



TITLE:

Versuche über die Dielektrizitätskonstanten  
einiger Mineralien und über das  
dielektrische Verhalten derselben bei  
Erhitzung

AUTHOR(S):

Takubo, Jitsutaro

---

CITATION:

Takubo, Jitsutaro. Versuche über die Dielektrizitätskonstanten einiger Mineralien und über das dielektrische Verhalten derselben bei Erhitzung. *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University*. Ser. B 1941, 16(2): 95-154

ISSUE DATE:

1941-03-31

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/257909>

RIGHT:

# Versuche über die Dielektrizitätskonstanten einiger Mineralien und über das dielektrische Verhalten derselben bei Erhitzung

von

**Jitsutarō TAKUBO**

(Geologisches und Mineralogisches Institut, Kaiserliche Universität zu Kyoto)

---

*Mit 35 Text-figuren*

---

(Eingegangen am Februar 12, 1940)

---

## Inhalt

	Seite
(I) Einleitung . . . . .	95
(II) Dielektrizitätskonstanten von Mineralien . . . . .	97
(A) Versuchsanordnung . . . . .	98
(1) Erzeugung der elektrischen Schwingung . . . . .	98
(2) Darstellung des dielektrischen Flüssigkeitsgemisches . . . . .	105
(3) Versuchsaapparat . . . . .	105
(4) Messmethode . . . . .	108
(B) Versuchsergebnisse . . . . .	110
(1) Berechnung der Hauptdielektrizitätskonstanten . . . . .	110
(2) Dielektrizitätskonstanten . . . . .	115
(C) Spezielle Versuche über Dielektrizitätskonstanten der isomorphen Reihe von Plagioklas . . . . .	119
(III) Dielektrisches Verhalten von Mineralien bei Erhitzung . . . . .	123
(A) Schwefel . . . . .	125
(B) Zinkblende . . . . .	131
(C) Aragonit . . . . .	131
(D) Kalkspat . . . . .	139
(E) Leucit . . . . .	140
(F) Flussspat . . . . .	143
(G) Quarz . . . . .	146
(IV) Zusammenfassung . . . . .	153

## (I) Einleitung

Es zeigt sich, dass die bei Mineralien beobachteten optischen Erscheinungen im allgemeinen den dielektrischen ganz analog auftreten, trotzdem die sogenannte Maxwellsche Regel bei festen Körpern nie, mit Ausnahme

einer Anzahl<sup>1)</sup> von Mineralien, quantitativ anwendbar ist. Daher lässt sich die bei optische Versuche beobachteten spezifischen Eigenschaften eines Minerals durch die dielektrische Untersuchung bestätigen, und man gelangt zu Resultaten mit höherer Befriedigung. Auf Grund dieser Annahme hat der Verfasser<sup>2)</sup> bereits eine Arbeit besonders über isomorphe Mineralien ausgeführt, wobei als nächstliegende Aufgabe eine Untersuchung der isomorphen Reihe von Plagioklas und Zinkblende vorgenommen wurde. Seinen Resultaten nach weist die Dielektrizitätskonstante von Plagioklas je nach dem Anorthitgehalt und die von Zinkblende je nach dem Eisengehalt eine regelmässige Änderung auf, entsprechend der Änderung des Brechungsindexes.

Die bei diesem Versuche verwandte Anordnung ist eine Resonanzmethode, welche der von W. SCHMIDT<sup>3)</sup> im Jahre 1902 ausgearbeiteten ganz analog ist. Da seine Versuche aber mit stark gedämpfter elektrischer Schwingung, also nicht mit reinen Sinuswellen ausgeführt wurden, ist die Beobachtung von einigen Schwierigkeiten begleitet und es lässt sich nicht umgehen, dass demnach die Messresultate von geringerer Zuverlässigkeit sind. Um leichter durchaus genaue Beobachtungen zu ermöglichen, muss man in diesem Falle eine ungedämpfte Schwingung erzeugen. Hierzu wurde die tripode Vakuumröhre verwendet, und zwar leistet die unter dem Namen US-6 B bekannte Röhre, die von der Nippon Funkentelegraphie und Funkentelephonie Gesellschaft besonders zur Erzeugung von Ultrakurzwellen hergestellt wird, hierfür gute Dienste. Dem Versuche nach wird die am stärksten erregende Schwingung bei 92 Volt Gitterspannung und -5.3 Volt Anodenspannung erzeugt; diese Frequenz entspricht der Wellenlänge von 101.43 cm. Sämtliche Beobachtungen wurden unter denselben Bedingungen ausgeführt.

Die Versuche teilten sich in zwei Gruppen: 1. Versuche zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten der am meisten vorkommenden Mineralien bei einer bestimmten Temperatur von  $25^{\circ} \pm 0.1^{\circ} \text{C}$  und 2. Versuche über das dielektrische Verhalten bei Erhitzung. Es ist nämlich interessant, dass bei polymorphen Mineralien wie Schwefel, Leucit, Aragonit und Quarz während des Umwandlungsvorganges beim Erhitzen die Dielektrizitätskonstante eine merkliche Änderung erfährt.

Wie wohl bekannt ist, hängt die Dielektrizitätskonstante nicht nur von der Temperatur sondern auch von der Frequenz, unter welcher die Messung ausgeführt wird, ab. Leider wurden hierüber bis jetzt keine Untersuchungen vorgenommen, abgesehen von besonderen Mineralien wie Rutil und Anatas.<sup>4)</sup>

1) Schwefel: L. BOLTZMAN, Pogg. Ann. **153**, 525 (1874); N. N. SCHILLER, Pogg. Ann., **152**, 535 (1874).

Diamant: W. SCHMIDT, Ann. Phys., (4) **11**, 114 (1903).

Quarz: A. SCHRAUF, Z. KRIST., **18**, 113 (1890); R. B. SOSMAN, "The Properties of Silica", New York, 744 (1927).

2) J. TAKUBO, Memoirs Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., (B), **10**, 17 (1934).

3) W. SCHMIDT, Ann. Phys., **9**, 919 (1902).

4) R. JAEGER, Ann. Phys., **53**, 409 (1917); K. WETZLER, Z. angew. Mineral., **1**, 123 (1938).

Es ist sehr wünschenswert, dass genauere Untersuchungen mit verschiedenen Schwingungszahlen stattfinden, um auf Grund derselben dann die dielektrischen Dispersionserscheinungen feststellen zu können.

## (II) Dielektrizitätskonstanten von Mineralien

Die Dielektrizitätskonstanten von Mineralien sind bisher durch verschiedene Methoden mehrfach bestimmt worden. L. BOLTZMAN<sup>1)</sup> hat zuerst zur Messung der Dielektrizitätskonstante die Anziehung benutzt, welche frei bewegliche dielektrisch polarisierbare Körper erfahren, wenn sie in die Nähe eines mit Elektrizität geladenen Körpers gebracht werden. Seinem Versuche liegt die Annahme zugrunde, dass die elektrische auf eine Kugel, welche aus einem nichtleitenden dielektrischen Körper besteht, der nicht elektrisiert wird, ausgeübte Kraft nach der Helmholtz'schen Theorie  $\frac{\epsilon-1}{\epsilon+2}$  mal so stark ist, als die auf eine gleichgrosse, isoliert und ursprünglich unelektrisierte Kugel, die aber aus einem leitenden Körper besteht, unter denselben Bedingungen ausgeübte Kraft. Hierbei bezeichnet  $\epsilon$  die Dielektrizitätskonstante des nichtleitenden dielektrischen Körpers. Werden die beiden Anziehungskräfte  $h$  und  $h'$  auf die nichtleitende und die leitende Kugel beobachtet, so kann man die in Frage kommende Dielektrizitätskonstante aus folgender Formel berechnen,  $\frac{h}{h'} = \frac{\epsilon-1}{\epsilon+2}$ .

Der auf Grund dieser Annahme hergestellte Boltzmannsche Apparat wurde von Romich und Nowak wesentlich zur Messung der Dielektrizitätskonstante bei einigen Mineralien wie Flussspat und Schwefel angewandt. CH. BOREL<sup>2)</sup> hat später eine Modifikation der Boltzmann'schen Methode vorgenommen und so einige Beobachtungen an einer Reihe von rhombischen und monoklinischen Kristallen gemacht. Ganz derselbe Grundgedanke wurde ferner auch von L. GRAETZ und L. FOMM,<sup>3)</sup> R. FELLINGER,<sup>4)</sup> W. M. THORNTON<sup>5)</sup> usw. bei der Messung der Dielektrizitätskonstanten von einigen anisotropen Mineralien entwickelt.

J. CURIE<sup>6)</sup> hat einen kleinen Kondensator aus dem zu messenden Mineralplättchen, dessen Dicke 2-3 mm oder auch nur den Bruchteil eines Millimeters betrug, hergestellt. Jede Seite des Mineralplättchens wird mit einem leitenden Material belegt, dieses spielt die Rolle einer Elektrode des Kondensators. Mittels der Ladung mit einer Elektrizitätsmenge weist der Belag ein Potential auf, das durch einen Ausschlag des Elektrometers angezeigt wird. Man kann durch eine Gewichtsänderung in der Belastung des Quarzes bewirken, dass der Belag die entgegengesetzte Piezoelektrizität annimmt und

1) L. BOLTZMAN, Pogg. Ann., **151**, 482 und 531 (1874); **153**, 525 (1874); **155**, 403 (1875).

2) CH. BOREL, C. R., **116**, 1509 (1893).

3) L. GRAETZ und L. FOMM, Wied. Ann., (3) **54**, 626 (1895).

4) R. FELLINGER, Ann. Phys., (4) **7**, 333 (1902).

5) W. H. THORNTON, Proc. Roy. Soc., London, (A) **82**, 422 (1909).

6) J. CURIE, Ann. chim. phys., (6) **17**, 385 (1889).

die Nadel des Elektrometers in ihre Anfangsstellung zurückkehrt. Die Versuche bestehen wesentlich in der Ermittlung des Gewichtes. Ein analoger Versuch wird mit einem Luftkondensator angestellt. Bedeuten  $\varepsilon$  und  $\varepsilon_0$  die Dielektrizitätskonstanten von dem Mineral und der Luft,  $P$  und  $P_0$  die Gewichte in dem Falle des Mineral- und Luftkondensators,  $d$  und  $d_0$  die Dicke der Mineralplättchen und der Luftschicht und  $s$  und  $s_0$  die Inhalt der Elektrodenflächen von Mineral- und Luftkondensator, so kann man  $\varepsilon$  nach folgender Formel berechnen.

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{P d s_0}{P_0 d_0 s}$$

H. STARK<sup>1)</sup> bediente sich der von Nernst vorgeschlagenen Methode zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten einiger fester Körper. Er stellte sich eine Reihe von Gemischen zweier Flüssigkeiten wie Benzol und Äthylenchlorid her, deren Dielektrizitätskonstanten je nach dem Äthylenchloridgehalt stetig wachsen und suchte dann durch Probieren dasjenige Gemisch aus, dessen Dielektrizitätskonstante mit derjenigen des in Frage kommenden Körpers übereinstimmte.

TH. LIEBISCH und H. RUBENS<sup>2)</sup> hat die Dielektrizitätskonstanten aus dem Reflexionsvermögen für die langwellige Quecksilberdampfstrahlung nach der Fresnelschen Formel berechnet. Unter dem genannten Material befand sich eine grosse Anzahl von Mineralien. Es lässt sich als Regel behaupten, dass die optisch erhaltenen Werte meist ein wenig, bisweilen erheblich grösser sind als die mit Hilfe der elektrischen Schwingung beobachteten.

Die Starksche Methode wurde später von W. SCHMIDT in Verbindung mit der von P. DRUDE<sup>3)</sup> angegebenen Anordnung unter sehr schneller elektrischer Schwingung, der die Wellenlänge von 75 cm entspricht, zur Beobachtung der Dielektrizitätskonstanten von ausgedehnten Mineralproben benutzt. Die bis jetzt von Mineralien berichteten Werte sind grossenteils seinen Versuchsergebnissen entnommen. Auf dieselbe Weise hat der Verfasser<sup>4)</sup> einige Messungen der Dielektrizitätskonstanten insbesondere von isomorphen Mineralien wie Plagioklas und Zinkblende vorgenommen. Da die Versuche jedoch mit einer stark gedämpften Schwingung ausgeführt wurden, war die Beobachtung von einigen Schwierigkeiten begleitet. Die gegenwärtigen Versuche gründen sich auf die Drudeschen Methode, doch werden sie mit ungedämpfter Schwingung und bei einer bestimmten geeigneten Temperatur unternommen, worüber nachfolgend eine ausführliche Beschreibung gegeben ist.

### (A) Versuchsanordnung

#### (1) Erzeugung der elektrischen Schwingung

Zur Erzeugung der elektrischen Schwingung wurde eine tripode Vakuumröhre verwendet und zwar bedienten wir uns mit Erfolg der unter dem

1) H. STARK, Wied. Ann., **60**, 629 (1897).

2) TH. LIEBISCH und H. RUBENS, Berlin Sitzber., 198 und 876 (1915); 211 (1921).

3) P. DRUDE, Z. phy. Chem., **33**, 282 (1897).

4) J. TAKUBO, loc. cit.

Namen US-6 B bekannten Röhre, welche von der Nippon Funkentelegraphie und Funkentelephon Gesellschaft insbesondere zur Erzeugung solcher Ultrakurzwellen hergestellt wird. Die Schwingungsintensität ist bekanntlich von dem Fadenstrom, der Gitterspannung und Anodenspannung abhängig. Die befriedigendsten Bedingungen, unter welchen die Schwingung mit einem bestimmten Fadenstrom am stärksten erregt wird, werden in folgenden Weise gefunden.

In bezug auf die Gitterspannung hat der Verfasser folgenden Versuch unternommen: die Ablenkung von dem Galvanometer wird je nach dem Anstieg der Gitterspannung nacheinander abgelesen und so die Gitterspannung, bei welcher sich die maximale Ablenkung des Galvanometers zeigt, ausgesucht, indem die Anodenspannung und der Fadenstrom unveränderlich beibehalten werden. Die dadurch erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt und zugleich in Abb. 1 anschaulich wiedergegeben, wo  $E_g$  die Gitterspannung,  $I_g$  den Gitterstrom und  $I_a$  den Anodenstrom darstellen.

Wie man in Abb. 1 sieht, weist der Emissionsstrom mit bis auf 25 Volt wachsender Gitterspannung eine schnelle Zunahme auf und ändert sich dann weiter mit langsamen Anstieg, während die Ablenkung vom Galvanometer einen maximalen Wert bei der Gitterspannung von 92 Volt zeigt, so dass den gesamte Verlauf in bezug auf diese Stelle symmetrisch erscheint. Um

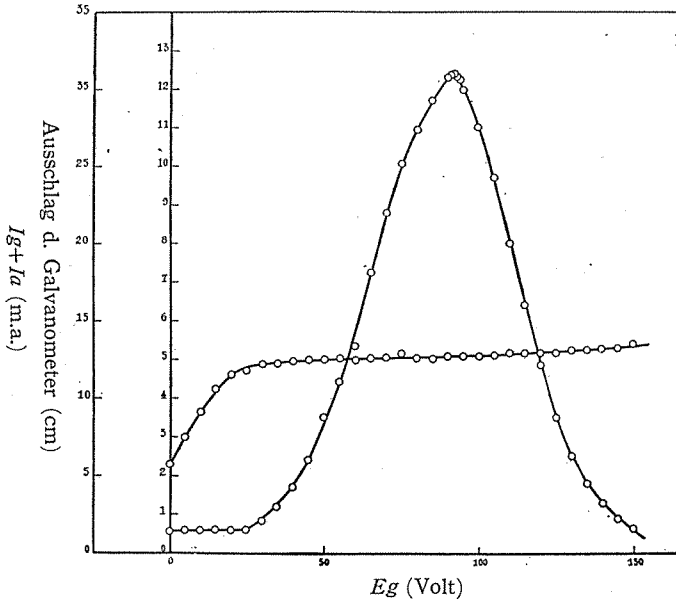
Tabelle 1

Fadenstrom: 0.85 Amp. Anodenspannung: -5.0 Volt.

$E_g$ (Volt)	$I_g+I_a$ (m.a.)	Ausschlag d. Galvano- meters	$E_g$ (Volt)	$I_g+I_a$ (m.a.)	Ausschlag d. Galvano- meters
0	5.7	0.61	90	12.7	12.30
5	7.5	„	91	—	12.36
10	9.1	„	92	—	12.40
15	10.6	„	93	—	12.32
20	11.5	„	94	—	12.23
25	11.8	„	95	12.7	11.97
30	12.2	0.86	100	„	11.00
35	„	1.20	105	12.8	9.70
40	12.4	1.71	110	12.9	8.00
45	12.5	2.41	115	„	6.40
50	„	3.45	120	12.9	4.85
55	12.6	4.42	125	„	3.55
60.4	12.4	5.63	130	13.1	2.52
65	12.6	7.22	135	„	1.80
70	12.6	8.77	140	13.2	1.30
75	12.9	10.06	145	„	0.92
80	12.6	10.94	150	13.5	0.66
85	12.5	11.70			

Abb. 1

Fadenstrom: 0.85 Amp. Anodenspannung: -5.0 Volt.

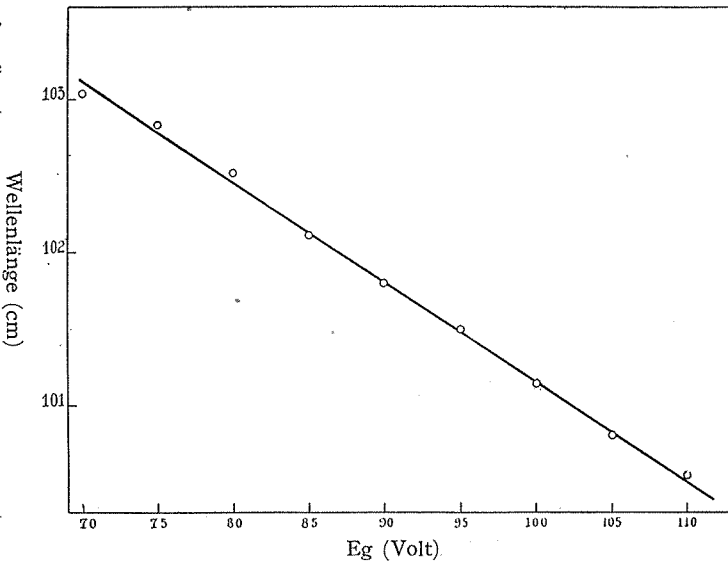


die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Gitterspannung zu erkennen, wurde ein Versuch zur Bestimmung der Wellenlänge nach demselben Verfahren ausgeführt. Danach nimmt die Wellenlänge, wie in Abb. 2 gezeigt ist, mit dem Wachsen der Gitterspannung fast in linearer Weise ab, so dass ihre Änderung in Zusammenhang mit derjenigen der Gitterspannung 0.64 cm

Abb. 2

Tabelle 2

$E_g$ (Volt)	Wellenlänge (cm)
70	103.10
75	102.84
80	102.52
85	102.12
90	101.80
95	101.50
100	101.14
105	100.80
110	100.54

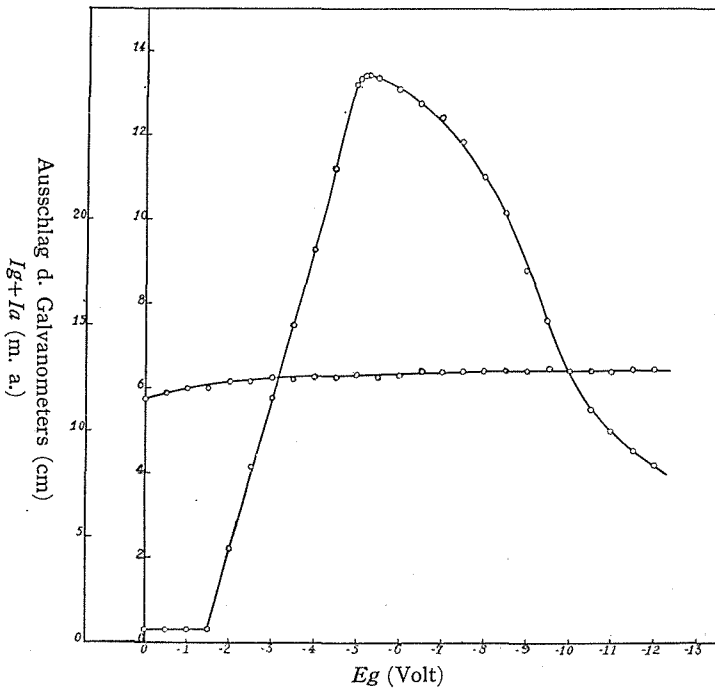


pro Volt betrug. Da die Gitterspannung auf  $\pm 0.1$  Volt eingestellt wird, kann man hierdurch die Wellenlänge mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.006$  cm bestimmen.

