

5. *Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten von  
Kristallen mit elektrischen Wellen;  
von W. Schmidt.*

(II. Abhandlung.)

Bei festen Körpern, die eine Dielektrizitätskonstante größer als die vom Wasser ( $\epsilon = 81$ ) haben, konnte man mit der in diesen Annalen<sup>1)</sup> beschriebenen Methode nur indirekt und ziemlich umständlich die Dielektrizitätskonstante bestimmen. Bei Kristallen nun, die in zwei Richtungen eine Dielektrizitätskonstante kleiner als 81 haben, ist es unter Umständen möglich, die Dielektrizitätskonstante in der dritten Richtung auf ziemlich einfache Weise zu ermitteln.

Sind die Dielektrizitätskonstanten eines Kristalles gleich  $\epsilon_a$ ,  $\epsilon_b$ ,  $\epsilon_c$ , so wird ein aus dem Kristall mechanisch hergestelltes feines Pulver sich wie ein homogener Körper verhalten. Das Pulver besteht nämlich aus sehr vielen sehr kleinen — praktisch unendlich vielen unendlich kleinen — Teilchen, die nach allen möglichen Richtungen orientiert sein werden. Da nun keine bestimmte Richtung bevorzugt ist, sondern der größten Wahrscheinlichkeit nach in jedem Punkte des Pulvers alle Richtungen gleichmäßig vertreten sind, so wird eine mittlere Dielektrizitätskonstante resultieren, die sich aus der Auswertung des folgenden über den Kugeloktanten zu nehmenden Integrals ergibt:

$$(1) \quad \epsilon_m = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \epsilon \cos \varphi \, d\varphi \, d\omega,$$

wo  $\varphi$  die Breite,  $\omega$  die Länge in Kugelkoordinaten bedeutet und  $\epsilon$  nach früherem (I, p. 935) gegeben ist durch:

$$(2) \quad \epsilon = \epsilon_a \cos^2 \alpha + \epsilon_b \cos^2 \beta + \epsilon_c \cos^2 \gamma.$$

---

1) W. Schmidt, Ann. d. Phys. 9. p. 919. 1902; fortan mit I zitiert.

Drückt man  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , die Winkel der Kristallhauptachsen mit einer beliebigen, im Pulver festliegenden Geraden, durch  $\varphi$  und  $\omega$  aus:

$$\cos \alpha = \cos \varphi \cos \omega, \quad \cos \beta = \cos \varphi \sin \omega, \quad \cos \gamma = \sin \varphi,$$

und setzt man den Wert für  $\varepsilon$  in Gleichung (1) ein, so ergibt sich:

$$(3a) \quad \varepsilon_m = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c}{3}$$

bez. für einachsige Kristalle:

$$(3b) \quad \varepsilon_m = \frac{2\varepsilon_{\perp} + \varepsilon_{\parallel}}{3}.$$

Aus diesen Gleichungen folgt unmittelbar, daß, wenn  $\varepsilon_m$  und zwei bez. eine Größe der rechten Seite bekannt sind, die dritte bez. zweite leicht auszuwerten ist.

Um zunächst zu zeigen daß sich Pulver kristallisierter Substanzen bei unseren Untersuchungen wirklich wie homogene Körper verhalten, wurden Abfälle früher untersuchter Schnitte mechanisch möglichst fein gepulvert und in genau derselben Weise wie die Kristallplatten untersucht, d. h. das Pulver mit den Eichflüssigkeiten in ein auf I, p. 922 abgebildetes Kölbchen gefüllt. Es zeigte sich nun, daß die Punkte der Kurve *B* (I, p. 920, Fig. 2) ebenso regelmäßig wie bei Kristallplatten gefunden wurden, wenn man nur darauf achtete, daß das Pulver jedesmal in genau derselben Weise in das Kölbchen gefüllt wurde. Am praktischsten erwies sich, wenn man erst in das Kölbchen die Eichflüssigkeit füllte und dann das Pulver in einem feinen Strahl hineinfallen ließ und ein regelmäßiges Sedimentieren durch Aufklopfen des Kölbchens auf die Tischplatte beförderte. Nach der Messung schüttete man das nasse Pulver auf ein Uhrgläschen, trocknete es auf diesem sorgfältig und legte dann einen weiteren Punkt der Kurve *B* fest. — Unvorteilhaft war es, erst das Pulver in das Kölbchen zu füllen und dann Flüssigkeit zuzugießen, weil sich so nur schwierig die kleinen Luftbläschen entfernen ließen. Ebenfalls genügte es nicht, nach einer Messung das nasse Pulver mehrere Male mit der neuen Flüssigkeit durchzuspülen; denn immer blieb dann noch so viel von der erst gebrauchten

