohlen relativ zu demjenigen des Silbers. Durch Multiplikation dieser Zahlen mit dem aus den Hagen-Rubensschen Messungen bekannten Reflexionsvermögen des Silbers für Natronlicht ergaben sich dann die folgenden absoluten Reflexionsgrößen R der Kohlenspiegel:

	R
Gaskohle	4,4
(Siemenskohle Nr. 166 . . .)	1,4)
Anthrazit	3,7

Die Zahl für die Siemenssche Kohle ist in Klammern eingeschlossen, da sie infolge der mangelhaften Oberflächenbeschaffenheit dieses Materials zweifellos erheblich zu klein ausgefallen ist.

9. Im weiteren Bereiche des roten und ultraroten Spektrums wurde nun noch die Reflexion der Gaskohle untersucht unter Benutzung eines Spiegelspektrometers, dessen Okularrohr mit einer Rubensschen linearen Thermosäule versehen war. Das Spektrum wurde mit Hilfe eines großen Flußspatprismas erzeugt, und als Strahlenquelle diente ein Linnemannscher Zirkonbrenner. Im Gebiete der kürzesten Wellen war zur Beseitigung der schädlichen diffusen Strahlung eine 1 cm dicke Wasserschicht dauernd in den Strahlengang eingeschaltet. Eine solche Wasserschicht läßt bekanntermaßen keine Strahlen jenseits $1,5 \mu$ hindurchtreten.¹⁾ Von der bisher benutzten Gas-

1) E. Aschkinass, Wied. Ann. 55. p. 401. 1895.

kohle wurde für die neuen Versuche ein kleineres Stück herausgesägt. Das letztere, sowie ein Silberspiegel wurden gegen je eine der beiden gleich großen Öffnungen eines Doppel-diaphragmas gekittet, das längs einer Schlittenführung vor dem Spektrometerspalte hin und her geschoben werden konnte, so daß die Strahlen alternierend auf einen der beiden Reflektoren auffielen. Die ganze Versuchsanordnung stimmte mit der in einer früheren Arbeit beschriebenen¹⁾ überein. Die unmittelbar beobachteten Reflexionsgrößen wurden wieder nach Maßgabe des Reflexionsvermögens des Silbers für die einzelnen Wellenlängen korrigiert.

λ	0,585	0,8	1	2	4	6	8
R	4,4	10,5	12,2	17,4	22,4	27,7	32,5

In obiger Tabelle ist von sämtlichen ausgeführten Beobachtungen nur eine beschränkte Anzahl wiedergegeben, da es mir hier nur darauf ankommt, den charakteristischen Verlauf der Reflexionskurve zu kennzeichnen.

10. Besonders bemerkenswert erscheint die Tatsache, daß die Reflexion der Gaskohle schon an der Grenze des sichtbaren Spektrums rapid ansteigt, um von nun an, wie die Gesamtheit unserer Versuche lehrt, durch das ganze Ultrarot hindurch bis ins Gebiet der Hertzschen Wellen stetig weiter zu wachsen. Ein derartiges Verhalten, daß eine optische GröÙe innerhalb eines so enormen Spektralbereiches eine regelmäßige, tatsächlich *beobachtbare* Veränderung erleidet, ist meines Wissens bisher noch in keinem Falle festgestellt worden. Allerdings nimmt auch das Reflexionsvermögen der Metalle in Wahrheit mit wachsender Wellenlänge immer weiter zu, doch entzieht sich dieses fortdauernde Anwachsen schon im äußersten Teile prismatischer Spektra der Beobachtung, da die Metallreflexionen sich hier bereits von der Zahl 100 Proz. praktisch nicht mehr unterscheiden lassen, und ebensowenig ist noch ein Unterschied gegenüber dem Verhalten gegen Hertzsche Wellen zu konstatieren. Das Reflexionsvermögen der Kohle muß dagegen selbst *innerhalb* des Bereiches der Hertzschen

1) E. Aschkinass, Ann. d. Phys. 1. p. 57. 1900.