Tabelle 3  
Fadenstrom : 0.85 Amp. Gitterspannung : 92 Volt.

$E_a$ (Volt)	$I_g + I_a$ (m.a.)	Ausschlag d. Galvano- meters	$E_a$ (Volt)	$I_g + I_a$ (m.a.)	Ausschlag d. Galvano- meters
0	11.5	0.30	- 5.5	12.5	13.36
- 0.5	11.9	„	- 6.0	12.6	13.10
- 1.0	12.0	„	- 6.5	12.8	12.75
- 1.5	„	0.32	- 7.0	„	12.42
- 2.0	12.3	2.22	- 7.5	„	11.85
- 2.5	„	4.14	- 8.0	„	11.00
- 3.0	12.5	5.77	- 8.5	„	10.14
- 3.5	12.4	7.50	- 9.0	„	8.80
- 4.0	12.5	9.30	- 9.5	12.9	7.58
- 4.5	„	11.20	-10.0	12.8	6.40
- 5.0	12.6	12.22	-10.5	„	5.50
- 5.1	—	13.33	-11.0	„	5.00
-	—	13.40	-11.5	12.9	4.52
- 5.3	—	13.42	-12.0	13.2	4.20
- 5.4	—	—			

Abb. 3





Um die günstigste Anodenspannung festzustellen, hat der Verfasser ebenso wie vorstehend die Ablenkung von dem Galvanometer je nach der Abnahme der Anodenspannung bis auf  $-12$  Volt beobachtet und so eine der maximalen Ablenkung entsprechende Spannung ausgesucht, wobei die Gitterspannung und der Fadenstrom unverändert bleiben. Die so erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben nebst einer anschaulichen diagrammatischen Darstellung in Abb. 3, wo  $Ea$  die Anodenspannung darstellt.

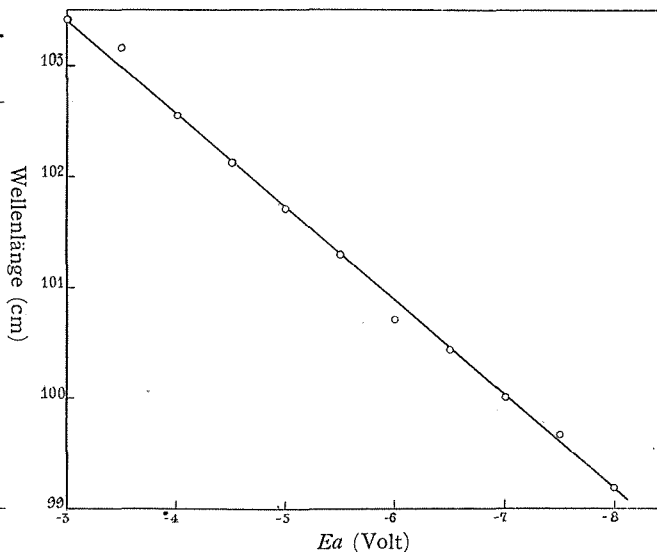
Der Emissionsstrom zeigt in diesem Falle eine sehr langsame Erhöhung, wie man in Abb. 3 sieht, während die Ablenkung des Galvanometers mit der Verringerung von  $-1.5$  bis  $-5.3$  Volt fast in linearer Weise zunimmt und dann in geringer Geschwindigkeit abnimmt und ihren Maximalwert bei  $-5.3$  Volt erreicht. Bei einer Anodenspannung höher als  $-1.5$  Volt wird keine elektrische Schwingung erzeugt.

Mittels derselben Veränderung der Anodenspannung hat der Verfasser die entsprechende Wellenlänge bestimmt. Den hierdurch erhaltenen Resultaten nach variierte diese wie bei obigem Versuche in fast linearer Weise absteigend, wonach die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Anodenspannung  $0.87$  cm pro Volt beträgt. Da die Anodenspannung auf  $\pm 0.01$  Volt eingestellt wird, kann man hierdurch die Wellenlänge mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.008$  cm bestimmen.

Tabelle 4

$Ea$ (Volt)	Wellenlänge (cm)
-3.0	103.42
-3.5	103.16
-4.0	102.54
-4.5	102.12
-5.0	101.70
-5.5	101.28
-6.0	100.70
-6.5	100.44
-7.0	100.00
-7.5	99.66
-8.0	99.18

Abb. 4



In bezug auf den Fadenstrom hat der Verfasser den Gitter sowie Anodenstrom je nach der Steigerung des Fadenstroms gemessen. Die Versuchsergebnisse finden sich in der nachfolgenden Tabelle, die diagrammatische Beziehung ist in Abb. 5 dargestellt, wo  $If$  den Fadenstrom darstellt.

Es zeigt sich, dass bei dem Anwachsen des Fadenstroms bis auf  $0.5$  Amp

Tabelle 5

Gitterspannung: 92 Volt. Anodenspannung: -5.3 Volt.

$I_f$ (Amp.)	$I_g$ (m.a.)	$I_a$ (m.a.)	$I_f$ (Amp.)	$I_g$ (m.a.)	$I_a$ (m.a.)
0.40	0	0	0.80	5.2	1.80
0.45	0	0	0.85	8.5	3.22
0.50	0.02	0	0.90	16.5	5.62
0.55	0.07	0	0.92	21.2	7.02
0.60	0.25	0	0.94	28.5	8.35
0.65	0.75	0	0.96	35.1	9.46
0.70	1.90	0.50	0.98	45.2	10.4
0.75	3.50	0.90	1.00	60.4	8.13

weder der Gitter- noch der Anodenstrom nachweisbar waren, beide dann jedoch bei weiterer Verstärkung merklich anstiegen und dass der Anodenstrom, wenn der Fadenstrom 0.98 Amp. betrug, seinen maximalen Wert zeigt. Mittels desselben Verfahrens hat der Verfasser die Änderung der entsprechenden Wellenlänge bestimmt. Die Resultate sind in folgender Tabelle zusammengefasst und in Abb. 6 schematisch dargestellt. Da die Abhängigkeit der Wellenlänge nur von dem Fadenstrom 3.67 cm pro Amp. betrug und eine Regulierung des Fadenstroms bis auf  $\pm 0.001$  Amp. möglich ist, kann man hierdurch die Wellenlänge mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.004$  cm bestimmen.

Die Messung der Wellenlänge lässt sich unmittelbar in der Weise vornehmen, dass wir die Ablenkung des Galvanometers entsprechend der Verschiebung der auf Lecheldrahten stehenden Metallbrücke beobachten und zugleich die Stellung, wo die Ablenkung den maximalen Wert zeigt, auf der Skala ablesen. Dann entspricht die Differenz von zwei nebeneinander befindlichen Ablesungen der halben Wellenlänge, wie in Abb. 7 ersichtlich ist.

Abb. 5

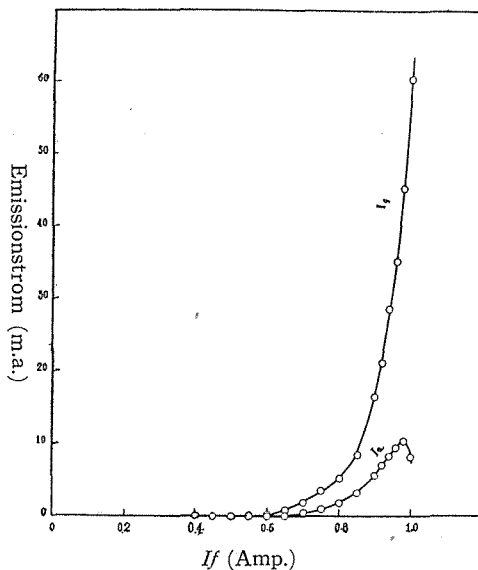


Tabelle 6

$I_f$ (Amp.)	Wellenlänge (cm)
0.80	101.65
0.81	101.63
0.82	101.61
0.83	101.55
0.84	101.48
0.85	101.43
0.86	101.43

Abb. 6

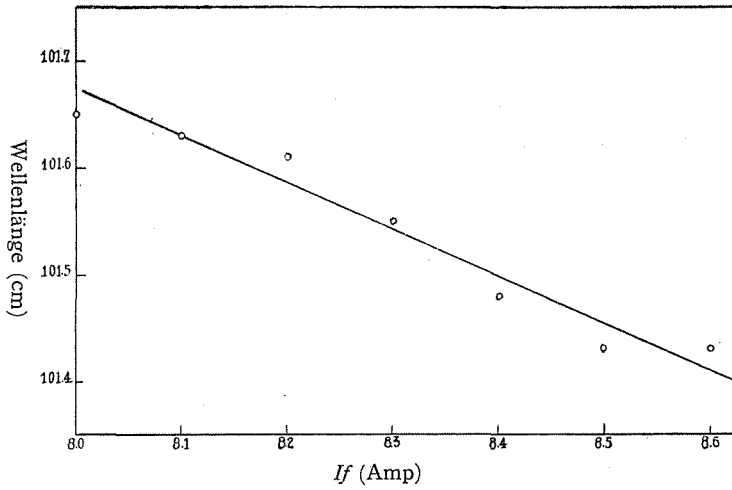
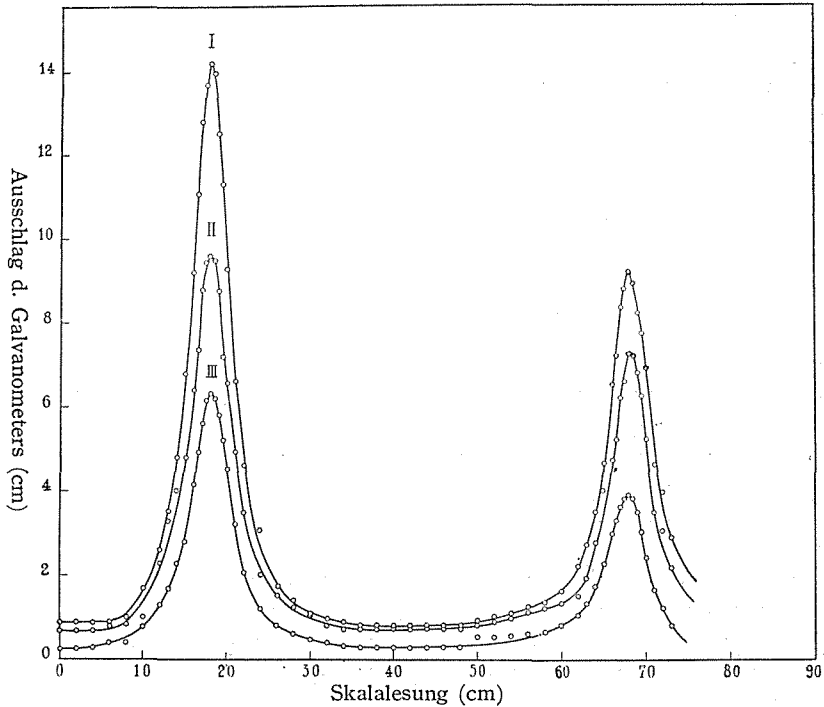


Abb. 7 Resonanzkurve

I: Fadenstrom 0.75 Amp. II: Fadenstrom 0.80 Amp. III: Fadenstrom 0.85 Amp.



Aus oben wiedergegebenen Versuchsergebnisse schloss man, dass die stärksten elektrischen Schwingungen bei einer Gitterspannung von 92 Volt

und Anodenspannung von  $-5.3$  Volt erzeugt wurden und dass sich die Wellenlänge durch sorgfältige Regulierung der Gitter- sowie Anodenspannung mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.008$  cm bestimmen lässt.

Die sämtlichen nachfolgenden Versuche wurden mit eben dieser Gitter- und Anodenspannung und einem Fadenstrom von  $0.85$  Amp., also mit einer der Wellenlänge von  $101.43$  cm entsprechenden elektrischen Schwingung ausgeführt. Letztere stimmt mit dem nach der BARKHAUSEN und KURZSCHEN<sup>1)</sup> Formel berechneten Wert ungefähr überein, wie nachfolgend gezeigt wird, wo  $dg$  und  $da$  den Durchmesser der Gitter und der Anode,  $Eg$  und  $Ea$  ferner die Gitter- und Anodenspannung bezeichnen.

$$\lambda = \frac{1000}{\sqrt{Eg}} \cdot \frac{da \cdot Eg - dg \cdot Ea}{Eg - Ea} = 118.31 \text{ cm}$$

(2) Darstellung des dielektrischen Flüssigkeitsgemisches

Eine Reihe von Flüssigkeitsgemischen wird aus Azeton und Benzol hergestellt und die Dielektrizitätskonstante bei  $25^\circ \pm 0.1^\circ\text{C}$  bestimmt. Die Resultate sind in folgender Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 7  
Wellenlänge:  $101.43$  cm

Azetongehalt (%)	D-konstante bei $25^\circ\text{C}$	Azetongehalt (%)	D-konstante bei $25^\circ\text{C}$
0	2.25	35.0	7.42
5.3	2.91	40.0	8.23
9.8	3.49	45.0	9.09
15.0	4.23	49.5	9.90
20.0	4.98	60.0	11.87
25.0	5.78	69.4	13.85
31.0	6.73		

(3) Versuchsapparat

Den für diese Versuche benutzten Apparat stellt Abb. 8 und Abb. 9 dar. Zur Messung der Dielektrizitätskonstante wurde die sogenannte Drudesche Resonanzmethode angewandt, bei der die Kapazitätsänderung eines mit dem zu untersuchenden Mineral gefüllten Kondensators durch Resonanzbestimmung an einem Lechelschen Drahtsystem abgelesen wird. Während jedoch bei DRUDE und SCHMIDT gedämpfte Schwingungen verwendet werden, wurde die vorliegende Untersuchung zur Erhöhung der Genauigkeit mit ungedämpften Schwingungen gearbeitet. Die Erzeugung der bestimmten elektrischen Schwingung erfolgt nach BARKHAUSEN und KURZ mit einer zylindrisch gebauten Vakuumröhre ( $R$ ) der Nippon Funkentelegraphie und Funkentelephon Gesellschaft.

1) H. BARKHAUSEN und K. KURZ, Phy. Zeit., 91, 1 (1920).

Abb. 8

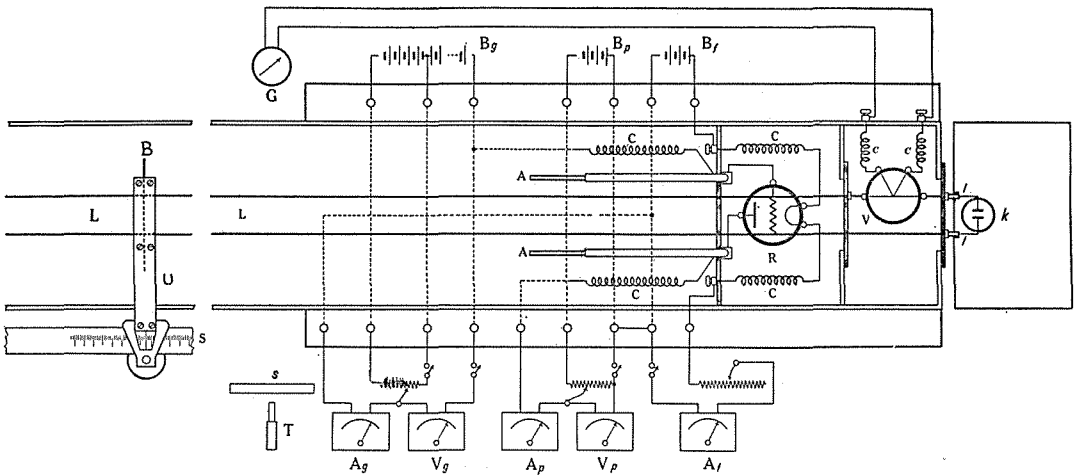
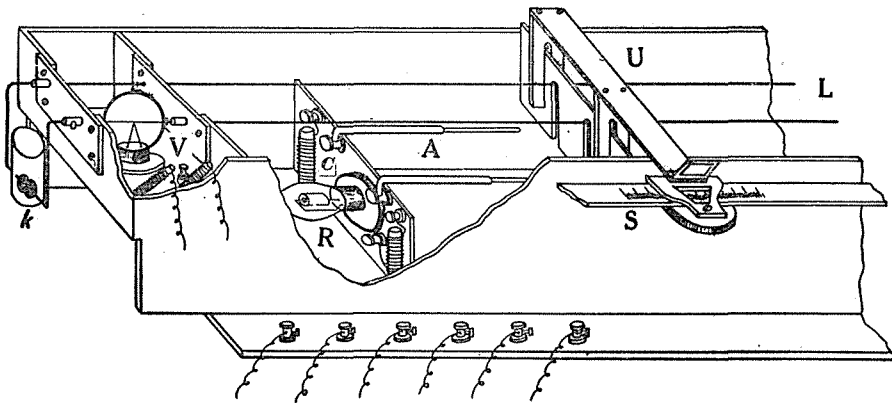


Abb. 9



Die Kopplung des Schwingungserzeugers mit dem Lecher-System geschah durch zwei parallele horizontale Antennendrähte ( $A$ ), die mit dem Gitter und der Anode der Röhre verbunden waren, deren Länge etwa gleich einer Viertelwellenlänge der elektrischen Schwingung gemacht wurden. Das Lecher-System bestand im wesentlichen aus zwei in 2 cm Abstand parallel zueinander gezogenen Brassdrähten ( $L$ ) von 0.2 cm Dicke, die sich in etwa 5 cm Abstand oben über den Antennen befinden.