Mischung zurück, daß der so festgelegte Punkt sich zu weit von der Kurve *B* der Fig. 2 entfernte.

Untersucht wurden auf diese Weise *Baryt I* und *Cölestin II* (I, p. 933, Tab. 3). Es ergab sich:

	$\epsilon_m$ gefunden	$\epsilon_m$ berechnet
Baryt I	9,4	9,2
Cölestin II	11,4	11,5

Die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung ist der Genauigkeit der Methode entsprechend kleiner als 3 Proz. (I, p. 921).

Nachdem so nachgewiesen war, daß die Dielektrizitätskonstante eines Kristallpulvers wirklich der Mittelwert aus den Dielektrizitätskonstanten in Richtung der Symmetrieachsen ist, wurde Pulver von *Pyromorphit* untersucht, der in der einen Richtung eine Dielektrizitätskonstante größer als 81 besitzt. Leider waren von den untersuchten Schnitten (I, p. 932, Tab. 2) keine Abfälle mehr vorhanden, wohl aber noch Material vom selben Fundort (Zschopau), das freilich nicht so rein wie das erst benutzte war. Es ergab sich:

$$\epsilon_m = 47,5,$$

also, wenn man nach früherem

$$\epsilon_{\perp} = 26$$

setzt, aus Gleichung (3b):

$$\epsilon_{\parallel} = 90,5.$$

Dieser Wert ist kleiner als der ursprünglich angegebene ca. 150. Letztere sollte jedoch, wie dort betont (I, p. 930), mehr den Charakter einer Größenordnung haben; außerdem war, wie bereits gesagt, das Material nicht völlig rein, und es ist wohl anzunehmen, daß für völlig reines Material die Konstante etwas größer ausfällt. — *Pyromorphit* von anderem Fundort (Ems), die Schnitte aus einem kleinen, aber sehr klaren Kristall von helllila Farbe herausgeschnitten, ergab die Konstante:

$$\epsilon_{\perp} = 24.$$

$\epsilon_{\parallel}$  fand sich ebenfalls größer wie 81, jedoch offenbar etwas kleiner als  $\epsilon_{\parallel}$  beim untersuchten Kristall aus Zschopau. Der untersuchte Schnitt  $\perp$  zur Achse war leider zu klein, um eine genauere Bestimmung nach der I, p. 926 angegebenen Methode

vorzunehmen; auch war nicht genügend Material vorhanden, um das Pulver untersuchen zu können. Anderer Pyromorphit aus Ems, der in stengligen, traubenförmigen Aggregaten kristallisiert und offenbar mit Cerussit untermischt und überhaupt nicht sehr rein war, hatte als Pulver untersucht, die Konstante:

$$\epsilon_m = 38.$$

Die ziemlichlichen Verschiedenheiten in den Dielektrizitätskonstanten erklären sich auch durch die wechselnde chemische Zusammensetzung dieses Mineralen.