Wellen noch eine wahrnehmbare Veränderlichkeit aufweisen. Ist z. B. der wahre Reflexionswert der Siemensschen Kohle für die von uns benutzten Wellen von 9 cm gemäß der Gleichung (1) 98,7 Proz., so beträgt er für die kürzesten der bisher beobachteten Wellen dieser Art von 4 mm Länge, nach derselben Formel berechnet, nur noch 93,8 Proz.

11. Ganz anders verhält sich aber der Anthrazit. Aus den mitgeteilten Zahlen ist zu ersehen, daß sein Reflexionsvermögen von $\lambda = 8,9 \mu$ bis $\lambda = 51,2 \mu$ eine relative Zunahme von nur 13 Proz. erfährt, während dasjenige der Gaskohle innerhalb derselben Grenzen relativ um 62 Proz. anwächst. Eine Ähnlichkeit zwischen den beiden Substanzen besteht nur insofern, als auch beim Anthrazit der Abfall zu dem im sichtbaren Gebiete gültigen R -Werte erst unmittelbar an der Grenze des ultraroten Spektrums erfolgt. Diese Tatsache wurde in der Weise erkannt, daß sein Reflexionsvermögen für die durch Glas filtrierte Gesamtemission eines Auerschen Brenners bestimmt wurde. Als maßgebende Wellenlängen kann man in diesem Falle mit genügender Annäherung die Werte $\lambda = 1$ bis 2μ betrachten, und es wurde hierfür die Zahl $R = 11$ Proz. beobachtet. Innerhalb des ganzen Spektralbereiches bis $51,2 \mu$ steigt die Reflexion des Anthrazits also nur um einen geringen Betrag, nämlich bis auf etwa 14 Proz. Dieser Umstand legte die Vermutung nahe, daß auch die elektrische Leitungsfähigkeit dieses Materials von einer geringeren Größenordnung als diejenige der Gaskohle wäre, und diese Erwartung hat sich denn auch in der Tat bestätigt.

An mehreren Anthrazitstäbchen von bestimmten Dimensionen wurden Widerstandsmessungen ausgeführt, aus denen sich für den spezifischen Widerstand der Wert $w = 2 \cdot 10^{10}$ ergab. Die Leitfähigkeit dieser Substanz besitzt demnach eine so geringe Größe, daß ein merklicher Einfluß derselben auf das Reflexionsvermögen selbst für die längsten Wellen nicht mehr erwartet werden kann. Im Einklange mit dieser Schlußfolgerung lieferten nunmehr auch weitere Messungen am Anthrazit für Hertzsche Wellen von 9 cm Länge einen Reflexionswert $R = 14$ Proz., d. h. den gleichen Betrag, der zuvor für $\lambda = 51,2 \mu$ gewonnen worden war.

Der Anthrazit schien sich mithin Hertzschen Wellen

gegenüber wie ein Dielektrikum zu verhalten. Dann war aber vorauszusehen, daß er auch eine erhebliche Durchlässigkeit für die Strahlen elektrischer Kraft besitzen würde, und dies bestätigten auch die Versuche. Bei Einschaltung einer Anthrazitplatte in den Strahlengang trat nämlich nur eine Intensitätsschwächung von solcher Größe ein, wie sie dem Verluste durch Reflexion allein entsprach.

Unter diesen Umständen kann man nun aber aus dem Reflexionsvermögen nach der Fresnelschen Formel

$$\frac{R}{100} = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

den Brechungsexponenten n des Anthrazits für $\lambda = 9$ cm berechnen. Auf diese Weise ergibt sich im vorliegenden Falle $n = 2,2$.