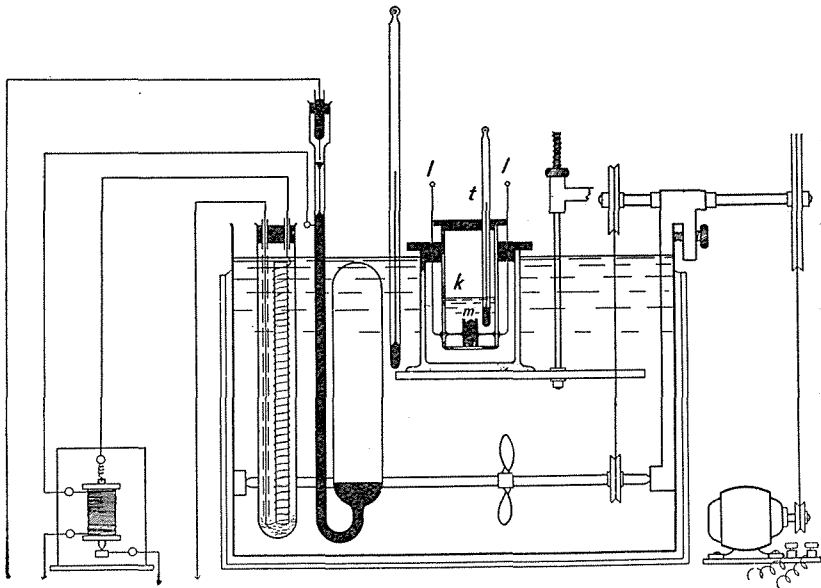
Als Detektor wurde ein Vakuum-thermoelement mit einem Galvanometer benutzt. Das unter dem Namen JS-15 bekannte Element der Tōkyō elektrische Gesellschaft leistete dafür vorzügliche Dienste. Es wurde in den Resonanzkreis eingeschaltet und mit dem Galvanometer ( $G$ ) mittels der Dresselspule ( $C$ ) verbunden. Die Schwingungsintensität wird als Ablenkung

des Galvanometers direkt durch das Fernrohr (*T*) beobachtet. Ein Kondensator (*k*), der mit zwei parallelseitig stehenden kreisförmigen Platinplättchen umbaut ist, welche an dem Glaskölbchen fest eingeschmolzen sind, ist mittels eines ziemlich starken Platinndrahtes mit der Lecher bei (*i*) verknüpft. Die auf der Lecher stehende Metallbrücke (*B*) lässt man durch einen passenden Apparat (*U*) in sehr glatter Weise ausschlagen, die durch den Ausschlag angegebenen Werte kann man dann mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.1$  mm auf einer neben dem Lecherdraht angebrachten Skala ablesen.

Der Fadenstrom wird der Akkumulatorenbatterie (*Bf*) entnommen, seine Stärke wird während des Betriebs genau konstant gehalten durch Verwendung eines Regulierwiderstands und eines Präzisionsammeters in Fadenstromkreis. Die Gitter- und Anodenspannung, die von Akkumulatorenbatterie (*Bg*) und (*Ba*) geliefert wurden, werden während der Messung genau konstant gehalten durch Verwendung der Regulierwiderstände und der Voltmeter (*Vg*) und (*Va*), eingeschaltet in Gitter- und Anodenkreis. Die Verbindung des positiven Pols des Akkumulators *Bg* mit dem Gitterpol und die des negativen Pols des Akkumulators *Ba* mit dem Anodenpol der Röhre sind mittels der Dresselspulen (*C*) hergestellt. Ammeter (*Ag*) und (*Aa*) sind zur Messung des Gitter- und Anodenstroms in Gitter- und Anodenkreis eingeschaltet.

Die Apparatur war gegen den Beobachter mittels Drahtnetzen, durch welche nur die Schrauben hinausragten, elektrostatisch geschützt. Um diese Versuche bei einer bestimmten Temperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  auszuführen, lässt man den Kondensator vor jeder Messung im Thermostaten (s. Abb. 10) stehen.

Abb. 10



Nach mindestens 30 Minuten langem Stehenlassen erhält man eine konstante Temperatur. Die Temperatur wurde von einem Thermometer ( $t$ ), das an dem Kristall lag, abgelesen: bei der eigentlichen Messung muss man dieses aus der Flüssigkeit hinausziehen lassen.

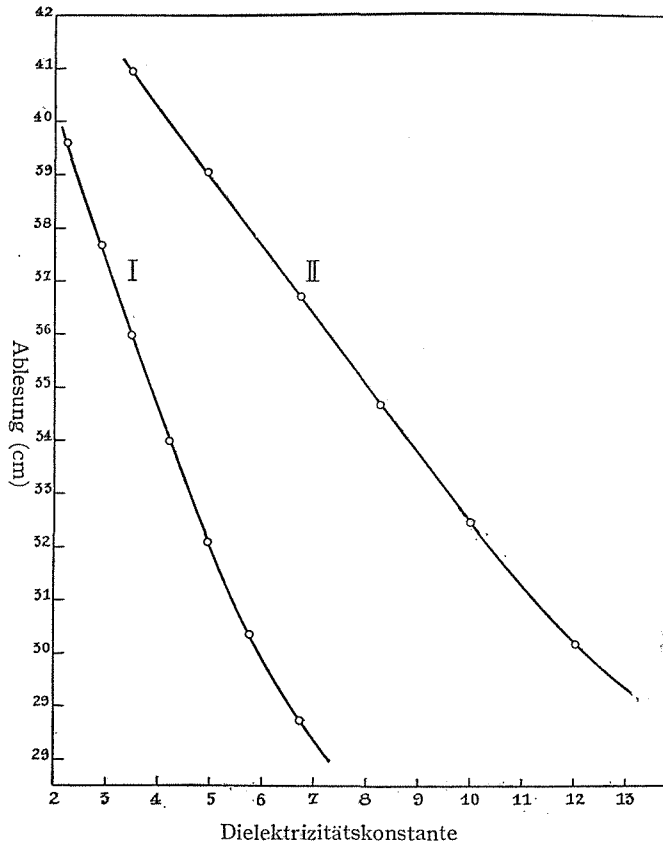
#### (4) Messmethode

Die Versuchsoperation besteht darin, dass man die Stellung der Metallbrücke, wo die Ablenkung des Galvanometers ihren maximalen Wert zeigt, zuerst nach Füllung allein mit dem Flüssigkeitsgemisch und dann nach dem Eintauchen der zu untersuchenden Mineralplatte in diesem Flüssigkeitsgemisch auf der Skala abliest. Nach je einer Messung wird der Kondensator mit Äther sorgfältig gewaschen und gut getrocknet. Auf genau dieselbe Weise wurde sie nacheinander mit allen anderen Flüssigkeitsgemischen verfahren. Man erhält so, wenn man die Dielektrizitätskonstante des Flüssigkeitsgemisches als Abszisse und die Skalaablesung der Brücke als Ordinate betrachtet, zwei Kurven, die sich in einem Punkte schneiden müssen. Die

Abb. 11

Tabelle 8

D. konstante	Kondensator	
	I	II
2.25	39.60	—
2.91	37.68	—
3.49	35.98	40.95
4.23	34.00	—
4.98	32.10	39.07
5.78	30.37	—
6.73	28.72	36.72
8.23	—	34.70
9.90	—	32.48
11.87	—	30.13
13.85	—	29.12



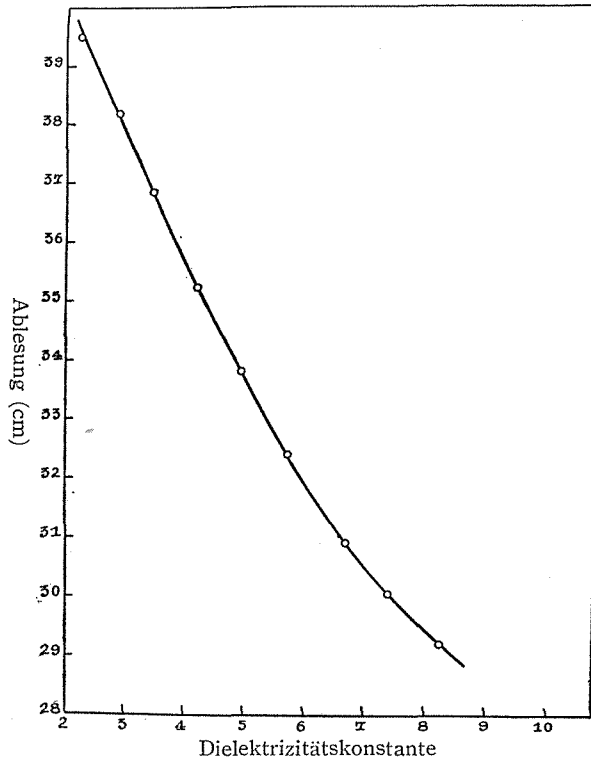
dem Schnittpunkt entsprechende Abszisse ist nichts anderes als die Dielektrizitätskonstante des zu untersuchenden Minerals in dem besonderen Falle, in welchem sich die Kraftlinie senkrecht zur Platte befindet. Für die Messung erweisen sich hauptsächlich zwei Arten von Kondensatoren als vorteilhaft: die eine aus Platinumplättchen bestehend, deren Flächeninhalt etwa 0.2 qcm und gegenseitige Entfernung 0.2 cm war, und eine andere aus Plättchen, wo der Flächeninhalt 0.3 qcm und die gegenseitige Entfernung 0.15 cm betrug. In der Hauptsache ist der erstere für die Messungen von Dielektrizitätskonstanten nicht mehr als 6 und der letztere für die von Konstanten mehr als 6 benutzbar.

Die Versuche wurden an allein mit Flüssigkeitsgemisch gefüllten Kondensatoren ausgeführt. Die Resultate sind in folgender Tabelle wiedergegeben, die Beziehung zwischen den Dielektrizitätskonstanten und der Ableseung ist in Abb. 11 dargestellt.

Das zu untersuchende Mineral wurde möglichst von grösseren Stücken scheibenweise abgeschnitten und dann bis zu einer passenden Dicke abgeschliffen. Bei der Herstellung der Mineralplatte wurde darauf Bedacht genommen, dass ihren Flächeninhalt nicht grösser als der der Kondensatorplättchen war und sie Zwischenraum der Kondensatorplättchen möglichst genau ausfüllte.

Bei Ausführung der Versuche mit pulverisierten Mineralproben wählte man zuerst eine von Verwitterungsprodukten oder von irgendwelchen Beimengungen vollkommen befreite Probe und pulverisierte sie fein. In unserem Falle wurde die Probe bis zu einer Grösse von 120 Meshen pulverisiert. Die betreffende Messung wurde in genau derselben Weise wie bei dem Schritte ausgeführt. Jedesmal wurde die Flüssigkeit nach der Messung ausgegossen, das Gefäss sodann mit Äther gründlich gewaschen

Abb. 12





und zuletzt sorgfältig getrocknet. Nach völliger Trocknung konnte man mit derselben Probe die nachfolgende Beobachtung vornehmen.

Als besonders zweckmässig für diesen Versuch benutzte der Verfasser einen Kondensator, dessen Kondensatorplättchen Flächeninhalt von 0.95 qcm und gegenseitige Entfernung von 0.3 cm aufwies. Betreffs der Beziehung zwischen der Skalaablesung und der Dielektrizitätskonstanten der Flüssigkeit ergab sich die diagrammatische Darstellung in Abb. 12.

### (B) Versuchsergebnisse

#### (1) Berechnung der Hauptdielektrizitätskonstanten

Bei Bestimmung der Hauptdielektrizitätskonstanten von anisotropen Mineralien ist es nötig, dass das Mineral zu der dielektrischen Achse vollkommen senkrecht geschnitten wird, d.h. dass die Flächennormale mit der dielektrischen Achse übereinstimmt. Meist aber finden wir an unserem Schnitte eine leichte Abweichung von dieser Achse. Sind nun  $\epsilon_I$ ,  $\epsilon_{II}$  und  $\epsilon_{III}$  drei Hauptdielektrizitätskonstanten und  $\mu$ ,  $\nu$  und  $\lambda$  die Neigungswinkel der Flächennormalen in bezug auf die Hauptdielektrizitätskonstante, so lässt sich die in unserem Versuche nachgewiesene Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  durch folgende Formel ausdrücken.

$$\epsilon = \epsilon_I \cos^2 \mu + \epsilon_{II} \cos^2 \nu + \epsilon_{III} \cos^2 \lambda$$

Hat man nun drei verschiedene Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  und  $\epsilon_3$  bei drei verschiedenen Plättchen  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  und ferner die Neigungswinkel der Flächennormalen betreffender Plättchen  $(\mu_1 \nu_1 \lambda_1)$ ,  $(\mu_2 \nu_2 \lambda_2)$  und  $(\mu_3 \nu_3 \lambda_3)$  festgestellt, so kann man sogleich die Hauptdielektrizitätskonstanten aus folgenden Formeln berechnen

$$P_1 : \epsilon_1 = \epsilon_I \cos^2 \mu_1 + \epsilon_{II} \cos^2 \nu_1 + \epsilon_{III} \cos^2 \lambda_1$$

$$P_2 : \epsilon_2 = \epsilon_I \cos^2 \mu_2 + \epsilon_{II} \cos^2 \nu_2 + \epsilon_{III} \cos^2 \lambda_2$$

$$P_3 : \epsilon_3 = \epsilon_I \cos^2 \mu_3 + \epsilon_{II} \cos^2 \nu_3 + \epsilon_{III} \cos^2 \lambda_3$$

Die an den neun Barytproben von Trintington beobachteten Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, die stereographische Darstellung der Flächennormalen ist in Abb. 13 gezeigt, wobei die Neigungswinkel  $\mu$ ,  $\nu$  und  $\lambda$  mit Hilfe des Drehtischmikroskops bestimmt wurden.

Tabelle 9  
Baryt von Trintington, England.

Nr.	D-konstante	$\mu(\wedge n_p)$	$\nu(\wedge n_m)$	$\lambda(\wedge n_g)$
1	11.25	86	29.7	60.5
2	7.90	85	86	6.5
3	8.34	86	72	18.5
4	7.87	84	86.5	7.2
5	12.04	81	14	79
6	9.77	89	53	37.1
7	7.85	85.5	82.3	9
8	12.05	84	12.8	79
9	7.85	0	90	90



Berechnet man nun  $\sum \cos^4 \mu$ ,  $\sum \cos^4 \lambda$ ,  $\sum \cos^2 \mu \cos^2 \lambda$ ,  $\sum \cos^2 \mu \cos^2 \nu$ ,  $\sum \cos^4 \nu$  und  $\sum \cos^2 \nu \cos^2 \lambda$  nach den vorstehenden Versuchsergebnissen so kann man leicht die Hauptdielektrizitätskonstanten  $\epsilon_I$ ,  $\epsilon_{II}$  und  $\epsilon_{III}$  gemäss der folgenden Formel bestimmen.

$$(1) \quad \epsilon_I \sum \cos^4 \mu + \epsilon_{III} \sum \cos^2 \mu \cos^2 \nu + \epsilon_{II} \sum \cos^2 \mu \cos^2 \lambda = \sum \epsilon \cdot \cos^2 \mu$$

$$(2) \quad \epsilon_I \sum \cos^2 \mu \cos^2 \nu + \epsilon_{III} \sum \cos^4 \nu + \epsilon_{II} \sum \cos^2 \nu \cos^2 \lambda = \sum \epsilon \cdot \cos^2 \nu$$

$$(3) \quad \epsilon_I \sum \cos^2 \mu \cos^2 \lambda + \epsilon_{III} \sum \cos^2 \nu \cos^2 \lambda + \epsilon_{II} \sum \cos^4 \lambda = \sum \epsilon \cdot \cos^2 \lambda$$

Die hierdurch erhaltenen Resultate sind folgende :

$$\epsilon_I 1.0010 + \epsilon_{II} 0.0379 + \epsilon_{III} 0.0312 = 8.5697$$

$$\epsilon_I 0.0379 + \epsilon_{II} 2.5007 + \epsilon_{III} 0.5937 = 35.8269$$

$$\epsilon_I 0.0312 + \epsilon_{II} 0.5937 + \epsilon_{III} 4.1690 = 40.5146$$

$$\epsilon_I = 7.85 \pm 0.09$$

$$\epsilon_{II} = 12.33 \pm 0.05$$

$$\epsilon_{III} = 7.90 \pm 0.05$$

Bei einem Körper, dessen Kristalle dem tetragonalen, hexagonalen oder rhombischen Kristallsystem angehören, stimmt die Richtung der Hauptdielektrizitätskonstanten mit derjenigen der Hauptbrechungsindexe sowie mit der kristallographischen Achse überein. Von den monoklinen Mineralien stimmt jedoch das eine mit der kristallographischen Symmetrieachse überein, während zwei andere sowohl von der Richtung des Hauptbrechungsindex wie auch von der kristallographischen Achse unabhängig sind. In genau derselben Weise wie im Falle von Baryt hat der Verfasser einen Versuch mit Epidotkristall von Salzbachtal in Tirol unternommen. Die Proben sind derart hergestellt, dass die Platte zur Symmetrieachse fast parallel ist und sie sich in bezug auf die Vertikalachse verschiedene Neigungswinkel ergeben. Die Resultate sind in folgender Tabelle wiedergegeben; den

Tabelle 10  
Epidot von Salzbachtal in Tirol

Nr.	D-konstante bei 25°C	$\mu(\wedge n_p)$	$\nu(\wedge n_m)$	$\lambda(\wedge n_g)$
1	9.46	34	90	56
2	9.60	37	88	53
3	9.66	40	89.5	50
4	10.02	51.5	88.5	38.5
5	10.01	51	90	39
6	10.01	51	87.5	39
7	10.01	50.5	89.5	39.5
8	10.18	56.5	84	35
9	10.27	66	84	25.5
10	10.00	70.5	88	19.5
11	10.13	70.5	76	24.3
12	9.92	79	89	11
13	10.03	85	86	6.6
14	15.40	90	0	90

Flächenpole jedes Plättchens sind stereographisch eingetragen, wie man in Abb. 15 sieht.

Da die mit Nr. 14 bezeichnete Probe war eigentlich zu der Symmetrieachse fast senkrecht geschnitten, ermochte man darum an ihr unter dem Mikroskop leicht folgende Beobachtungen zu machen

$$\beta = 66^{\circ}40'$$

$$c \wedge n_p = 4^{\circ}25'$$

Wir nehmen hier eine Ebene, welche zu der Kristallfläche (010) parallel ist, so dass die Hauptbrechungsachse der  $n_p$  und  $n_g$

Abb. 15

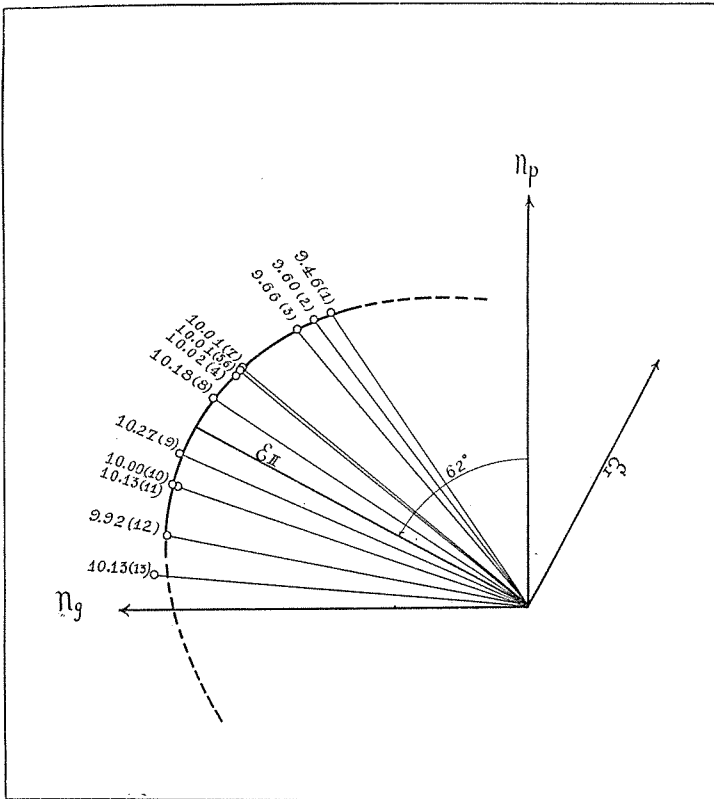
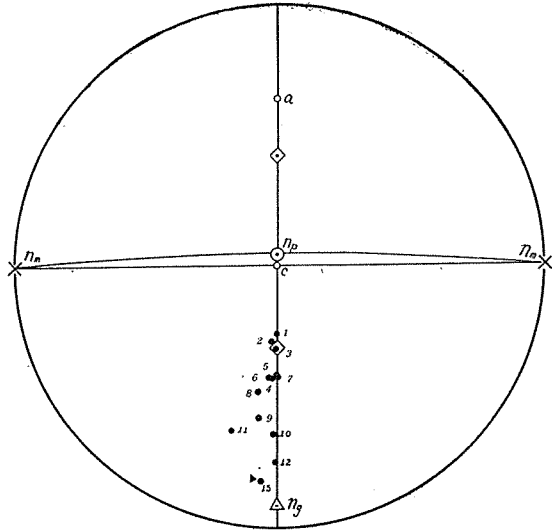
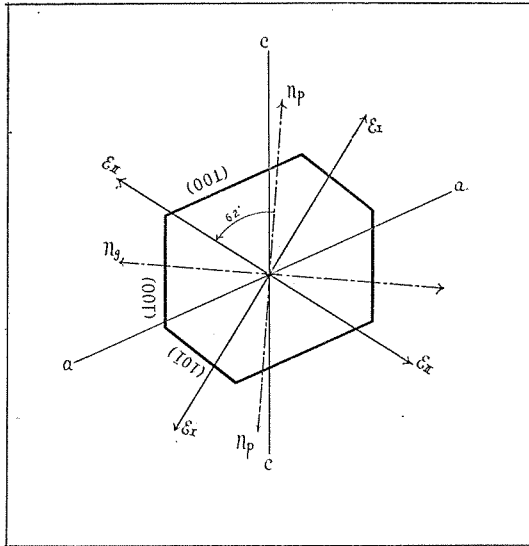


Abb. 16

Abb. 17



den war, den grössten Wert  $\epsilon_{III}$  zeigt. Danach weicht die Richtung  $\epsilon_I$  von der Hauptbrechungsachse  $n_p$  um  $28^\circ$  ab, wie in Abb. 16 und Abb. 17 anschaulich gezeigt ist.