Die Methode, die Dielektrizitätskonstante eines Kristalles in *einer* Richtung aus den Dielektrizitätskonstanten in den beiden anderen Richtungen und aus der Dielektrizitätskonstante des Pulvers zu bestimmen, wird sich auch bei solchen Mineralien vorteilhaft anwenden lassen, von denen Schnitte in bestimmter Richtung schwer oder gar nicht herzustellen sind. So gibt es doch viele Mineralien, die nur in dünnen Tafeln oder Platten kristallisieren. Man kann dann von solchen unter Umständen direkt einen natürlichen Kristall untersuchen, ohne ihn vorher bearbeiten zu müssen, und dann aus der Dielektrizitätskonstante des Pulvers die zweite bez. dritte Konstante des Kristalles bestimmen. Und auch bei seltenen *regulären* Kristallen und bei chemischen Produkten wird sich zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstante vorteilhaft Pulver anwenden lassen, da einesteils nicht viel davon nötig ist (bei den hier benutzten Kondensatoren etwa  $\frac{3}{4}$  ccm; doch hindert ja nichts, noch kleinere Kondensatoren zu benutzen), andernteils ein Pulver viel leichter als eine Platte zu beschaffen ist. Freilich sind auf jeden Fall Platten vorzuziehen. Einesteils ist die Untersuchung von Pulvern bedeutend zeitraubender. Namentlich wenn man viele Platten zu untersuchen hat, kann man durch eine flüchtige Vorbestimmung [die ungefähren Werte der Dielektrizitätskonstante festlegen und dann gleich drei bis fünf Platten mit denselben Kölbchenfüllungen untersuchen. Andernteils ist die Kurve *B* zur Kurve *A* (vgl. I, p. 920, Fig. 2) bei genügend dicken Platten steiler geneigt als bei Pulvern. Der Schnittpunkt  $\alpha$  läßt sich also im ersteren Fall sicherer und aus weniger Beobachtungen bestimmen (vgl. I, p. 921).

## Dielektrizitätskonstanten von Elementen.

Unter den Hauptresultaten der Abhandlung I war angeführt, daß *Schwefel* allein von den untersuchten Kristallen die sogenannte Maxwellsche Regel  $\varepsilon = \nu^2$  befolgt. Es ist dies vielleicht eine etwas ungenaue Ausdrucksweise; besser hieße es, daß beim Schwefel allein der Brechungsindex für unendlich lange Wellen sich aus den Brechungsindizes im Bereich der sichtbaren Strahlen ohne die Annahme von Absorptionsstreifen im Ultrarot mit Hülfe der üblichen Dispersionsformeln berechnen läßt. Nun ist auffallend, daß Schwefel das einzige *Element* unter den untersuchten Kristallen ist. Es fragt sich deshalb, ob wohl auch die anderen Elemente so einfache Verhältnisse zeigen.

Vor allem werden uns hier die kristallisiert auftretenden Elemente interessieren. Es kommen außer *Bor*, von dem zur Untersuchung geeignete Präparate nicht vorlagen, und dem bereits besprochenen *Schwefel* (rhombisch) eigentlich nur *Kohlenstoff* als *Diamant*, *Phosphor* in seiner *gelben* Modifikation (beide regulär) und *Jod* (rhombisch) in Betracht. Auch das *glasige Selen* (amorph) könnte man eventuell mit hierher rechnen.

Von *Diamant* war ein dünner Splitter von ca. 4—5 mm Durchmesser vorhanden, der, wie später Gelbbleierz und Brookit, in einem Kondensatorkölbchen untersucht wurde ähnlich denen, wie sie Coolidge<sup>1)</sup> beschrieben hat.<sup>2)</sup> Dieses Kölbchen hatte den Vorteil, daß sich die Platinplatten (*pp* in der Fig. 3 l. c.) möglichst dicht an die Kristallplatten herانبiegen ließen. Freilich mußte man bei jeder Bestimmung sich der zeitraubenden Festlegung einer neuen Eichkurve *A* (I, p. 920, Fig. 2) unterziehen.

Es wurde so die Dielektrizitätskonstante des Diamants zu 5,50 gefunden. Dieser Wert ist nicht so genau, wie die der früher bestimmten Kristallplatten, denn es war kaum möglich, das Splitterchen, das nur 35 mg wog, jedesmal in genau derselben Stellung zwischen die Kondensatorplatten zu bringen.