Bekanntlich findet sich der Kohlenstoff in der Natur in seiner reinsten Form kristallisiert als Diamant vor, der in elektrischer Beziehung zu den Nichtleitern gehört. Auch der Anthrazit zeichnet sich, wie bereits bemerkt wurde, durch einen sehr hohen Gehalt an Kohlenstoff aus und nach unseren Beobachtungen ist sein Leitvermögen außerordentlich gering. Dem Diamant steht er auch insofern nahe, als sein Härtegrad recht bedeutend ist. Da der optische Brechungsexponent des Diamanten 2,4 beträgt, und da er im ultraroten Spektralgebiete wohl kaum eine Stelle anomaler Dispersion besitzen dürfte, so erscheint es naheliegend, zu vermuten, daß der oben für Anthrazit ermittelte Wert von n auch dem Diamanten zukommen werde. In der Tat beträgt die Dielektrizitätskonstante des Diamants 5,5¹⁾, woraus sich $n_{\infty} = 2,3$ ergibt.

Wie ich mich durch Benutzung der Methode der vielfachen Reflexionen überzeuge²⁾, besitzt der Anthrazit im ultraroten Spektrum keine Eigenschwingungen. Um so auffälliger erscheint es in Anbetracht seiner geringen elektrischen Leitfähigkeit, daß sein Reflexionsvermögen vom sichtbaren Spektrum an bis zu $\lambda = 51,2 \mu$ mit wachsender Wellenlänge stetig zunimmt. Ein derartiges Verhalten ist offenbar theoretisch schwer zu deuten. Man könnte zunächst versucht

1) W. Schmidt, Ann. d. Phys. 11. p. 118. 1903.

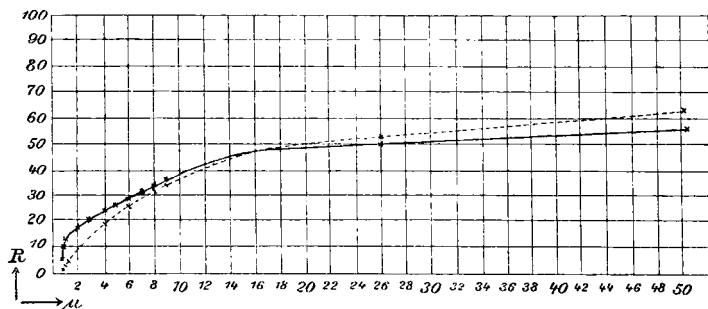
2) Vgl. E. Aschkinass, Ann. d. Phys. 1. p. 46 u. ff. 1900.

sein, diesen eigenartigen Verlauf auf Unvollkommenheiten der reflektierenden Oberflächen zurückzuführen, da solche Fehler ja die Reflexionswerte um so stärker herabdrücken, je kleiner die Wellenlänge wird. Die in Frage kommenden Differenzen sind aber viel zu groß, als daß sie auf diese Weise erklärt werden könnten, zumal die Beobachtungen an verschiedenen Stücken des Materials stets die gleichen Resultate lieferten. Vor allem spricht aber der steile Abfall der Reflexionskurve an der Grenze des sichtbaren Spektralgebietes gegen jene Deutungsweise.

12. In der folgenden Tabelle sind meine sämtlichen Beobachtungen noch einmal übersichtlich zusammengestellt und die ausgezogene Kurve der Figur soll den Verlauf der für Gaskohle gewonnenen Reflexionswerte zwischen $0,589$ und $51,2 \mu$ graphisch veranschaulichen.

	w	R											
		$\lambda = 0,589$	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	8,9	26	51,2	$9 \cdot 10^4 \mu$	
Gaskohle	beob.	75,8	4,4	10,5	12,2	17,4	22,4	27,7	32,5	34,8	49,5	56,5	(94)
	ber.		1,3	2,2	3,3	9,0	19,0	26,3	31,7	33,7	53,3	64,1	98,9
Siemenskohle	beob.	114	(1,4)	—	—	—	—	—	—	29	41,1	54,5	98,3
	ber.		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	98,7
Anthrazit, beob.	$2 \cdot 10^{10}$		3,7	—	—	—	—	—	—	12,2	12,8	13,8	14