Aus diesen Beobachtungsergebnissen hat der Verfasser in der vorher erwähnten Weise die Hauptdielektrizitätskonstanten des Epidot berechnet.

$$\epsilon_I 10.9744 + \epsilon_{II} 0.7844 + \epsilon_{III} 0.8554 = 118.8517$$

$$\epsilon_I 0.0844 + \epsilon_{II} 1.0036 + \epsilon_{III} 0.0024 = 16.3195$$

$$\epsilon_I 0.8654 + \epsilon_{II} 0.0024 + \epsilon_{III} 0.1369 = 9.7361$$

$$\epsilon_I = 7.62 \pm 0.12$$

$$\epsilon_{II} = 10.11 \pm 0.04$$

$$\epsilon_{III} = 15.39 \pm 0.10$$

Für die Dielektrizitätskonstante eines quasiisotropen Vielkristalls, d.h. eines Aggregats aus Kristallen willkürlicher Form mit allen möglichen Achsenorientierungen regellos zusammengesetzt, war die folgende Formel<sup>1)</sup> angenommen worden:

$$\epsilon = \frac{1}{3}(\epsilon_I + \epsilon_{II} + \epsilon_{III})$$

Diese Formel ist aber nicht exakt gültig. Vor kurzem hat D. A. G. BRUGGEMAN<sup>2)</sup> die Formeln für die Dielektrizitätskonstante des quasiisotropen Aggregats, die aus kugelförmigen Kristallen aller möglichen Achsenorientierungen besteht, abgeleitet, wonach für die optisch zweiachsigen Kristalle die Formel gilt:

$$4\epsilon^3 - \epsilon(\epsilon_{II}\epsilon_{III} + \epsilon_{III}\epsilon_I + \epsilon_I\epsilon_{II}) - \epsilon_I\epsilon_{II}\epsilon_{III} = 0$$

und für die optisch einachsigen Kristalle sehr einfach diese Formel wie folgt:

1) W. SCHMIDT, loc. cit.

2) D. A. G. BRUGGEMAN, Ann. Phys., 25 645 (1936).

darauf liegen. Von irgend einem Punkt, tragen wir eine Strecke ab, die in obigem Winkel zu  $n_p$  geneigt ist und deren Länge in bestimmter Masse der soeben beobachteten Dielektrizitätskonstanten entspricht. So ist die den Endpunkt passierende Kurve, wie im Falle von Baryt, anscheinend eine Ellipse, deren zwei Achsen die Hauptdielektrizitätskonstanten  $\epsilon_I$  und  $\epsilon_{II}$  darstellen müssen, da die Probe Nr. 14, welche fast senkrecht zur Symmetrieachse geschnitten worden

$$\epsilon = \frac{1}{4} [\epsilon_{\perp c} + \sqrt{\epsilon_{\perp c}(8\epsilon_{\perp c} + \epsilon_{\perp c})}]$$

Wendet man nun diese Formeln auf die Dielektrizitätskonstante von pulverisierten Kristallen an, so ergeben sich die nachfolgenden Resultate, wonach wir erkennen, dass die Brüggemannsche Formel für die Dielektrizitätskonstante von pulverisierten Kristallen annähernd annehmbar ist.

Tabelle 11

$$E = \frac{1}{4} (\epsilon_{II}^{\epsilon_{III}} + \epsilon_{III}^{\epsilon_I} + \epsilon_I^{\epsilon_{II}}) + \epsilon_I^{\epsilon_{II}^{\epsilon_{III}}}$$

Nr.	Mineral	Fundort	D-konstante	
			Schliff	Pulver
1	Flussspat	Freiberg, Sachsen	6.63	6.58
2	"	Akenobe, Hyōgo Präf. Japan.	6.26	6.24
3	Zinkblende	Titibu, Yamanasi Präf. Japan.	7.90	7.89
4	Hyalit	Tateyama, Toyama Präf. Japan.	4.22	4.20

Nr.	Mineral	Fundort	D-konstante			
			Schliff		Pulver	
			$\perp c$	//c	gef.	ber.
1	Quarz	Naegi, Gihu Präf. Japan.	4.11	4.28	4.24	4.17
2	Turmalin	Ceylon	6.82	5.61	6.52	6.40
3	"	"	6.69	5.43	6.32	6.25
4	"	Isikawayama, Hukusima Präf. Japan.	6.83	5.43	6.48	6.34
5	Kalkspat	Taiō, Hukuoka Präf. Japan.	7.83	8.53	8.05	8.06
6	Apatit	Asio, Totigi Präf. Japan.	10.02	7.62	9.97	9.29

Nr.	Mineral	Fundort	D-konstante				
			Schliff			Pulver	
			//a	//b	//c	$\epsilon^3$	E
1	Topas	Naegi, Gihu Präf. Japan.	6.31	6.44	6.28	250.05	253.91
2	"	"	6.34	6.42	6.29	262.14	257.55
3	Schwefel	Perticara, Rimini, Italien	3.44	3.63	4.30	62.57	55.79
4	Aragonit	Bilin, Böhmen	6.46	9.73	7.56	500.57	486.52

Um die Berechnung der Hauptdielektrizitätskonstanten einer Mineral zu ermöglichen, bedurfte es, wie oben in der Hauptsache dargelegt wurde, bei einachsigen Mineralien zweier und bei zweiachsigen dreier Versuche an Mineralplättchen. Wenn aber diese Versuche nicht erhalten wurde, benutzte der Verfasser noch den bei dem pulverisierten Mineral festgestellten Wert, wobei die Berechnung beruht auf der erwähnten Brüggemannschen Formel.

(2) Dielektrizitätskonstanten von Mineralien

Alle vom Verfasser an verschiedenen Mineralien beobachteten Resultate

sind in der nächsten Tabelle zusammengefasst und die bisher von zahlreichen Autoren berichteten Werte hier in der Spalte für die Anmerkungen zum Vergleich zusammengestellt. Um eine Auffassung über die eigentümliche Kristallindividualität zu erhalten, wurden die Versuche an möglichst verschiedenen Proben von denselben Mineralien ausgeführt.

In dieser Tabelle sind die nach der Bruggemanschen Formel berechneten Dielektrizitätskonstanten anschaulich besonders in Klammern beigefügt.

Tabelle 12  
Wellenlänge: 101.43 cm Temperatur:  $25^{\circ} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$

Nr.	Mineral	Fundort	D-konstante	Anmerkuug
1	Granat	Wada, Nagano Präf. Japan	11.58	
2	Zinkblende	Ani-Bergwerk, Akita Präf. Japan	7.90	7.85 (W. SCHMIDT) 7.74 ( " )
3	"	Titibu, Yamanasi Präf. Japan	7.90	8.3 (TH. LIEBISCH u. H. RUBENS)
4	"	"	7.89	
5	"	Nakatatu, Hukui Präf. Japan	12.13	
6	"	Zoplin, Missouri, U. S. A.	7.90	
7	"	Claustal, Harz, Deutschland	7.88	
8	Flussspat (I)	Akenobe, Hyōgo Präf. Japan	6.26	6.80 (ROMICH u. NOWAK)
9	" (II)	"	6.24	6.80 (J. CURIE) 6.92 (H. STARK) 6.09 (F. PASCHEN)
10	"	Ikuno, Hyōgo Präf. Japan	6.28	7.36 (M. v. PISANI) 6.70 (W. SCHMIDT)
11	"	Ghongsberg, Schweiz	6.26	6.70 (TH. LIEBISCH u. H. RUBENS)
12	" (I)	Durham, England	6.26	6.08 (H. RUBENS)
13	" (II)	"	6.33	
14	" (I)	Freiberg, Sachsen	6.63	
15	" (II)	"	6.58	
16	Opal	Bodai, Isikawa Präf. Japan	7.17	4.0 (TH. LIEBISCH u. H. RUBENS)
17	"	Takarasaka, Hukusima Präf. Japan	7.43	
18	Steinsalz (I)	Huestra von Sal	5.55	5.85 (J. CURIE) 6.29 (H. STARK)
19	" (II)	"	5.55	5.60 (W. SCHMIDT) 6.1 (H. RUBENS)
20	" (III)	"	5.56	5.18 (H. RUBENS u. NICKOLS)
21	"	Stassfurt, Sachsen	5.40	
22	Analcim (I)	Seiser Alp., Tirol	5.88	6.7 (TH. LIEBISCH u. H. RUBENS)
23	" (II)	"	5.87	
24	Achat (I)	_____	4.83	

Versuche über die Dielektrizitätskonstanten einiger Mineralien usw. 117

25	„	(II)	„	(4.62)	
26	Hyalit	(I)	Tateyama, Toyama Präf., Japan	4.17	
27	„	(II)	„	4.22	
28	Chalcedon		Ogasawara-Jima Tōkyō Präf., Japan	5.48	
29	Leucit	(I)	Albanergebirge, Italien	7.08	
30	„	(II)	„	7.13	
31	„	(III)	„	7.18	
32	Kalkspat		Kamioka, Toyama Präf., Japan	$\frac{1}{c}$ 8.60 $\frac{1}{c}$ 7.88)	8.48 (J. CURIE) 8.02 (R.) 8.49 (R.)
33	„	(I)	Taiō Hukuoka Präf., Japan	$\frac{1}{c}$ 8.49 $\frac{1}{c}$ 7.87)	7.56 (FELLINGER) 8.78 (M. v. PIRANI) 8.29 (PIRANI)
34	„	(II)	„	$\frac{1}{c}$ 8.53 $\frac{1}{c}$ 7.83)	8.50 (W. SCHMIDT) 8.00 (W. SCHMIDT)
35	„		Cumberland	$\frac{1}{c}$ 8.50 $\frac{1}{c}$ 7.82)	10.1 (TH. LIEBISCH) 11.0 (u. H. RUBENS)
36	Turmalin	(I)	Isikawayama, Hukushima Präf., Japan	$\frac{1}{c}$ 6.83 $\frac{1}{c}$ 5.43)	7.13 (R. FFL- LINGER) 6.54 (R. FFL- LINGER)
37	„	(II)	„	$\frac{1}{c}$ 6.82 $\frac{1}{c}$	6.75 (W. SCHMIDT) 5.65 (W. SCHMIDT)
38	„	(I)	Ceylon	$\frac{1}{c}$ 6.68 $\frac{1}{c}$ 5.43)	7.1 (TH. LIEBISCH) 6.0 (u. H. RUBENS) 7.3 (TH. LIEBISCH) 6.2 (u. H. RUBENS)
39	„	(II)	„	$\frac{1}{c}$ 6.82 $\frac{1}{c}$ 5.61)	7.1 (TH. LIEBISCH) 6.2 (u. H. RUBENS) 6.9 (u. H. RUBENS)
40	„		Cumberland	$\frac{1}{c}$ 6.77 $\frac{1}{c}$ 5.44)	6.0 (u. H. RUBENS)
41	Dolomit	(I)	Binnental, Schweiz	$\frac{1}{c}$ 7.50 $\frac{1}{c}$ 6.15)	
42	„	(II)	„	$\frac{1}{c}$ 7.56 $\frac{1}{c}$ 6.07)	
43	Beryll	(I)	Mursinka, Ural Gebirge	$\frac{1}{c}$ 6.18 $\frac{1}{c}$ 5.67)	7.10 (J. CURIE) 6.05 (J. CURIE) 7.85 (H: STARKE) 7.44 (H: STARKE)
44	„	(II)	„	$\frac{1}{c}$ 6.17 $\frac{1}{c}$ 5.67)	7.023 (R: FEL- LINGER) 6.076 (R: FEL- LINGER)
45	„	(III)	„	$\frac{1}{c}$ (6.18) $\frac{1}{c}$ 5.67)	6.05 (W. SCHMIDT) 5.52 (W. SCHMIDT)
46	Apatit	(I)	Asio, Totigi Präf., Japan	$\frac{1}{c}$ 9.47 $\frac{1}{c}$ 7.62)	5.9 (TH. LIEBISCH) 6.0 (u. H. RUBENS) 6.0 (u. H. RUBENS) 5.8 (u. H. RUBENS)
47	„	(II)	„	$\frac{1}{c}$ 10.20 $\frac{1}{c}$ 7.62)	9.50 (W. SCHMIDT) 7.40 (W. SCHMIDT)
48	„		Kamioka, Toyama Präf., Japan	$\frac{1}{c}$ 9.48 $\frac{1}{c}$ 7.43)	10.5 (TH. LIEBISCH) 7.7 (u. H. RUBENS)
49	Quarz		Naegi, Gihu Präf., Japan	$\frac{1}{c}$ 4.10 $\frac{1}{c}$ 4.22)	4.49 (J. CURIF) 4.55 (J. CURIF)



50	"	Kinbuzan, Yamanasi Präf., Japan	$\frac{1}{c}$ 4.13 $\frac{1}{c}$ 4.28)	4.38) 4.46)(E. S. FERRY) 4.27) 4.34)( " ) 4.69)(R. FEL- 5.06) LINGER) 4.32) 4.60)(W. SCHMIDT) 4.45) 4.68)(E. MÖLLER)
51	(Bipyramidale) (I)	Cumberland	$\frac{1}{c}$ 4.09 $\frac{1}{c}$ 4.48)	
52	" (II)	"	$\frac{1}{c}$ 4.08 $\frac{1}{c}$ 4.32)	
53	Diaspor (I)	Mituisi, Okayama Präf., Japan	//a 7.70 //b 8.38 //c 7.27'	
54	" (II)	"	//a 7.71 //b 8.37 //c (7.30)	
55	Schwefel (I)	Perticara, Rimini, Italien	//a 3.44 //b 3.63 //c 4.30'	3.591 3.886)(L. BOLTZ- 4.596) MANN)
56	" (II)	"	//a 3.43 //b 3.61 //c 4.24'	3.811 3.970)( " ) 4.773'  3.581 3.856)(A. 4.66) SCHRAUT) 3.65) 3.85)(CH. BOREL) 4.66) 3.59 3.83)(W. SCHMIDT) 4.62'
57	Topas (I)	Naegi, Gihu Präf., Japan	//a 6.31 //b 6.44 //c 6.28'	6.25 6.53)(R. FEL- 6.44) LINGER)
58	" (II)	"	//a 6.34 //b 6.42 //c 6.29'	6.65 6.70)(W. SCHMIDT) 6.30 7.4 7.3)(TH. LIEBISCH 7.6) u. H. RUBENS)
59	Aragonit (I)	Bilin, Böhmen	//a 9.58 //b 7.28 //c 6.26'	9.14 (R. FEL- LINGER)
60	" (II)	"	//a 9.73 //b 7.56 //c 6.46'	7.00 9.80 7.70)(W. SCHMIDT) 7.13 9.80 7.68)( " ) 6.55 10.5 7.6)(TH. LIEBISCH 6.7) u. H. RUBENS)
61	Baryt	Kamioka, Toyama Präf., Japan	//a 7.70 //b — //c —)	6.97 10.09)(R. FEL- 7.70) LINGER)

62	„	Syödō, Kōgendō, Korea	//a 7.80 //b — //c —	7.65 12.20 7.70	(W. SCHMIDT)
63	„	Trintington, England	//a 7.80 //b 12.33 //c 7.85	9.1 23.5 9.8	(Th. LIEBISCH u. H. RUBENS)
64	Celestin (I)	Girgemt, Sizilien	//a 7.58 //b — //c 8.25	7.70 18.5 8.30	(W. SCHMIDT)
65	„ (II)	„	//a 7.61 //b — //c 8.27		
66	Gips (I)	Hanaoka, Akita Präf. Japan	//b 4.98	6.33	(J. CURIE)
67	„ (II)	„	//b 5.02	9.3 44 8.5	(Th. LIEBISCH u. H. RUBENS)
68	Vivianit	Asio, Totigi Präf., Japan	//b 6.07		
69	„	„	//b 6.08		
70	Epidot	Salzbachtal, Tirol	$\epsilon_I$ 7.69 $\epsilon_{II}$ 10.11 $\epsilon_{III}$ 15.39		
71	Mondstein (I)	Kosikiyama, Kankyō-hokudō, Korea	$\perp$ (100)5.71 $\perp$ (010)5.96 $\perp$ (001)5.71		
72	„ (II)	„	$\perp$ (100)5.77 $\perp$ (010)5.01 $\perp$ (001)5.76		

(C) Spezielle Versuche über die Dielektrizitätskonstanten der isomorphen Reihe von Plagioklas

Um die Beziehung zwischen der Dielektrizitätskonstanten und der chemischen Konstitution zu klären, hat der Verfasser bereits einen Versuch über die Dielektrizitätskonstante von fein pulverisiertem Plagioklas unternommen. Die hierbei erzielten Resultate lehren, dass die Dielektrizitätskonstante mit der Zunahme des Anorthitgehaltes eine regelmässige Steigerung erkennen lässt, ebenso wie der Brechungsindex mit derselben. Ich habe nun diesen Versuch noch einmal an sehr viel mehr Proben als vorher wiederholt. Die Messungen der Dielektrizitätskonstanten sind, wie ausführlich erwähnt wurde, mittels einer noch weiter abgeänderten Versuchsanordnung mit hoher Zuverlässigkeit ausgeführt worden. Bei den für diesen Versuch ausgewählten Mineralien ergaben sich die folgenden analytischen Resultate und die Dielektrizitätskonstante in pulverisiertem Zustande.