1) W. D. Coolidge, Wied. Ann. 69. p. 126, Fig. 3. 1899.

2) Der Diamantsplitter war gütigst zur Untersuchung von der Firma L. Houy-Hanau überlassen, Gelbbleierz und Brookit von Hrn. Prof. Dr. Brauns.

Da sehr viele Beobachtungen gemacht wurden, wird der Fehler kaum mehr als 5 Proz. betragen. Es ist dies bei der Kleinheit des Präparates eine relativ große Genauigkeit und zugleich ein Beweis für die Leistungsfähigkeit der hier benutzten Drudeschen Methode und für ihre Überlegenheit gegenüber anderen Methoden.

Martens<sup>1)</sup> hat mit Hilfe der Ketteler-Helmholtz-schen Dispersionsformel aus Beobachtungen im Gebiet der sichtbaren und ultravioletten Strahlen

$$\nu_{\infty}^2 = 5,66$$

also einen Wert berechnet, der mit dem hier gefundenen  $\epsilon$  gut übereinstimmt.

Da anzunehmen ist, daß *gelber Phosphor* als Kristall und in gegossenem Zustande keine prinzipiellen Unterschiede zeigt, wurde das Kondensatorkölbchen unter Benzol<sup>2)</sup> mit geschmolzenem Phosphor gefüllt. Nachdem dieser langsam erstarrt war, zeigte er die Dielektrizitätskonstante 3,60. Unter Benutzung der Gladstone-Daleschen Werte<sup>3)</sup> ergibt sich mit Hilfe der Ketteler-Helmholtz-schen Dispersionsformel:

$$\nu_{\infty}^2 = 4,22,$$

also ein Wert wesentlich größer als die gefundene Dielektrizitätskonstante. Da nur drei Brechungsindizes im sichtbaren Gebiet beobachtet und zur Berechnung benutzt wurden, so ist sehr die Frage, ob sich nicht ein anderer Wert ergibt, wenn man die wohl noch nicht bestimmte Dispersion im ultravioletten Gebiete berücksichtigt. Entschieden ist interessant, daß  $\epsilon$  kleiner als  $\nu_{\infty}^2$  ist, ein Beweis, daß beim Phosphor sowohl, wie beim Diamant und Schwefel, keine Absorptionsbanden im Ultraroten zu erwarten sind.

Für *Selen*, von dem ein schönes Präparat untersucht werden konnte, ist der Unterschied zwischen  $\epsilon = 6,60$  und

1) F. F. Martens, Ann. d. Phys. 8. p. 464. 1902.

2) Diese Vorsicht mußte man anwenden, da bei Füllung unter Wasser das Kondensatorkölbchen leitend wurde. Wahrscheinlich hatte sich auf der inneren Glaswand eine dünne Schicht Wasser mit phosphoriger Säure gebildet.

3) Vgl. F. F. Martens, Verhandl. d. Deutsch. Physik. Gesellsch. 4. p. 152. 1902.

$\nu_{\infty}^2 = 6,02$  (nach Wood<sup>1)</sup>) bedeutend kleiner, als bei Benutzung des von Romich und Nowack gefundenen Wertes  $\epsilon = 10,2$ . Der immerhin außerhalb der Beobachtungsfehler liegende Unterschied erklärt sich wohl viel einfacher dadurch, daß das Selen nicht durchweg glasigen Charakter angenommen hatte, als durch Absorptionsbanden im Ultraroten, die Wood (l. c.) bis zu Wellenlängen  $2,3 \mu$  nicht hat finden können.