Bei der Gaskohle ($w = 75,8$) habe ich auch für alle Wellenlängen die Größe von R nach der theoretischen Formel (2)



berechnet; die berechneten Werte sind in der Figur durch die gestrichelte Kurve dargestellt. Im großen und ganzen wird

man die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung als wohl befriedigend bezeichnen dürfen. Es muß dahingestellt bleiben, worauf die noch vorhandenen Differenzen zurückzuführen sind. Zum Teil mag wohl ein Einfluß der dem ultravioletten Spektralgebiete angehörigen Eigenschwingungen in Frage kommen; vielleicht spielen auch Inhomogenitäten des Materials eine gewisse Rolle.

13. Jedenfalls geht aber aus der Gesamtheit der Beobachtungen zur Genüge hervor, daß das Reflexionsvermögen der Kohle fast im ganzen Spektrum so gut wie ausschließlich durch die elektrische Leitungsfähigkeit bestimmt wird. Es ergibt sich ferner, daß die leitenden Kohlen im ultraroten Gebiete gar keine Ähnlichkeit mehr mit einem schwarzen, noch auch mit einem „grauen“ Körper besitzen. Diese Tatsache dürfte wohl auch für die Frage der Ökonomie gewisser Lichtquellen nicht ohne Bedeutung sein. In den Leuchtfammen spielt die Reflexion freilich kaum eine Rolle, da sich die Kohle hier in außerordentlich fein verteiltem Zustande befindet. Anders ist es aber vielleicht schon beim Kohlenbogenlicht — wenn die Erscheinungen auch in diesem Falle durch den Einfluß der Verbrennung wieder modifiziert werden mögen —, und vor allem bei der Kohlenfadenglühlampe. Bei dieser muß die Reflexion zweifellos eine wichtige Rolle spielen, und da erscheint es günstig, daß sie, wie sich gezeigt hat, unmittelbar hinter dem sichtbaren Spektralgebiete zu immer höheren Werten ansteigt.

In einer kürzlich erschienenen Abhandlung habe ich des näheren ausgeführt¹⁾, daß die Gesetze der Wärmeemission blanker Metalle in weitem Umfange durch ihr elektrisches Leitungsvermögen bestimmt werden, und daß u. a. die Metalle mit steigender Temperatur im ultraroten Spektrum immer schwärzer werden, da sie einen positiven Temperaturkoeffizienten ihres Widerstandes besitzen. Im Gegensatze hierzu nimmt nun der Widerstand der Kohle bekanntlich mit wachsender Temperatur ab. Soweit ihre Reflexion also von der Leitfähigkeit abhängt, wird sie um so größer werden, je höher die Temperatur steigt; die Kohle wird also im Ultrarot mit wachsender Temperatur immer

1) E. Aschkinass, *Ann. d. Phys.* **17.** p. 960. 1905.

blanker. Infolgedessen wird der relative Anteil der unsichtbaren Strahlungsenergie in der Gesamtemission eines Kohlefadens bei hoher Temperatur wahrscheinlich noch erheblich geringer ausfallen, als man nach dem Resultate der bei Zimmertemperatur ausgeführten Reflexionsmessungen an und für sich zu erwarten hätte. Voraussichtlich steigt also mit wachsender Temperatur die Ökonomie einer solchen Lichtquelle in noch viel stärkerem Maße als die eines absolut schwarzen Körpers.

Ferner müßte sich beim Vergleich der Emissionen eines Metalles und einer gleich temperierten Kohle zeigen, daß bei langen Wellen und hohen Temperaturen die Strahlung der letzteren die des Metalles bei weitem nicht in so hohem Grade übertrifft, wie innerhalb des sichtbaren Spektralbereiches. Man sieht aber ohne weiteres ein, daß für die Wärmeemission der Kohle viel kompliziertere Strahlungsgesetze gelten werden als für schwarze oder für metallische Körper.

Charlottenburg, Physik. Inst. der Techn. Hochschule,
August 1905.

(Eingegangen 11. September 1905.)