Tabelle 13

Probe Kon- stituent	(1) Albit Bessi-Bergwerk Ehimé Präf., Japan		(2) Albit Switzerland	(3) Albit Tirol	(4) Albit Maderanes- tal Schweiz	(5) Albit Baveno, Italien		
	(I)	(II) <sup>(1)</sup>						
SiO <sub>2</sub>	66.84	66.92	68.20	65.79	66.41	67.20		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.62	20.56	19.28	21.03	20.81	19.93		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.57	0.64	0.35	0.37	—	0.49		
CaO	0.59	0.80	0.18	1.08	0.90	0.40		
MgO	—	0.92	0.06	0.04	0.03	—		
N <sub>2</sub> O	11.53	7.39	11.55	10.93	9.88	11.32		
K <sub>2</sub> O	0.10	spur	0.34	0.32	1.32	0.08		
H <sub>2</sub> O(+)	0.73	1.00	0.30	0.21	0.29	0.53		
H <sub>2</sub> O(-)	0.04	—	0.03	0.09	0.03	0.08		
Summe	100.02	98.23	100.29	99.86	99.67	100.03		
	Ab <sub>97</sub> An <sub>3</sub>		Ab <sub>98</sub> An <sub>1</sub>	Ab <sub>95</sub> An <sub>5</sub>	Ab <sub>96</sub> An <sub>4</sub>	Ab <sub>98</sub> An <sub>2</sub>		
Probe Kon- stituent	(6) Albit Moss, Norwegen	(7) Albit Ural	(8) Albit Bodenmais, Bayern	(9) Oligoklas Nord Calorina	(10) Oligoklas Bamle, Norwegen			
					(I) <sup>(2)</sup>	(II) <sup>(3)</sup>	(III)	
SiO <sub>2</sub>	66.28	67.00	67.10	61.75	61.13	62.00	62.80	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.90	20.60	20.22	23.89	24.48	23.24	23.23	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.34	0.24	0.15	0.01	0.02	0.18	
CaO	1.17	0.26	0.36	.98	5.25	4.83	4.64	
MgO	—	0.03	—	0.04	0.02	0.02	—	
Na <sub>2</sub> O	10.48	10.83	11.39	8.70	8.72	8.98	8.51	
K <sub>2</sub> O	0.48	0.42	0.33	0.25	0.28	0.32	0.81	
H <sub>2</sub> O(+)	—	0.26	0.36	0.19	—	—	—	
H <sub>2</sub> O(-)	—	0.05	0.05	0.04	—	—	—	
Summe	99.36	99.79	100.05	99.99	99.89	99.41	100.17	
	Ab <sub>94</sub> An <sub>6</sub>	Ab <sub>90</sub> An <sub>10</sub>	Ab <sub>98</sub> An <sub>2</sub>	Ab <sub>78</sub> An <sub>24</sub>	Ab <sub>77</sub> An <sub>23</sub>			
Probe Kon- stituent	(11) Andesin Norwegen	(12) Andesin Nakasiota Nagano Präf. Japan	(13) Andesin Kakomen, Kankyō- hoku-dō, Korea			(14) Labradorit Labrador, Italien		
			(I) <sup>(4)</sup>	(II) <sup>(5)</sup>	(III)	(I) <sup>(6)</sup>	(II) <sup>(7)</sup>	(III)
SiO <sub>2</sub>	58.60	59.03	57.79	56.71	56.39	52.77	52.08	53.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.29	26.05	26.18	27.15	28.76	30.17	30.00	29.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	—	0.30	0.15	1.00	0.83	1.03	1.33
CaO	6.80	7.51	8.04	9.18	8.96	12.63	12.20	11.05
MgO	0.02	—	0.11	0.08	—	0.08	0.10	—
Na <sub>2</sub> O	7.00	6.60	6.46	5.58	6.30	4.19	4.10	4.60
K <sub>2</sub> O	0.18	0.75	1.43	1.20	0.75	0.10	0.13	0.02
H <sub>2</sub> O(+)	0.41	—	0.23	0.13	—	—	—	0.21
H <sub>2</sub> O(-)	0.06	—	FeO=0.30 TiO <sub>2</sub> =0.06	—	—	Mn= 0.01	—	0.12
Summe	99.60	99.94	100.90	100.18	101.72	100.78	99.64	101.07
	Ab <sub>95</sub> An <sub>5</sub>	Ab <sub>61</sub> An <sub>39</sub>	Ab <sub>59</sub> An <sub>41</sub>	Ab <sub>62</sub> An <sub>48</sub>	Ab <sub>66</sub> An <sub>44</sub>	Ab <sub>48</sub> An <sub>57</sub>		

Probe Kon- stituent	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
	Labradorit Nord Amerika	Anorthit Otaru, Hokkaidō	Anorthit Otaru, Hokkaidō	Anorthit Tisima Inseln	Anorthit am Dōya-See Hokkaidō	Anorthit Miyake-jima, Tōkyō Präf.	
						(I) <sup>(8)</sup>	(II) <sup>(9)</sup>
SiO <sub>2</sub>	54.94	43.79	42.70	43.20	44.18	44.49	44.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.24	35.79	36.78	36.43	35.18	36.00	36.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.43	0.31	0.43	1.03	0.03	0.08
CaO	10.92	18.69	19.44	18.91	18.30	19.49	18.98
MgO	0.12	0.33	0.52	spur	0.10	0.04	0.10
Na <sub>2</sub> O	4.98	0.42	0.23	0.23	0.71	0.59	0.40
K <sub>2</sub> O	0.68	0.03	0.00	0.03	0.03	0.08	0.02
H <sup>2</sup> O(+)	—	0.59	0.24	0.61	0.85	—	—
H <sub>3</sub> O(-)	—	0.06	0.06	0.08	0.08	—	—
Summe	100.40	100.13	100.28	99.92	100.46	100.72	100.78
	Ab <sub>45</sub> An <sub>55</sub>	Ab <sub>4</sub> An <sub>96</sub>	Ab <sub>2</sub> An <sub>98</sub>	Ab <sup>2</sup> An <sub>98</sub>	Ab <sub>7</sub> An <sub>93</sub>	Ab <sub>5</sub> An <sub>95</sub>	Ab <sub>4</sub> An <sub>96</sub>

Tabelle 14

Wellenlänge: 101.43 cm Temperatur: 25° ± 0.1°C

Nr.	Plagioklas	Fundort	An-gehalt (%)	D- konstante
1	Albit	Bessi-BergwerkEhimé Präf., Japan.	3	5.57
2	Albit	Schweiz.	1	5.45
3	Albit	Tirol	5	5.58
4	Albit	Maderanestal, Schweiz.	4	5.53
5	Albit	Baveno, Italien.	2	5.55
6	Albit	Moss, Norwegen.	6	5.64
7	Albit	Ural-Gebirge.	1	5.55
8	Albit	Bodenmais, Bayern.	2	5.40
9	Oligoklas	Nord Calorina.	24	6.03
10	Oligoklas	Bamle, Norwegen.	23	6.06
11	Andesin	Jvedstrand, Norwegen.	35	6.20
12	Andesin	Kakomen, Kankyō-hoku-dō Korea	44	6.47
13	Andesin	Nakasiota, Nagano Präf., Japan.	39	6.31
14	Labradorit	Labrador, Italien.	60	6.62

1) anal. T. HARADA, Japanische Inseln, 50 (1890).

2) und 3) anal. Y. UMEGAKI, Mem. Coll. Sci., Kyōto Imp. Univ., Ser. B, 14, 141 (1938).

4) anal. K. ENDO bei S. KōZU, Jour. Japanese Association of Mineralogists, Petrogists and Economic Geologists, 14, 181 (1935).

5) anal. E. MINAMI bei T. Ito, Jour. Japanese Association of Mineralogists, Petrogists and Economic Geologists, 5, 113 (1931).

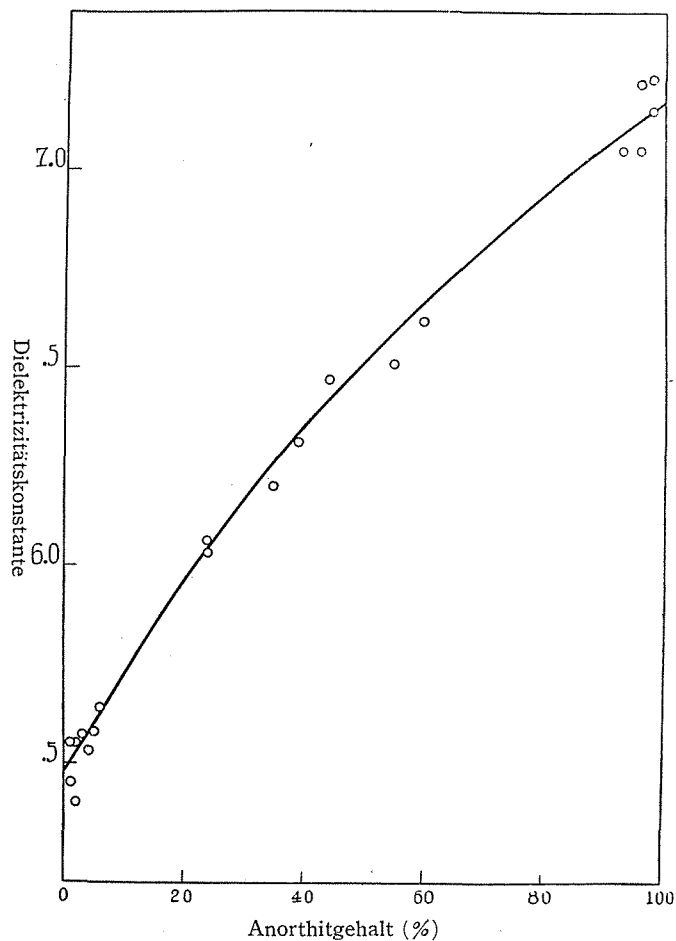
6) und 7) anal. Y. UMEGAKI, loc. cit.

8) anal. H. S. WASHINGTON bei S. KōZU, Sci. Rep. Tōhoku Imp. Univ., Ser. 2, Nr. 1, 23 (1914).

9) anal. Y. UMEGAKI, loc. cit.

15	Labradorit	Nord Amerika.	55	6.51
16	Anorthit	Otaru, Hokkaidō, Japan.	96	7.05
17	Anorthit	„	98	7.23
18	Anorthit	Tisima Inseln, Japan.	98	7.15
18	Anorthit	am Dōya-See, Hokkaidō Japan.	93	7.05
20	Anorthit	Miyake-Zima, Tōkyō Präf., Japan.	96	7.22

Abb. 18



Die Beziehung zwischen der Dielektrizitätskonstanten und dem Anorthitgehalt von Plagioklas zeigt die folgende diagrammatische Darstellung in Abb. 18; nach Methode der kleinsten Quadrate hatten wir für diese Darstellung der Reihe nach folgende Gleichung erhalten, worin An den Anorthitgehalt in Prozent bedeutet.

$$\epsilon = 5.473 + 0.0241A_n - 0.000070A_n^2$$

$\pm 16 \quad \pm 10 \quad \pm 10$

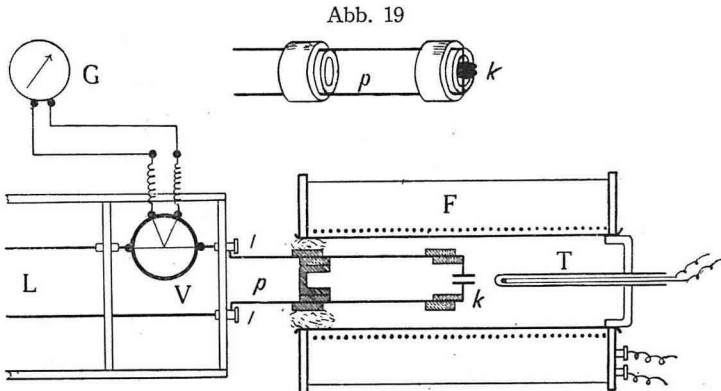
Ich kam zu dem Schluss, dass die von mir bereits ausgearbeitete dielektrische Bestimmungsmethode von Plagioklas, deren Grundgedanke auf der dielektrischen Erscheinung beruht, durch weitere eingehende Untersuchung zu einer überlegenen Methode entwickelt werden könnte. Es ist aber wohl zu berücksichtigen, dass eine derartig gefundene Dielektrizitätskonstante von einer nicht beseitigten Beimengung oder von einer fast immer vorhandenen Komponente von Kalifeldspat eine Änderung erfahren hat. Nach der in derselben Weise festgestellten Dielektrizitätskonstanten von Orthoklas, kann man letzteren Einfluss darin sehen, dass die Dielektrizitätskonstante etwas niedriger wird.

Orthoklas (1) aus Arendal, Norwegen 5.18  
 (2) aus Tanokamiyama, Siga Präf., Japan 5.46

Es soll hierüber an anderer Versuche besonders mit künstlichem Plagioklas der einen verschiedenen Gehalt an Kalifeldspat aufweist, an anderer Stelle ausführlich berichtet werden.

### (III) Das dielektrische Verhalten von Mineralien bei Erhitzung

Für diesen Versuch habe ich besonders einen Kondensator ( $k$ ), welcher aus zwei parallel stehenden kreisförmigen Platinplättchen besteht, wie man in Abb. 19 sieht, hergestellt.



Der Flächeninhalt der Plättchen war 0.55 qcm und die gegenseitige Entfernung betrug 0.15 cm. Die Verbindung der Kondensatorplättchen mit den Lecheldrähnen wurde mittels eines ziemlich dicken Platindrahtes ( $p$ ) hergestellt. Letzterer wird zwischen feuerfesten Porzellanzyklindern festgesteckt. Auf diese Weise werden die Kondensatorplättchen ebenfalls ganz unbeweglich gehalten. Für sämtliche unten beschriebene Versuche wurde stets ein elektrischer Heizapparat verwandt, ohne dass dadurch eine Störung verursacht wurde. Wie vorausszusehen, erwies sich die elektrische Erwärmung als einfacher und wegen der Genauigkeit in der Einstellung der Temperatur überhaupt sowie wegen der feiner Regulierung der Temperatur als zuverlässiger.

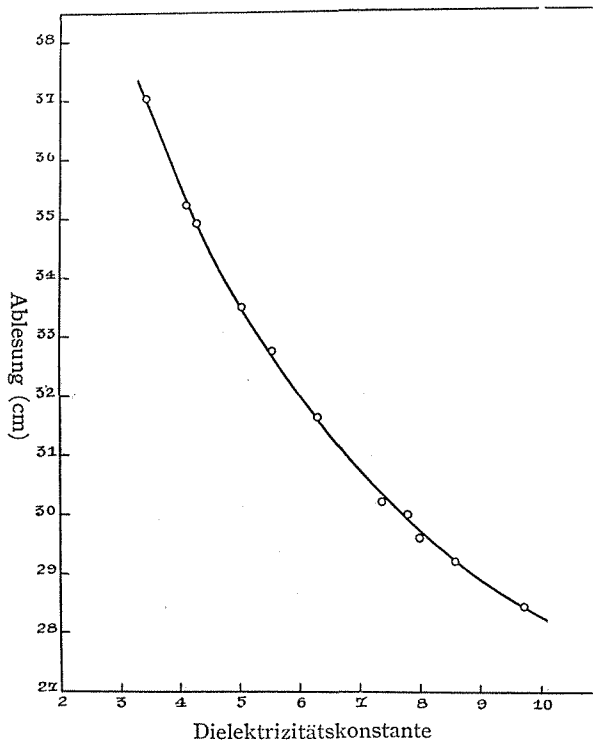
Die Temperaturmessung geschah mit Hilfe der Thermolemente und einem Millivoltmeter. Im Bereich von 0°C bis 300°C war aber ein Thermometer gestattet, mit dem die Temperatur innerhalb von  $\pm 0.1^\circ$  schätzbar war.

Die zu untersuchende Mineralprobe, welche von einem grossen Stücke in Scheiben abgeschnitten und auf eine passende Dicke abgeschliffen worden

Tabelle 15

Nr.	Mineral	D-konstante	Skalalesung (cm)
1	Schwefel // (100)	3.44	37.05
2	Cuarz $\perp$ c-Achse	4.13	35.23
3	Quarz // c-Achse	4.28	34.93
4	Gips // (010)	5.02	33.50
5	Spaltbarkeitsfläche Steinsalz	5.55	32.70
6	Aragonit // (100)	6.26	31.63
7	Aragonit // (001)	7.28	30.21
8	Aragonit // (010)	9.58	28.45
9	Zinkblende	7.90	29.60
10	Kalkspat $\perp$ c-Achse	8.60	29.20
11	Baryt // (100)	7.70	30.00

Abb. 20



war, wurde in den Zwischenraum der Plättchen gelegt. Wie im vorhergehenden Versuch wird auch in diesem Falle die dielektrische Änderung des Minerals während der Erhitzung durch das Ausschlagen der Metallbrücke beobachtet. Um die Beziehung zwischen der Dielektrizitätskonstanten und der Skalalesung bei Verwendung dieses Kondensators zu erkennen, wurden die folgenden Versuche ausgeführt, für welche ich besonders elf Mineralproben wählte. Jede wurde

in ganz derselben Grösse, nämlich in Form von 0.6 q.cm abgeschnitten und dann bis auf genau dieselbe Dicke von 0.15 cm abgeschliffen. Auf derselben Weise wie die bei der Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten bei 25°C legt man die Probe zwischen die betreffenden Kondensatorplättchen und liest die Stelle ab, wo die maximale Ablenkung des Galvanometers verursacht wird. Die in Betracht kommende Beziehung ist in Abb. 20 dargestellt.

Während die optischen Verhältnisse von Mineralien im Bereich höherer Wärmegrade relativ gut erforscht sind, besitzen wir nur wenig Kunde von den dielektrischen Verhältnissen. Die hier vorgenommenen Heizversuche bezweckten, durch Beobachtung des dielektrischen Verlaufes in einem grossen Temperaturintervall diese Lücke in unserem Wissen zu verringern.

Benutzt werden für diesen Versuch die Mineralien wie Schwefel, Zinkblende, Aragonit, Kalkspat, Leucit, Flussspat und Quarz. Was die Versuchsergebnisse betrifft, so liessen sich die eigentümlichen Eigenschaften eines Minerals ebenfalls in dem charakteristischen dielektrischen Phänomen erkennen. Vor allem ist es von grossem Interesse, dass auch die Modifikationsänderung der polymorphen Mineralien wie Schwefel, Aragonit, Leucit und Quarz durch die dielektrische Untersuchung zweckmässig bestimmt zu werden vermag.

### (A) Schwefel

In bezug auf die Dielektrizitätskonstanten des rhombischen Schwefels sind bis jetzt untenstehende Angaben veröffentlicht worden, wobei  $\epsilon//a$  die Dielektrizitätskonstante für die Brachyachse,  $\epsilon//b$  die für die Makroachse und  $\epsilon//c$  die für die Vertikalachse bezeichnen. Die von mir erhaltenen Werte sind etwas niedriger als die übrigen.

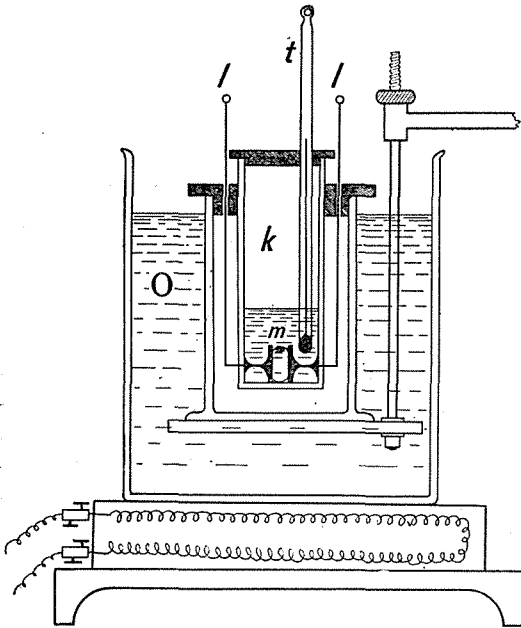
Tabelle 16

Nr.	Autor	Wellenlänge	D-konstante			Anmerkung
			$\epsilon//a$	$\epsilon//b$	$\epsilon//c$	
1	L. BOLTZMANN	$\lambda = \infty$	4.773	3.970	3.811	durch Versuche gefunden.
2	„	„	4.596	3.886	3.591	nach Maxwellschen Gesetze berechnet.
3	A. SCHRAUT	$\lambda = \infty$	4.580	3.856	3.581	nach Cauchyscher Dispersionsformel ber.
4	CH. BOREL	$\lambda = \infty$	4.66	3.86	3.67	durch Versuche gef.
5	W. SCHMIDT	$\lambda = 75$ cm	4.62	3.83	3.59	„
6	J. TAKUBO	$\lambda = 101.43$ cm	4.30	3.63	3.44	„
	„	„	4.24	3.61	3.43	„

Als Versuchsmaterial dienten einige Kristallstücke von Schwefel, der aus Peticara in Italien stammt. Ich verwandte für diesen Versuch einen



Abb. 21



o: Ölbad k: Kondensator  
t: Thermometer m: Mineralplättchen

Heizapparat wie folgt. Ein Kondensator, in dem die zu untersuchenden Mineralplättchen enthalten sind, wurde in einem Ölbad erhitzt (s. Abb. 21).