Von Jod konnten dünne, tafelförmige Kristalle untersucht werden. Von diesen wurden mehrere zwischen die Kondensatorplatten geklemmt, dann die Eichflüssigkeit zugegossen und nun sofort eine Beobachtung gemacht. Bei genügender Schnelligkeit im Beobachten löste sich nämlich dann in den Aceton-Benzolmischungen so wenig Jod auf, daß der Wert der jeweiligen Eichflüssigkeit sich nicht merklich änderte. Es wurde so mit ziemlicher Sicherheit der Wert  $\epsilon_b = 4,00$  festgestellt. Leider sind Brechungsindizes von Jod wegen seiner geringen Durchlässigkeit für die sichtbaren Strahlen bisher nicht bestimmt worden; doch scheint der Brechungsexponent für rote Strahlen größer als 2 zu sein, da nämlich eine konzentrierte Lösung von Jod in Amylalkohol den Wert 2,0 besitzt (Martens, l. c.). Das würde zu dem beobachteten Wert der Dielektrizitätskonstante gut passen.

Der Vollständigkeit halber wurde noch flüssiges *Brom* untersucht und  $\epsilon = 3,10$  gefunden. Hier ist der Unterschied mit  $\nu_{\infty}^2 = 2,53^2$ ) zu groß, um durch Ungenauigkeiten in den Messungen erklärt zu werden.

Dagegen scheint beim flüssigen *Chlor* (Temperatur  $14^{\circ}$ ) das Maxwellsche Gesetz bestätigt zu sein. Coolidge<sup>3)</sup> fand (ebenfalls mit Hilfe von elektrischen Wellen)  $\epsilon = 1,88$ , während Bleekrode<sup>4)</sup>  $\nu^2$  (für Natriumlicht)  $= 1,87$  bestimmt hatte.

Wie bekannt, stimmen bei den gasförmigen Elementen, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff (wenigstens bei der Mischung der beiden letzteren, der atmosphärischen Luft),

1) R. W. Wood, Phil. Mag. (6) **3**. p. 619. 1902.

2) Aus den Rivièreschen Werten berechnet. Vgl. F. F. Martens, l. c. p. 140.

3) W. D. Coolidge, l. c. p. 131.

4) L. Bleekrode, Proc. Roy. Soc. **37**. p. 339. 1884; Beibl. **9**. p. 419. 1885.

ebenfalls Dielektrizitätskonstante und Quadrat des Brechungsindex überein.<sup>1)</sup>

In der folgenden Tab. 6<sup>2)</sup> sind zur besseren Übersicht die Resultate vom Verfasser mit denen der anderen Beobachter zusammengestellt.

Tabelle 6.  
Elemente.

Bezeichnung	Chem. Zeichen	$\epsilon$	$\nu_{\infty}^2$
Schwefel . . . .	S	{ 3,59 3,83 4,62	3,59 3,89 4,60
Diamant . . . .	C	5,50	5,66
Gelber Phosphor .	P	3,60	4,22
Glasiges Selen . .	Se	6,60	6,02
Jod . . . . .	J	4,00	?
Brom . . . . .	Br	3,10	2,53
Chlor . . . . .	Cl	1,88	1,87 (Na-Licht)
Wasserstoff . . .	H	1,00026	1,00028
Luft . . . . .	O + N	1,00059	1,00059

Diese Tabelle spricht dafür, daß in den Elementen die Moleküle einen besonders einfachen Bau haben. Denn auch da, wo das Maxwellsche Gesetz nicht erfüllt ist, sind die Unterschiede zwischen  $\epsilon$  und  $\nu_{\infty}^2$  relativ kleiner, als bei jedem anderen der hier untersuchten festen Körper.

#### Dielektrizitätskonstante und chemische Zusammensetzung.

Die ungewöhnlich hohe mittlere Dielektrizitätskonstante der beiden untersuchten *Bleimineralien*, Pyromorphit und Cerussit, ließ vermuten, daß das *Metall* gerade so die hohe Dielektrizitätskonstante bedingte, wie bei bleihaltigen Glasflüssen den hohen Brechungsindex. Es wurden deshalb noch verschiedene Bleiverbindungen untersucht, die in folgender Tab. 7 zusammengefaßt sind.

1) Vgl. A. Winkelmann, Handbuch der Physik III, 1. p. 90. 1893

2) Im Anschluß an die Tabellen in I weiter numeriert.



Tabelle 7.

Bleihaltige Mineralien bez. Verbindungen.<sup>1)</sup>

Bezeichnung	Chemische Formel	Farbe etc.	Dielektrizitätskonstante
Cerussit (Grube Friedrichsseggen)	$\text{PbCO}_3$	Vgl. I, p. 953, Tab. 3	$\epsilon_m = 22,6$
Pyromorphit (Zschopau)	$\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{PO}_4)_3$	Vgl. II, p. 116.	$\epsilon_m = 47,5$
Gelbbleierz (Wulfenit), (Red Cloud Mine, Yuma County, Arizona)	$\text{PbMoO}_4$	{ hellrot, durchsichtig; natürlicher tafel- förmiger Kristall }	$\epsilon_{  } = 26,8$
Bleimolybdänat	$\text{PbMoO}_4$	{ Chemisch hergestelltes weißes Pulver }	$\epsilon = 23,8$
Mennige	$\text{Pb}_3\text{O}_4$	{ Chemisch hergestelltes rotes Pulver }	$\epsilon = 17,8$
Bleisulfat	$\text{PbSO}_4$	{ Chemisch hergestelltes weißes Pulver }	$\epsilon = 28$
Bleichlorid	$\text{PbCl}_2$	Weißes Pulver M	$\epsilon = 42$
Bleinitrat	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	Durchsichtige Platte M	$\epsilon = 16$

Bei Gläsern bedingen außer *Blei-* auch *Thallium*zusätze einen hohen Brechungsindex. Wir sehen nun aus Tab. 8, daß auch *Thallium*salze — geeignete Thalliummineralien existieren leider nicht — eine verhältnismäßig hohe Dielektrizitätskonstante besitzen.

Tabelle 8.  
Thalliumsalze.

Bezeichnung	Chemische Formel	Farbe etc.	Dielektrizitätskonstante
Thallokarbonat	$\text{Tl}_2\text{CO}_3$	Weißes Pulver M	17
Thallosulfat	$\text{Tl}_2\text{SO}_4$	„ „ M	ca. 28 } <sup>2)</sup>
Thallochlorid	$\text{TlCl}$	„ „ M	ca. 30 }
Thallonitrat	$\text{TlNO}_3$	„ „ M	16,5

1) Bei der Herstellung einiger der hier und später untersuchten Verbindungen waren mir in liebenswürdigster Weise Hr. Dr. Münch und Hr. cand. r. n. Stein behülflich. Ersterem Herrn verdanke ich auch die Analyse der beiden Titanoxyde (vgl. Tab. 9). — Die mit M bezeichneten Produkte sind von Merck-Darmstadt bezogen.

2) Diese Salze konnten wegen ihrer Löslichkeit nicht in wasserhaltigen Eichflüssigkeiten untersucht werden. Doch ließ sich aus der

Ein Vergleich mit den Bleiverbindungen zeigt, daß die Dielektrizitätskonstante in beiden Gruppen vom Nitrat über das Karbonat und Sulfat zum Chlorid zunimmt. Eine bestimmte Gesetzmäßigkeit ist freilich nicht zu erkennen.

Die höchste bisher bekannte Dielektrizitätskonstante hatte *Rutil* (*Titanoxyd*) gezeigt. Es wurden deshalb noch andere Körper von gleicher Zusammensetzung untersucht. Die Resultate sind in Tab. 9 vereinigt.

Tabelle 9.  
Titanoxyd  $\text{TiO}_2$ .