Die in der folgenden Tabelle eingetragenen Messungen wurden bei zunehmender Temperatur der Reihenfolge nach in der soeben erwähnten Weise notiert. Zur Veranschaulichung wurden die diagrammatischen Beziehungen in Abb. 22 dargestellt, wo *A* das dielektrische Verhalten an der zur Brachyachse senkrecht geschnittenen Probe, *B* und *C* das an den zur Makro- und Vertikalachse senkrecht geschnittenen Proben darstellt.

Tabelle 17

(A) an der zur Brachyachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
19.6	36.99	3.44	59.5	36.96	3.45
19.7	"	"	64.5	"	"
20.0	"	"	68.3	"	"
21.0	37.00	3.43	73.0	36.97	3.44
22.6	36.99	3.44	75.7	"	"
24.6	36.97	"	79.5	"	"
(25)		(3.44)	81.6	36.98	3.44
27.0	"	"	84.3	36.97	3.44
30.6	"	"	87.7	36.99	3.43
35.0	"	"	88.6	37.00	3.43
39.0	36.90	3.45	91.4	37.03	3.41
43.4	36.95	3.45	92.7	"	"
48.0	"	"	94.1	"	"
52.5	36.96	3.45	95.3	37.00	3.43
55.3	"	"			

Versuche über die Dielektrizitätskonstanten einiger Mineralien usw. 127

96.0	36.99	3.43	101.7	36.96	3.45
96.5	36.97	3.44	103.0	36.95	3.45
96.7	"	"	104.4	36.84	3.49
96.8	36.96	3.45	105.6	36.31	3.69
97.6	"	"	106.5	35.92	3.83
89.0	"	"	108.7	33.89	4.80
100.0	"	"			

(B) an der zur Makroachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
21.0	36.32	3.63	84.8	36.24	3.63
21.3	"	"	85.8	"	"
22.4	36.31	3.63	87.2	"	"
23.8	36.30	3.63	89.0	36.25	3.65
(25)		(3.63)	90.2		
28.8	36.29	3.64	91.5	"	"
30.6	"	"	92.5	"	"
33.6	"	"	94.0	"	"
35.6	36.28	3.64	95.0	36.24	3.65
38.0	"	"	95.8	36.22	3.66
40.6	36.27	3.65	96.7	"	"
42.9	36.25	3.65	97.5	"	"
45.5	"	"	98.2	"	"
48.0	36.24	3.65	98.7	36.21	3.67
51.3	36.23	3.66	99.2	36.22	3.66
54.8	"	"	99.6	"	"
57.0	36.22	3.66	100.0	36.21	3.67
59.0	"	"	101.0	36.22	3.66
62.1	36.21	3.67	102.2	"	"
66.3	36.22	3.66	103.2	36.21	3.67
69.0	"	"	104.0	36.13	3.69
73.0	"	"	106.3	36.00	3.74
75.7	"	"	106.7	34.86	4.24
80.3	"	"		34.04	4.65
82.9	"	"			

(C) an der zur Vertikalachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
21.0	34.86	4.30	37.5	34.85	4.30
23.8	34.85	4.30	40.2	"	"
(25)		(4.30)	44.4	"	"
25.2	34.86	4.30	48.8	"	"
27.7	"	"	51.4	34.84	4.31
30.0	"	"	54.8	34.83	4.32
33.7	"	"			

58.0	34.83	4.32	92.5	34.87	4.30
62.0	34.84	4.31	93.8	34.85	4.30
65.0	"	"	95.0	"	"
68.0	34.85	4.30	96.0	34.81	4.33
72.5	34.85	"	97.2	"	"
78.8	"	"	98.8	"	"
81.0	"	"	99.8	34.77	4.35
85.0	34.86	4.30	100.3	34.74	4.36
87.5	"	"	102.5	34.64	4.41
89.0	"	"	104.8	34.50	4.48
91.0	34.84	4.31	105.5	34.10	4.69

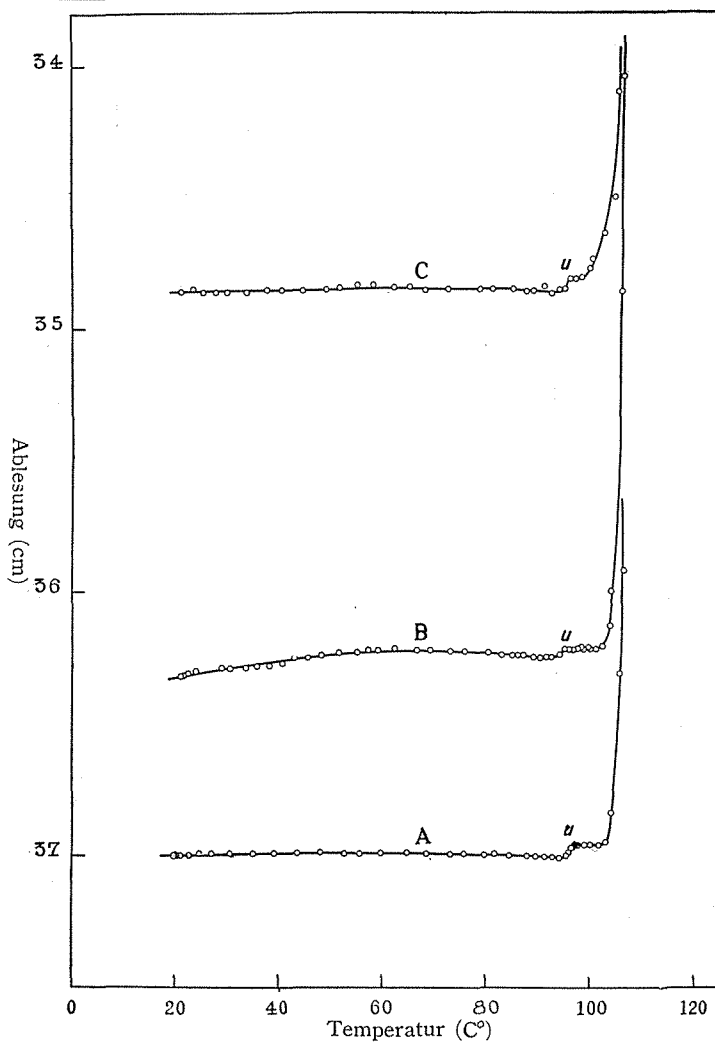
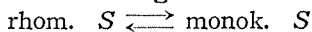


Abb. 22

Anfangs zeigt sich mit wachsender Temperatur eine äusserst langsame dielektrische Veränderung. Bei der Umwandlung



zeigt die Kurve aber einen kleinen beschleunigten Anstieg. Danach können wir leicht die Umwandlungstemperatur als entsprechend

bei A.....96.3°C

bei B.....95.0°C

bei C.....95.5°C

annehmen, was mit dem früher von KRUYT<sup>1)</sup> mittels der Dilatometermethode bestimmten Wert 95.5°C gut übereinstimmt. Wie man in Abb. 25 sieht, wird der dielektrische Verlauf im monoklinen Zustand unverändert beibehalten. Bei etwa 110°C beginnt die Dielektrizitätskonstante zunehmen, bei Annäherung dann an den Schmelzpunkt zeigt sich eine starke Steigerung. Sr. ROSENAL<sup>2)</sup> hat bereits beobachtet, dass beim Erstarren des geschmolzenen Schwefels die Dielektrizitätskonstante einen Sprung zeigt. Diese Phänomene stimmt mit unseren Resultat überein während sie sich mit ein wenigen Verschleppung verläuft.

Die hier vor dem Erreichen des Schmelzpunktes auftretende Erscheinung wurde auch in sonstigen Versuchen betreffs anderer physikalischer Eigenschaften nachgewiesen z.B. betreffs der elektrischen Leitfähigkeit, die einen ebenso rasch beschleunigten Anstieg zeigt. Als Ursache des Anstiegs der Dielektrizitätskonstanten kann man danach die gleichzeitige Änderung der Leitfähigkeit betrachten.

Mit den zur kristallographischen Symmetrieachse *a* senkrecht geschliffenen Plättchen hat der Verfasser drei Versuche in derselben Weise ausgeführt. Die hierdurch erhaltenen Daten sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben, die diagrammatische Veranschaulichung bietet Abb. 23. Wie man in Abb. 23 sieht, zeigt das dielektrische Verhalten ziemlich vor dem Umwandlungspunkt einen unkontinuierlichen Sprung. Dies mag darauf beruhen, dass bei der Umwandlung der Schwefel eine merkliche Volumenänderung erfährt und danach in den Plättchen einige Risse auftreten.

Tabelle 18

(I) an der zur Vertikalachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
19.3	34.87	4.26	29.8	34.84	4.27
21.0	34.86	4.27	32.8	„	„
22.0	„	„	36.6	34.83	4.28
23.4	„	„	38.5	„	„
25.0	34.85	4.27	45.0	„	„

1) H. R. KRUYT, Z. phy. Chem., 81, 725 (1915).

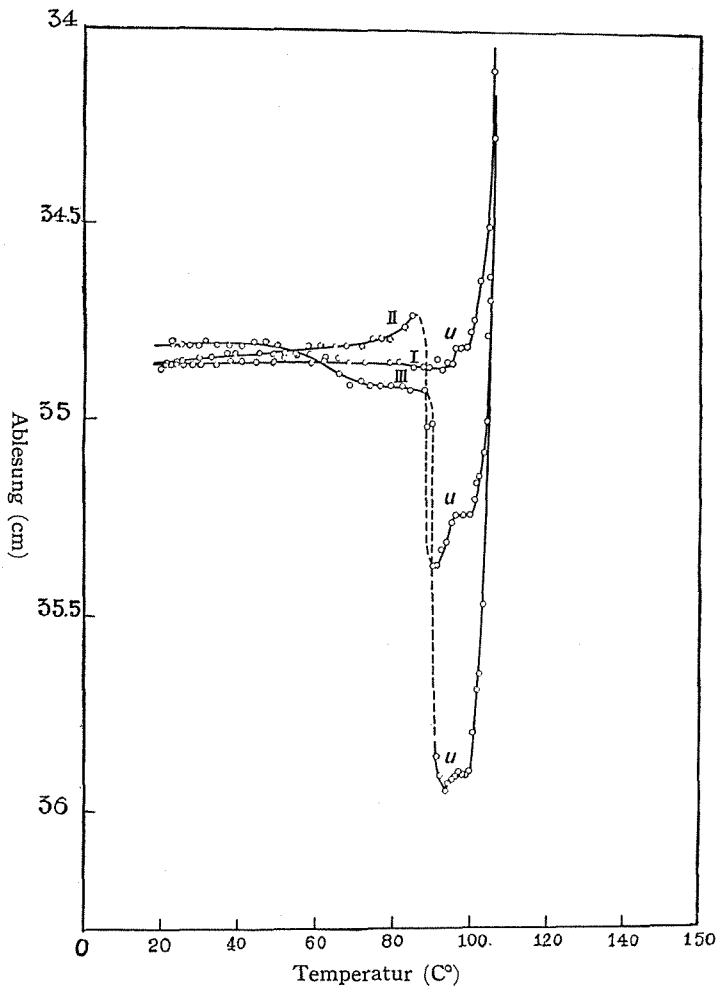
2) Sr. ROSENAL, Landolt-Böerenstein phy. chem. Tabelle, 5. Auf. 2-ter Eg. 2, 966 (1937).

48.5	34.83	4.28	92.6	35.33	—
51.8	„	„	93.8	35.31	—
57.8	34.81	4.30	94.9	35.26	—
60.5	„	„	96.0	35.24	—
64.7	„	„	98.0	„	—
67.3	„	„	100.0	„	—
71.8	„	„	100.6	35.20	—
74.2	34.79	4.31	101.4	35.16	—
76.5	„	„	102.4	35.14	—
79.0	„	„	103.3	35.08	—
82.5	34.76	4.23	104.0	33.78	—
84.7	34.73	4.33	104.8	33.69	—
88.3	35.13	4.15	105.7	33.27	—
90.3	35.37	4.05	106.4	31.80	—
91.3	„	—			

(II) an der zur Vertikalachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
22.3	34.80	4.31	82.0	34.91	4.25
22.5	34.81	4.30	83.8	„	„
24.7	„	„	88.0	„	„
27.1	„	„	89.7	35.06	4.19
29.0	„	„	91.3	35.86	—
31.0	34.80	4.31	92.4	35.91	—
34.0	34.81	4.30	93.5	35.95	—
37.4	„	„	94.4	35.93	—
40.4	„	„	95.3	35.92	—
43.5	34.80	4.31	96.1	35.91	—
46.7	„	„	97.0	35.90	—
49.5	34.81	4.30	98.0	35.91	—
54.5	34.83	4.29	99.0	„	—
58.5	34.85	4.28	99.7	35.90	—
61.8	„	„	100.8	35.80	—
65.4	34.88	4.26	101.8	35.69	—
68.4	34.91	4.25	102.4	35.65	—
71.2	34.90	4.26	103.3	35.47	—
73.6	34.91	4.25	103.9	35.00	—
76.3	„	„	104.7	34.63	—
79.0	„	„	105.7	33.67	—

Abb. 23



**(B) Zinkblende**

Für den Erhitzungsversuch wurden einige Zinkblendkristalle aus dem Ani-Bergwerk der Akita Präf. in Japan gewählt und von ihnen drei Plättchen in der bezeichneten Grösse hergestellt. Die Versuchsergebnisse sind in folgender Tabelle wiedergegeben und die dielektrische Änderung mit steigender Temperatur ist anschaulich in Abb. 24 dargestellt.

Tabelle 19

(I)

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
14	29.73	7.90	322	31.39	6.45
(25)		(7.90)	336	31.48	6.38
39	29.74	7.89	342	31.59	6.31
64	29.64	8.02	344	31.62	6.29
80	29.66	8.00	357	31.73	6.21
115	29.60	8.06	366	31.79	6.16
132	29.59	8.07	377	31.85	6.13
157	„	„	381	31.90	6.09
172	29.56	8.11	389	31.97	6.05
187	29.58	8.08	395	32.01	6.03
203	28.57	8.10	400	31.98	6.04
217	29.67	8.00	403	32.00	6.02
227	29.72	7.93	407	31.88	6.04
235	29.91	7.72	412	31.96	6.06
244	29.94	7.69	416	31.98	6.04
252	30.15	7.48	427	32.07	5.98
264	30.65	7.03	435	32.13	5.93
268	30.77	6.83	440	32.16	5.92
274	30.84	6.87	465	32.42	5.76
279	30.88	6.84	475	32.52	5.69
282	30.98	6.75	493	32.63	6.62
288	31.14	6.64	507	32.75	5.55
290	31.17	6.62	530	33.03	5.38
295	31.19	6.60	547	33.19	5.30
297	31.21	6.58	578	33.47	5.15
301	31.22	6.57	588	33.60	5.08
304	31.26	6.55	600	33.63	5.07
307	„	„	622	33.72	5.02
312	31.33	6.49	640	33.88	4.93

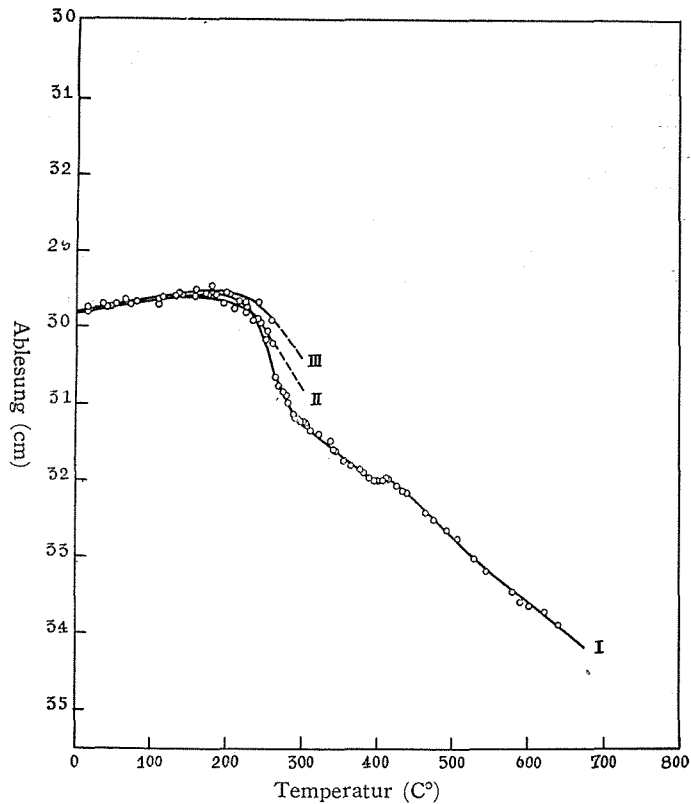
(II)

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
14	29.78	7.87	194	29.68	7.99
(25)		(7.90)	209	29.76	7.80
46	29.72	7.95	226	29.79	7.87
71	29.68	7.99	242	29.89	7.76
108	29.62	8.06	254	30.06	7.59
142	29.57	8.12	262	30.10	7.45
172	29.56	8.13			

(III)

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
(25)		(7.90)	158	29.49	8.20
34	29.69	7.96	178	29.47	8.24
52	29.68	7.97	200	29.54	8.13
81	29.64	8.02	225	29.67	7.99
111	29.59	8.08	242	29.66	8.01
137	29.54	8.13	259	29.92	7.72

Abb. 24



Wie man in Abb. 24 sieht, weist die dielektrische Änderung bei etwa 220°C einen unkontinuierlichen Abfall auf, was wahrscheinlich auf der Tatsache, dass die Zinkblende hierdurch einige Risse erfährt, beruht.

(C) Aragonit

Die bisher von den einzelnen Autoren erhaltenen Dielektrizitätskonstanten sind in folgender Tabelle zusammengefasst.



Tabelle 20

Nr.	Autor	Wellenlänge	D-konstante			Anmerkung
			$\epsilon//a$	$\epsilon//b$	$\epsilon//c$	
1	R. FELLINGER	$\lambda = \infty$	9.14	—	7.00	durch Versuche gef.
2	W. SCHMIDT	$\lambda = 75$ cm	9.80	7.70	7.13	„
	„	„	9.80	7.68	6.55	„
3	TH. LIEBISCH u. H. RUBENS	$\lambda = 3 \times 10^{-2}$ cm	10.5	7.6	6.7	nach Reflexionsvermögen berech.
4	J. TAKUBO	$\lambda = 101.43$ cm	9.58	7.28	6.26	durch Versuche gef.
	„	„	9.75	7.56	6.46	„

Für den Erhitzungsversuch wurden einige Aragonitkristalle aus dem Salzbachtal von Tirol stammend gewählt und von ihnen drei Plättchen, die senkrecht zu den kristallographischen Symmetrieachsen  $a$ ,  $b$  und  $c$  geschliffen wurden, hergestellt. Jede wurde in dem in Abb. 19 dargestellten Erhitzungsapparat vorsichtig erwärmt und die dielektrische Änderung mittels desselben Verfahrens beobachtet. Die so erhaltenen Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst, die diagrammatische Darstellung zeigt Abb. 25, wo die Kurve  $A$  den dielektrischen Verlauf bei dem zu der Symmetrieachse  $a$  senkrecht geschliffenen Plättchen und die Kurven  $B$  und  $C$  den bei den zu den Symmetrieachsen  $b$  und  $c$  senkrecht geschliffenen Plättchen darstellen.

Tabelle 21

(A) an der zur Brachyachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala-ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala-ablesung	D-konstante
15.8	28.49	9.56	343	28.48	9.58
(25)		(9.58)	353	28.51	9.55
25.8	28.48	9.58	378	28.57	9.44
71	28.45	9.63	393	28.68	9.24
116	28.38	8.66	409	28.66	9.28
171	28.28	9.94	423	„	„
199	28.31	9.90	437	28.65	9.29
229	28.27	9.96	446	28.69	9.22
246	28.29	9.93	460	28.67	9.26
258	„	„	474	28.66	9.28
274	28.27	9.96	579	28.94	8.76
291	28.29	9.93	484	31.56	8.24
308	28.28	9.94			
323	„	„			

(B) an der zur Makroachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
(25)		(7.28)	288	30.25	7.34
37	30.35	7.24	316	30.27	7.32
59	30.30	7.29	351	30.30	7.29
97	30.22	7.38	374	30.27	7.32
156	30.24	7.35	394	30.18	7.41
177	30.23	7.36	406	30.17	7.43
191	30.23	7.36	420	30.09	7.50
215	30.24	7.35	441	30.04	7.55
231	30.26	7.34	472	29.99	7.60
252	30.23	7.36	486	30.29	7.30
266	"	"	487	31.53	7.31

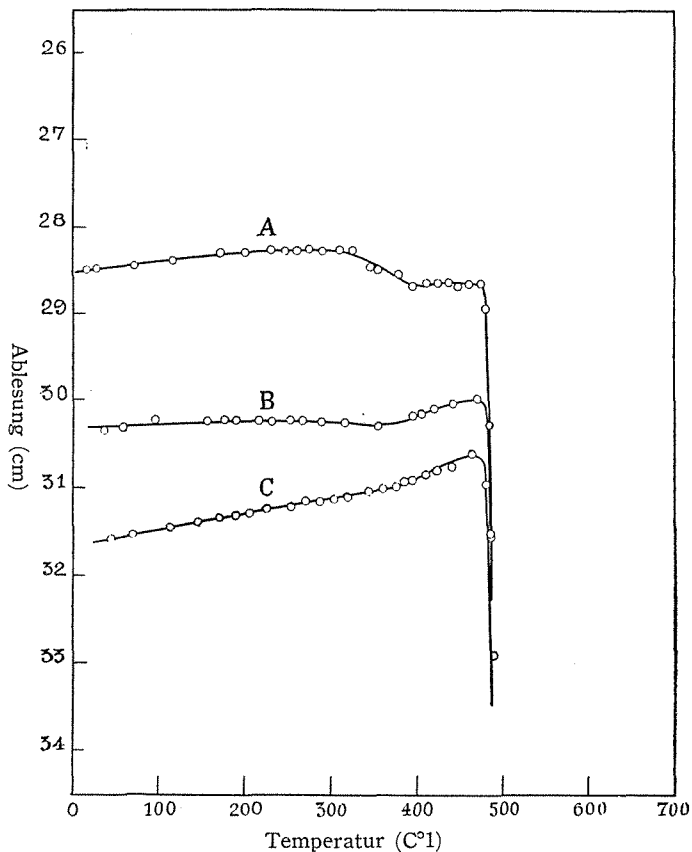
(C) an der zur Vertikalachse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
(25)		(6.26)	320	31.11	6.65
44	31.59	6.29	343	31.04	6.69
68	31.55	6.32	360	31.02	6.71
113	31.45	6.40	375	30.98	6.73
143	31.40	6.42	385	30.94	6.77
171	31.36	6.46	393	30.93	6.78
190	31.32	6.49	410	30.87	6.83
206	31.31	6.50	424	30.80	6.88
225	31.27	6.52	442	30.78	6.90
253	31.23	6.55	466	30.62	7.03
271	31.15	6.61	481	30.97	6.75
288	31.17	6.60	486	32.93	5.42
303	31.14	6.62			

Wie man in Abb. 25 sieht, zeigt die Dielektrizitätskonstante mit wachsender Temperatur eine langsame Steigerung fast in linearer Weise. Wenn die Temperatur auf 385°C ansteigt, tritt eine unkontinuierliche Veränderung ein. Die zu den Symmetrieachsen *b* und *c* senkrecht geschliffenen Proben weisen einen raschen Anstieg und bei 473°C eine auffallende Verringerung auf. Die zur Symmetrieachse *a* senkrecht geschliffenen dagegen lässt eine allmähliche Abnahme und bei 473°C ebenfalls sogleich eine auffallende Verringerung erkennen. Die unkontinuierliche dielektrische Veränderung dürfte wahrscheinlich auf die gut bekannte Umwandlung des Aragonit in Kalkspat zurückzuführen sein. Somit wird die Umwandlung unserem Versuche nach bei etwa 385°C eingeleitet und endet bei einer Temperatur etwas höherer als 473°C.

Über die Umwandlung des Aragonit in Kalkspat finden sich schon

Abb. 25



mehrfach Veröffentlichungen, so von E. MITSCHERLICH,<sup>1)</sup> G. ROSE,<sup>2)</sup> C. KLEIN<sup>3)</sup>. Hinsichtlich der Umwandlungstemperatur stellt O. MÜGGE<sup>4)</sup> fest, dass die Umwandlung teilweise schon bei 410°C sehr langsam stattfindet. H. E. BOECKE<sup>5)</sup> hat einen Erhitzungsversuch an Aragonit von Bilin vermittelt eines elektrischen Mikroskopöfchens unternommen. Hierbei beobachtete er, dass bei einer bestimmten Temperatur, 470°C, die Aragonitkristalle an einzelnen Stellen Sprünge erhielten, darum trübe und bald vollständig undurchsichtig wurden, wobei das ursprüngliche spezifische Gewicht von 2.943 nach der Umwandlung auf 2.720 zurückging. Um die Bedingungen für die Um-

1) E. MITSCHERLICH, Pogg. Ann., 21, 157 (1831).

2) G. ROSE, Pogg. Ann., 42, 360 (1837).

3) C. KLEIN, N. J. B. Min. etc. (II), 50 (1884); N. J. B. Beil. Bd. (II), 523 (1885); Berlin Sitzber., 18, 48 (1897).

4) Mügge, N. J. B. Min. etc., Beil. Bd. 14, 279 (1901).

5) H. E. BOECKE, Z. anorg. Chem., 50, 244 (1906).

wandlung des Aragonit festzustellen, hat F. LASCHTSCHENKO die Abkühlungswärme des auf eine bestimmte Temperatur erhitzten Aragonit und Kalkspat kalorimetrisch bestimmt. Bis 445°C und von 470°C bis 600°C stimmt die Abkühlungswärme völlig überein, während im Intervall von 445°C bis 470°C die des Aragonit immer grösser als die des Kalkspat war. Nach ihm wird die Umwandlung demnach bei 445°C eingeleitet und endet bei 470°C.

Bei eingehender Untersuchung der thermischen Dissoziation des Calciumkarbonats beobachtete R. B. SOSMAN,<sup>1)</sup> dass das Aragonit sich bei 425°C schnell in Kalkspat umwandelt. In neuerer Zeit untersuchten S. KÔZU und S. SAIKI<sup>2)</sup> die thermische Ausdehnung von Aragonit bei steigender Temperatur. Ihren Resultaten nach fand die Umwandlung im Intervall von 450°C bis 490°C statt; die Ausdehnung war am stärksten in der Richtung der c-Achse und am geringsten in der Richtung der a-Achse.

An zur a-Achse senkrecht geschliffenen Proben habe ich selbst nun drei verschiedene Versuche vorgenommen. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle wiedergegebenen, die diagrammatische Darstellung findet sich in Abb. 26.

Tabelle 22

(II)

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
(25)		(9.58)	351	28.65	9.36
47	28.50	9.61	379	29.36	8.33
79	28.45	9.70	399	30.15	7.46
169	28.41	9.78	411	30.46	7.17
193	28.39	9.80	424	30.64	7.01
234	28.50	9.61	447	30.83	6.86
273	28.56	9.53	452	31.04	6.69
289	28.54	9.54	464	31.16	6.60
308	28.58	9.48	484	31.45	6.39
326	"	"	497	34.30	4.68

(III)

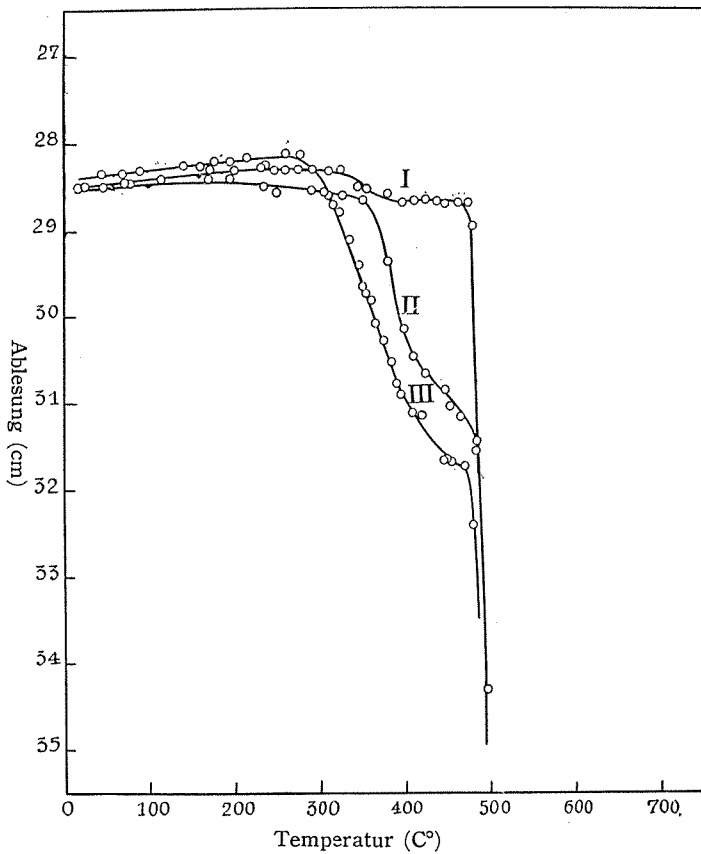
Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
(25)		(9.54)	159	28.25	9.83
44	28.35	9.64	176	28.20	9.93
68	"	"	195	28.19	9.95
90	28.31	9.73	212	28.14	10.05
140	28.25	9.83	236	28.23	9.86

1) R. B. SOSMAN, J. C. HOSTETTER und H. E. MERWIN, Jour. Washington Acad. Soc. 5, 563 (1915).

2) S. KÔZU und S. SAIKI, Proc. Imp. Acad. Tokyo, 10, 222 (1934).

259	28.08	10.18	373	30.27	7.10
276	28.11	10.14	384	30.52	6.86
305	28.55	9.29	390	30.76	6.66
314	28.70	9.03	395	30.90	6.55
324	28.79	8.83	408	31.10	6.40
333	29.09	8.43	420	31.13	6.37
345	29.40	8.02	443	31.66	5.99
350	29.64	7.75	449	31.64	6.00
355	29.71	7.66	456	31.68	5.97
359	29.80	7.56	471	31.71	5.94
365	30.07	7.30	481	32.40	5.50

Abb. 26



Wie man in Abb. 26 sieht, ist der gesamte Verlauf, ungeachtet der Verschiedenheit der Proben, fast bei allen derselbe. Doch tritt die unkontinuierliche Veränderung im Temperaturintervall von 360°C bis 473°C in

ziemlich verschiedenem Grade auf. In jedem Falle kann man die Tatsache konstatieren, dass bei 473°C die dielektrische Verringerung auffallend stark ist. Dies dürfte wahrscheinlich darauf beruhen, dass bei der Umwandlung des Aragonits sich mechanische Störungen bemerkbar machen.

(D) Kalkspat

Die bisher von den einzelnen Autoren erhaltenen Dielektrizitätskonstanten sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 23

Nr.	Autor	Wellenlänge	D-konstante		Anmerkung
			$\epsilon_{\perp c}$	$\epsilon_{//c}$	
1	R. FELLINGER	$\lambda = \infty$	8.49	7.56	durch Versuche gef.
2	M. v. PIRANI	$\lambda = \infty$	8.78	8.29	„
3	W. SCHMIDT	$\lambda = 75 \text{ cm}$	8.50	8.00	„
4	TH. LIEBISCH u. H. RUBENS	$\lambda = 3 \times 10^{-2} \text{ cm}$	10.1	11.0	nach Reflexionsvermögen berechn.
5	J. TAKUBO	$\lambda = 101.43 \text{ cm}$	8.57	7.87	durch Versuche gef.
	„	„	8.47	7.80	„
	„	„	8.45	7.92	„
	„	„	8.47	7.80	„

An zwei zur c-Achse parallel und senkrecht geschnittenen Plättchen werden die dielektrischen Änderungen beim Erhitzen von 12°C bis 700°C untersucht. Die Resultate werden in folgender Tabelle gegeben, die graphische Darstellung bietet Abb. 27, wo A die Versuchsergebnisse an zur c-Achse parallel und B die an zur c-Achse senkrecht geschnittenen Platte bedeuten.

Tabelle 24

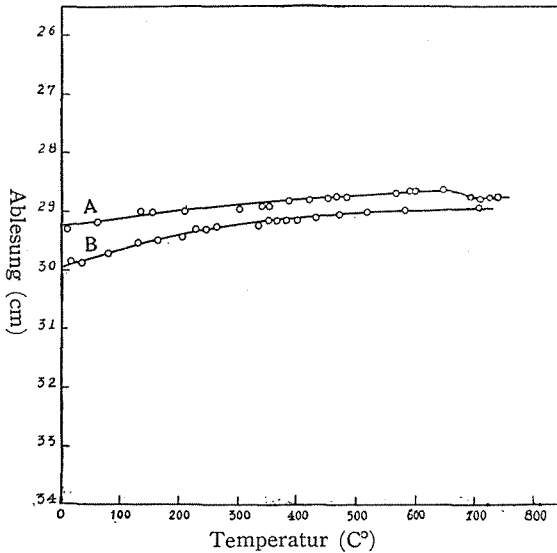
(A) an der zur optischen Achse parallel geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
17	29.85	7.89	334	29.23	8.62
(25)		(7.87)	349	29.15	8.74
37	29.87	7.87	364	„	„
81	29.72	8.04	379	„	„
131	29.53	8.24	399	29.14	7.75
164	29.49	8.29	432	29.09	8.81
207	29.43	8.36	470	29.03	8.89
229	29.30	8.53	517	29.00	8.94
247	„	„	581	28.98	8.96
264	29.25	8.59	706	28.95	9.02

(B) an der zur optischen Achse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
12	29.30	8.36	450	28.74	9.17
(25)		(8.49)	464	28.73	9.19
62	29.18	8.52	483	„	„
134	28.99	8.79	567	28.68	9.28
153	29.01	8.77	589	28.64	9.24
209	„	„	599	28.65	9.32
302	28.97	8.82	647	28.62	9.38
339	28.92	8.90	693	28.76	9.14
353	28.90	8.92	709	28.79	9.09
384	28.81	9.07	727	28.77	9.13
418	28.78	9.11	739	28.75	9.16

Abb. 27



Der allmähliche Anstieg der Dielektrizitätskonstanten bei Erhöhung der Temperatur wird in Abb. 27 diagrammatisch dargestellt. In ersterem Falle bemerkt man bei etwa 680°C eine kleine Unkontinuität, die wahrscheinlich durch eine plötzliche Abnahme der elektrischen Leitfähigkeit nach SH. SADAKICHI verursacht ist.

**(E) Leucit**

Zur genauen Feststellung des Umwandlungsvorganges wurden seither von mehreren Forschern verschiedenartige Heizversuche ausgeführt. Früher berichtete C. KLEIN,<sup>1)</sup> dass bei der Erwärmung von Leucitschliffen bei beginnender Rotglut das Leucit bald optisch isotrop wird. Auch S. L. PENFIELD,<sup>2)</sup> O. MÜGGE<sup>3)</sup> haben hierzu Erwärmungsversuche angestellt. F. RINNE und R. KOLB<sup>4)</sup> erhielten vorzügliche Resultate bei Beobachtung dieser Umwandlungerscheinungen, indem sie einen selbstverfertigten Erhitzungsapparat benutzten.

1) C. KLEIN, loc. cit.

2) S. L. PENFIELD, N. J. B. Min. etc., (II), 224 (1884).

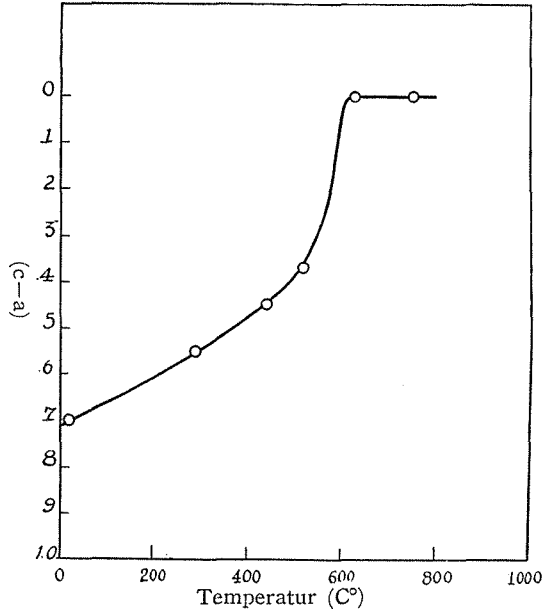
3) O. Mügge, loc. cit.

4) F. RINNE und R. Kolb, N. J. B. Min. etc., (II), 154 (1910).

Ihre Ergebnisse lehrten, dass erst bei 684°C die Doppelbrechung anfang, deutlich abzunehmen und erst bei 714°C Isotropie eintrat, so dass sich eine beträchtliche Verschleppung über etwa 30°C geltend machte.

Vor kurzem unternahm W. JEAN<sup>1)</sup> eine röntgenographische Untersuchung. Mit Hilfe der sogenannten Weissenbergschen Methode hat er den Leucit als tetragonales Kristall bestimmt. Die Einheitszelle enthält 16 Moleküle  $\text{KAlSi}_3\text{O}_6$ . Nach ihm sind die Leucitkristalle über 600°C kubisch, beim Abkühlen werden sie tetragonal umgekehrt. Ausserdem hat er die Gitteränderung unter dem Einfluss der Wärme röntgenographisch untersucht. Mit steigender Temperatur nimmt demnach die Differenz zwischen den beiden

Abb. 28



Hauptperioden des tetragonalen Raumgitters als Funktion der Temperatur linear ab und von 575°C an kräftiger, wie die folgende Zusammenstellung zeigt. Bei 625°C vereinigen sie sich wie Abb. 28 diagrammatisch gezeigt wird. Beim Abkühlen wurden rückläufige Erscheinungen bei den nämlichen Wärmegraden beobachtet.