Bezeichnung	Farbe etc.	Dielektrizitätskonstante
Rutil	Vgl. I, p. 932, Tab. 2	$\epsilon_m = 117$
Rutil (Snarum, Norwegen) }	Hellrotes Pulver <sup>1)</sup>	$\epsilon = 110$
Brookit (Tavetsch) }	Hellbraun, durchsichtig; natürl. tafelförmiger Kristall	$\epsilon_a = 78$
Brookit (Arkansit, Arkansas)	Graues Pulver; stark ver- unreinigt	$\epsilon = 12$
Titanoxyd I <sup>2)</sup> }	Chem. Anal.: 84,62 % $\text{TiO}_2$ ; 14,90 % $\text{H}_2\text{O}$	$\epsilon = 31$
Titanoxyd II (elektrochemisch dargestellt) }	Chem. Anal.: 96,40 % $\text{TiO}_2$ ; 3,53 % $\text{H}_2\text{O}$ ; 0,15 % $\text{SiO}_2$	$\epsilon = 7,7$

Kurve *B* (vgl. I, p. 920, Fig. 2) im Gebiet der Aceton-Benzolmischungen (I, p. 926) im Vergleich mit Kurven, wie man sie für Pulver mit bekannter Dielektrizitätskonstante (z. B. Bleisulfat) erhält, der Wert der Dielektrizitätskonstante ziemlich genau bestimmen.

1) Die hohe Dielektrizitätskonstante des Rutilpulvers wurde wieder nicht direkt bestimmt, vielmehr mußte eine Hilfsbestimmung gemacht werden, ähnlich wie bei der einen Rutilplatte (I, p. 926 ff.). Die Messung war hier jedoch bedeutend vereinfacht, da man zur Festlegung einer geeigneten Kurve der Fig. 7 (vgl. I, p. 928) irgend ein anderes auf gleiche Weise hergestelltes Pulver (in diesem Falle Cölestinpulver) benutzen konnte.

2) Ursprung unbekannt. Von Merck bezogenes Titanoxyd zeigte dieselbe Konstante.

Die Übereinstimmung bei den verschiedenen Rutilen ist gut; auch paßt der beim ersten Brookit gefundene Wert — vom Arkansitpulver wollen wir wegen seiner starken Verunreinigung hier ganz absehen — der Größenordnung nach zu den beiden vorhergehenden. Dagegen sind die Dielektrizitätskonstanten der chemisch hergestellten Titanoxyde unter sich sehr verschieden und außerdem viel kleiner als die Dielektrizitätskonstanten des kristallisierten Titanoxyds. Ob das an dem physikalischen oder chemischen Unterschied liegt, muß vorläufig dahingestellt bleiben. Natürlicher Brookit und Rutil enthalten immer Eisen; auch ist bekannt, daß Rutil oft mit Eisenglanz nach einem ganz bestimmten Gesetze verwachsen vorkommt. Man nahm bisher an, daß man es mit einer festen Lösung zu tun habe. Sollte sich nun zeigen, daß künstlicher, eisenfreier Rutil eine Dielektrizitätskonstante von der Größe der Dielektrizitätskonstante des amorphen Titanoxyds hat, so würden die hier gefundenen Resultate dafür sprechen, daß leitende Teilchen gesetzmäßig in nicht leitende (Titanoxyd)-Moleküle eingebettet sind.

Zum Schluß sind noch einige Substanzen von gleicher chemischer Zusammensetzung in der Tab. 10 untereinandergestellt.

Tabelle 10.

Substanzen von gleicher chemischer Zusammensetzung.

Bezeichnung	Chem. Formel	Besondere Bemerkungen	D.-K.
1. Baryt Baryumsulfat	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{BaSO}_4 \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$	Vgl. II, p. 116 Chem. hergest. weißes Pulver	$\epsilon_m = 9,3$ $\epsilon = 10,2$
2. Cölestin Strontiumsulfat	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{SrSO}_4 \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$	Vgl. II, p. 116 Chem. hergest. weißes Pulver	$\epsilon_m = 11,4$ $\epsilon = 11,3$
3. Marmor (Carrara) Kalkspat Aragonit	$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{CaCO}_3 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$	Weißer durchscheinende Platte Vgl. I, p. 932, Tab. 2 Vgl. I, p. 933, Tab. 3	$\epsilon = 8,3^5$ $\epsilon_m = 8,3^3$ $\epsilon_m = 8,0^5$

Namentlich in der zweiten und dritten Gruppe ist die geringe Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstante bei den physikalisch verschiedenen Substanzen auffallend. Es scheint also, als ob die Dielektrizitätskonstante oft mehr durch die chemische Zusammensetzung, als durch die sonstigen physi-

kalischen Eigenschaften beeinflußt wird. Natürlich werden sich erst Schlüsse von größerer Tragweite und Sicherheit ziehen lassen, wenn mehr Beobachtungsmaterial vorliegt.

Während aus den bisherigen Untersuchungen nicht mit Sicherheit hervorgeht, ob kleine Verunreinigungen die Größe der Dielektrizitätskonstanten wirklich wesentlich beeinflussen, so kann man dagegen wohl ziemlich bestimmt behaupten, daß sie unter Umständen eine deutliche Absorption bedingen können. Zum Beispiel hatten die untersuchten Rutilplatten (I, p. 932, Tab. 2) keine merkliche Absorption gezeigt; dagegen absorbierte das Pulver ebenso wie der Brookitkristall (vgl. p. 123) ziemlich stark. — Auch ein zweites Pyromorphitpräparat aus Zschopau, parallel zur Achse geschnitten, hatte wohl dieselbe Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_{\perp} = 26$ , wie der früher untersuchte Schnitt (I, p. 932, Tab. 2), zeigte aber auffallend starke Absorption. Man wird also zu unterscheiden haben zwischen der anomalen elektrischen Absorption, die dem Körper als solchem zukommt, und zwischen der Absorption, die wahrscheinlich durch die Leitfähigkeit fremder Bestandteile bedingt wird. Eine Analogie zu den zweierlei Arten Absorption bieten die zweierlei Arten Leitfähigkeit, wie wir sie bei Metallen und Elektrolyten haben.<sup>1)</sup>

Die Absorption läßt sich mit dem I, p. 923, Fig. 5 abgebildeten Apparat sehr leicht nachweisen und ihrer Größenordnung nach bestimmen. Füllt man nämlich das Kölbchen *c* mit der Eichflüssigkeit, die ungefähr dieselbe Dielektrizitätskonstante hat, wie der untersuchte feste Körper, so kann man die Sekundärleitung so weit von der Primärleitung entfernen, daß die über die Drähte *l* gelegte Zehnderröhre gerade noch aufleuchtet. Bringt man jetzt außer der Eichflüssigkeit noch die Platte bez. das Pulver in das Kölbchen, so wird das Aufleuchten der Röhre erst wieder eintreten, wenn man die Sekundärleitung näher an die Primärleitung herangebracht hat. Die Größe der Verschiebung gibt uns unmittelbar ein Maß für die Absorptionsfähigkeit der untersuchten Substanz.

---

1) Eine Absorption trat übrigens bei Pulvern auch manchmal dann ein, wenn die Eichflüssigkeit (gewöhnlich Wasser) geringe Mengen fremder Bestandteile dissoziierte. Diese Absorption konnte man durch Auswaschen des Pulvers in heißem destillierten Wasser beseitigen.

**Zusammenfassung der Hauptresultate.<sup>1)</sup>**

5. Aus Kristallen hergestellte Pulver lassen sich zur Ermittlung der Dielektrizitätskonstante in einer bestimmten Richtung oftmals vorteilhaft verwenden.

6. Die kristallisiert auftretenden Elemente Schwefel und Kohlenstoff folgen dem Maxwellschen Gesetze  $\varepsilon = v_{\infty}^2$ . Daß dies auch Phosphor und Selen tun, ist wahrscheinlich, aber vorläufig nicht mit Sicherheit zu entscheiden.

7. Die hohen Dielektrizitätskonstanten sind bei Blei- und Thalliumverbindungen durch das Metall bedingt, bei den natürlichen Titanoxyden dagegen durch noch unbekannte Ursachen.

8. Absorptionsfähigkeit für elektrische Schwingungen kann oftmals durch geringe fremde Beimischungen bedingt werden.

Gießen, Physik. Inst. d. Univ.

---

1) Im Anschluß an die Hauptresultate von I weiter numeriert.

(Eingegangen 23. Januar 1903.)

---