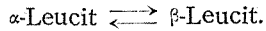
$t=20^\circ\text{C}$	$290^\circ\text{C}$	$440^\circ\text{C}$	$520^\circ\text{C}$	$625^\circ\text{C}$	$750^\circ\text{C}$
$c-a=0.70\text{Å}$	$0.55\text{Å}$	$0.45\text{Å}$	$0.37\text{Å}$	0	0

Als Versuchsmaterial habe ich nun ein Kristallstück von Leucit, der von dem Albanergebirge in Tirol stammt und ikositetraëdrisch zu kristallisieren scheint, gewählt. Es wurde von ihm ein Plättchen in der bezeichneten Grösse hergestellt. Auf die soeben beschriebene Weise wurde dann ein Heizversuch ausgeführt. Die so erhaltenen Resultate finden sich in der folgenden Tabelle, die diagrammatische Darstellung gibt Abb. 29.

Tabelle und Kurve zeigen, dass die Werte der Dielektrizitätskonstanten bei Erhöhung der Temperatur fast in linearer Weise zunehmen und von etwa 600°C ab die Zunahme schneller wird. Oberhalb 677°C wird sie annähernd konstant, wobei die Werte der Dielektrizitätskonstanten nach der in Abb. 20 dargestellten Beziehungskurve etwa 8.0 zu entsprechen pflegen. Diese unkontinuierliche Veränderung beruht sicher auf dem gut bekannten Umwandlungsvorgang

1) W. JEAN, C. R., 203, 938 (1936); 205, 1077 (1937).





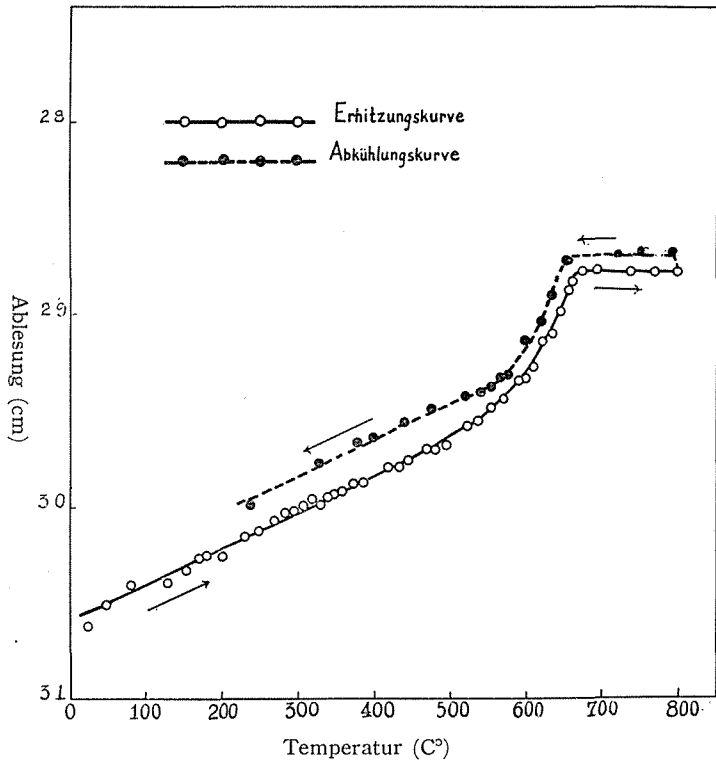
Bei vorsichtigem Abkühlen verläuft die Umwandlung ohne Verzögerung in der umgekehrten Richtung, wie in Abb. 31 gezeigt wird. Aus vorstehendem Versuche geht hervor, dass eine scharfe Temperaturgrenze überhaupt nicht entsteht, sondern es sich um eine Verschleppung von etwa 75° handelt. Es dürfte richtiger sein, dieses Umwandlungsintervall, wie C. DOELTER<sup>1)</sup> bereits

Tabelle 25

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
25	30.62	7.13	590	29.35	8.45
50	30.51	7.19	599	29.34	8.46
82	30.43	7.30	612	29.28	8.53
104	30.41	7.32	622	29.14	8.72
131	30.40	7.32	634	29.11	8.76
157	30.33	7.38	744	28.99	8.93
170	30.27	7.44	655	28.88	9.08
182	30.26	7.46	660	28.83	9.17
202	„	„	677	28.78	9.24
232	30.16	7.55	694	28.77	9.28
249	30.13	7.57	740	28.78	9.24
269	30.08	7.63	770	„	„
284	30.04	7.66	801	„	„
297	30.03	7.67	794	28.68	9.41
308	30.00	7.71	757	28.67	9.48
319	29.97	7.74	724	28.70	9.38
332	30.00	7.71	655	28.72	9.35
340	29.96	7.75	634	28.90	9.06
349	29.94	7.76	619	28.04	8.86
359	29.93	7.77	599	29.14	8.73
374	29.89	7.82	577	29.32	8.48
387	29.88	7.83	567	29.33	8.46
420	29.80	7.92	554	29.38	8.40
434	„	„	542	29.41	8.37
447	29.77	7.95	522	29.43	8.33
470	29.71	8.92	475	29.49	8.27
480	29.72	8.01	442	29.57	8.18
495	29.69	8.03	399	28.64	8.09
524	29.59	8.15	379	29.67	8.07
537	29.56	8.19	329	29.78	7.93
550	29.49	8.26	240	30.00	7.71
568	29.45	8.31			

1) C. DOELTER, „Handb. d. Mineralchem.“, Bd. II, 2, 468 (1917).

Abb. 29



bei der gleichzeitigen optischen Erscheinung getan hat, durch die geringe Umwandlungsgeschwindigkeit zu erklären. Es ist sehr von Interesse, dass der gesamte dielektrische Verlauf mit der die Differenz zwischen den beiden Hauptperioden des tetragonalen Raumgitters darstellenden Kurve genau übereinstimmt, während die bezügliche Temperatur um etwa  $55^\circ$  abweicht.

### (E) Flussspat

Die bis jetzt von mehreren Autoren erhaltenen Dielektrizitätskonstanten von Flussspat sind in folgender Tabelle wiedergegeben.

Dieselben Versuche über dielektrische Erscheinungen bei Erhitzung wurden bei drei Proben aus dem Ikuno-Bergwerk, Hyōgo Präf. in Japan unternommen. Die Resultate lehren, dass die Dielektrizitätskonstante mit steigender Temperatur eine geringere Zunahme und auf etwa  $200^\circ\text{C}$  eine schwache Unkontinuität zeigt. Die diagrammatische Darstellung ist in Abb. 30 und Abb. 31 gezeigt.

Tabelle 26

Nr.	Autor	Wellenlänge	D-konstante	Anmerkung
1	Romich u. Nowak	$\lambda = \infty$	6.80	durch Versuche gef.
2	J. CURIE	$\lambda = \infty$	6.80	„
3	H. STARHE	$\lambda = \infty$	6.92	„
4	F. PASCHEN	$\lambda = \infty$	6.09	„
5	M. v. PISANI	$\lambda = \infty$	7.36	„
6	W. SCHMIDT	$\lambda = 75$ cm	6.70	„
7	Th. LIEBISCH u. H. RUBENS	$\lambda = 3 \times 10^{-2}$ cm	6.70	nach Reflexionsvermögen berech.
8	H. RUBENS	$\lambda = 3 \times 10^{-2}$ cm	6.08	„
9	J. TAKUBO	$\lambda = 101.43$ cm	6.26	durch Versuche gef.
	„	„	6.24	„
	„	„	6.28	„
	„	„	6.26	„
	„	„	6.26	„
	„	„	6.33	„
	„	„	6.63	„
	„	„	6.58	„

Tabelle 27

(I)

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
(25)		(6.26)	466	31.11	6.68
44	31.64	6.25	472	31.07	6.71
90	31.58	6.34	480	31.04	7.74
133	31.49	6.41	485	31.05	6.73
165	„	„	493	„	„
201	31.47	6.42	505	30.99	6.77
231	31.45	6.43	515	„	„
253	31.48	6.40	520	30.97	6.78
276	„	„	550	30.98	6.77
293	„	„	569	30.88	6.86
314	31.46	6.43	618	30.89	6.85
334	31.39	6.47	631	30.90	6.84
355	31.40	6.46	623	30.98	6.77
403	31.29	6.54	541	31.06	6.74
420	31.20	6.60	508	31.12	6.67
430	31.18	6.62	446	31.25	6.58
439	31.17	6.63	365	31.39	6.47
447	31.16	6.64	310	31.52	6.38
455	31.11	6.68	236	31.49	6.40
462	31.12	6.67	156	31.52	6.38

(II)

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
13	31.60	6.23	250	31.42	6.36
(25)		(6.26)	290	31.45	6.34
40	31.49	6.35	315	31.50	6.30
107	31.39	6.37	340	31.45	6.34
128	31.36	6.40	360	31.32	6.43
169	31.35	6.41	376	31.34	6.42
196	31.34	6.42	399	31.26	6.48
213	31.33	6.43	457	31.23	6.50
231	31.38	6.38			

(III)

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
(25)		(6.26)	232	31.46	6.43
39	31.67	6.27	256	31.45	6.44
48	31.61	6.32	278	„	„
80	31.59	6.33	296	„	„
121	31.56	6.35	321	31.50	6.39
192	31.51	6.39	350	31.48	6.41
221	31.48	6.41			

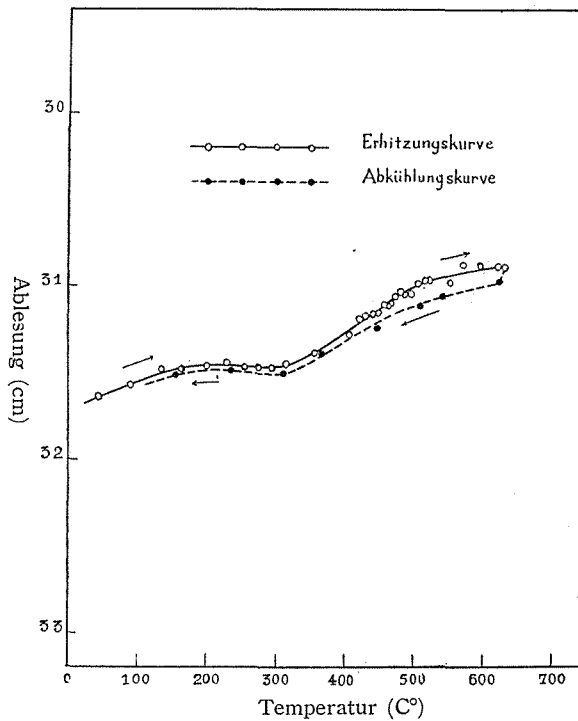
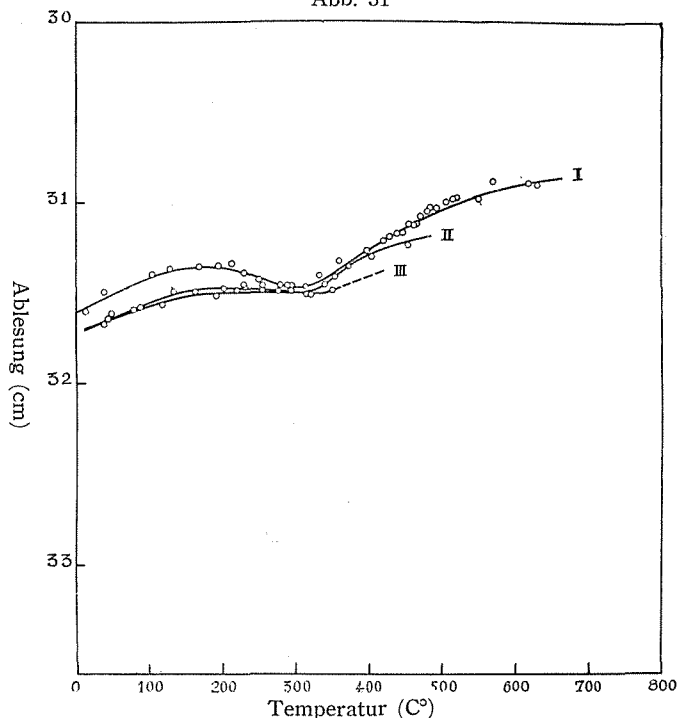


Abb. 30

Abb. 31



## (G) Quarz

Das allotropische Verhalten des Quarzes



ist bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Die bisherigen Abhandlungen belehren uns über das durch den Umwandlungsvorgang verursachte Verhalten der verschiedenen physikalischen Eigenschaften. Die thermischen Eigenschaften wurden von H. LECHATERIER,<sup>1)</sup> F. RINNE und R. KOLB,<sup>2)</sup> C. N. FENNER,<sup>3)</sup> F. E. WRIGHT,<sup>4)</sup> A. L. DAY,<sup>5)</sup> R. B. SOSMAN, F. BATES und F. P. PHELPS,<sup>6)</sup> A. PERRIER und H. ROUX,<sup>7)</sup> S. KÔZU und S. SAIKI,<sup>8)</sup> H. MOSER<sup>9)</sup>, die optischen Eigenschaften von H. LECHATERIER,<sup>10)</sup> E. MAL-

- 1) H. LECHATERIER, C. R., **108**, 1046 (1889).
- 2) F. (RINNE und R. KOLB, Centralb. Min. etc., 65 (1911).
- 3) C. N. FENNER, Amer. Jour. Sci., **36**, 331 (1913); Z. anorg. Chem., **85**, 133 (1914).
- 4) F. E. WRIGHT, Jour. Washington Acad. Sci., **3**, 485 (1913).
- 5) A. L. DAY, R. B. SOSMAN und J. C. HOSTETTER, Amer. Jour. Sci., **37**, 1 (1914); N. J. B. Min. etc. Beil. Bd. **40**, 119 (1915).
- 6) F. BATES und F. P. PHELPS, Phy. Rev., (2) **18**, 115 (1921).
- 7) A. PERRIER und H. ROUX, Sosmanschen „Properties of Silica“, New York, (1926).
- 8) S. KÔZU und S. SAIKI, Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ., Ser. 3. Nr. 3, 239 (1924).
- 9) H. MOSER, Phy. Zeit., **37**, 937 (1936).
- 10) H. LECHATERIER, C. R., **109**, 264 (1889).

LARD,<sup>1)</sup> F. E. WRIGHT und E. S. LARSEN,<sup>2)</sup> F. RINNE und R. KOLB,<sup>3)</sup> R. B. SOSMAN,<sup>4)</sup> S. WATANABE,<sup>5)</sup> H. E. VON STEINGEHR,<sup>6)</sup> die mechanischen Eigenschaften von A. PERRIER,<sup>7)</sup> R. E. GIBSON<sup>8)</sup> und die elektrischen Eigenschaften von A. PERRIER,<sup>9)</sup> S. GAGNEBIN,<sup>10)</sup> K. NAKAMURA,<sup>11)</sup> H. SAEGUSA und T. MATSUMOTO,<sup>12)</sup> E. DAMOIS und R. RADMANECHE,<sup>13)</sup> Rahimi und E. DAMOIS<sup>14)</sup> studiert.

Die hier in Betracht kommenden dielektrischen Eigenschaften bei Erhitzung wurden bereits von F. HASENOEHL und S. GAGNEBIN untersucht. F. HASENOEHL hat die Dielektrizitätskonstanten in einem Temperaturbereich von 10°C bis 31°C bestimmt und auf Grund derselben zwei Beziehungsformeln aufgestellt, die eine für die zur optischen Achse senkrecht liegenden und die andere für die zur optischen Achse parallel liegenden Dielektrizitätskonstanten. Die Versuchen besonders in einem weiteren Temperaturbereich wurden von S. GAGNEBIN unternommen; seine Resultate sind aber zweifelhaft.

Für den vorliegenden Versuch habe ich Quarz aus Kinbuzan in der Yamanasi Präf. in Japan als Untersuchungsmaterial gewählt und damit die gleichen Heizversuche ausgeführt. Die Versuche wurden in einem besonders grossen Temperaturbereiche von 13°C bis 763°C vorgenommen. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle, die graphischen Darstellungen in Abb. 32, 33, 34 und 35 gegeben.

Tabelle 28

(A) an der optischen Achse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
15	34.97	4.27	197	34.85	4.33
(25)		(4.28)			
32	34.93	4.29	250	34.78	4.36
94	34.90	4.31	315	34.70	4.41
162	34.85	4.33	325	"	"

- 1) E. MALLARD und H. LECHATERIFR, Bull. soc. franc. min., 13, 123 (1890).
- 2) F. E. WRIGHT und E. S. LARSEN, Amer. Jour. Sci., 27, 421 (1909); Z. Anorg. Chem., 68, 338 (1910).
- 3) F. RINNE und R. KOLB, loc. cit.
- 4) R. B. SOSMAN, "Properties of silica," New York, 688 (1926).
- 5) S. WATANABE, Jour. Japanese Association of Mineralogists, Petrogists and Economic Geologists (Japanisch), 17, 260 (1937).
- 6) H. E. VON STEINWEHR, Die Naturwiss., 25, 348 (1937).
- 7) A. PERRIER und R. MANDROT, C. R., 175, 622, 1006 (1922).
- 8) R. E. GIBSON, Jour. Phy. Chem., 32, 1197 (1928).
- 9) A. PERRIER, Arch. sci. phy. nat., (4) 41, 492 (1916).
- 10) S. GAGNEBIN, Arch. sci. phy. nat., (5) 6, 161 (1924).
- 11) K. NAKAMURA, Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ., Ser. 1, 22, 614 (1933).
- 12) H. SAEGUSA und T. MATSUMOTO, Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ., Ser. 1, 24, 614 (1935).
- 13) E. DAMOIS und R. RADMANECHE, Bull. soc. franc. phy., 332, 16 (1936).
- 14) RAHIMI und E. DAMOIS, Bull. soc. franc. phy., 390, 101 (1936).

346	34.70	4.41	702	35.19	4.17
375	34.69	4.41	687	35.14	4.19
410	34.68	4.42	666	35.00	4.26
436	34.66	"	637	34.95	4.28
457	34.71	4.40	621	34.91	4.30
491	34.68	4.42	602	34.87	4.32
506	34.70	4.41	591	34.86	4.32
516	"	"	582	"	"
547	34.72	4.40	573	34.85	4.32
561	34.82	4.35	566	34.81	4.35
574	34.88	4.31	561	34.74	4.38
578	34.87	4.32	547	34.73	4.38
591	34.89	4.31	539	34.70	4.40
596	34.90	4.30	518	"	"
617	"	"	407	34.73	4.38
631	34.93	4.29	340	34.81	4.35
636	34.98	4.27	295	34.90	4.31
659	35.00	4.26	209	34.97	4.27
675	35.10	4.21	154	35.05	4.23
711	35.30	4.12	114	"	"

(B) an der zur optischen Achse senkrecht geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
25	35.03	(4.28)	580	34.93	4.33
125	34.93	4.31	585	34.94	4.32
208	34.85	4.36	589	34.97	4.31
266	34.75	4.41	593	34.94	4.32
341	34.64	4.47	602	"	"
381	"	"	610	34.95	4.31
422	34.63	4.48	616	"	"
475	"	"	627	35.02	4.29
530	34.67	4.46	637	35.05	4.27
345	34.70	4.45	682	35.28	4.17
572	34.92	4.34	718	35.50	4.08

(A) an der zur optischen Achse parallel geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
13	35.30	4.13	165	35.18	4.18
(25)		(4.13)			
46	35.29	4.15	187	35.15	4.20
90	35.25	4.16	224	35.12	4.22
114	35.24	4.17	254	35.09	4.23
146	35.20	4.18	272	35.10	4.22

Versuche über die Dielektrizitätskonstanten einiger Mineralien usw. 149

292	35.10	4.22	739	34.24	6.64
314	35.11	4.22	717	34.26	4.63
323	35.09	4.23	700	34.29	4.62
343	35.06	4.24	689	34.33	4.59
384	35.02	4.26	669	„	„
422	35.00	4.27	642	34.38	4.57
434	34.92	4.31	620	34.44	4.54
447	34.91	4.32	603	34.50	4.51
461	34.88	4.33	589	34.53	4.49
488	34.82	4.35	576	34.58	4.47
500	34.78	4.37	567	34.57	4.48
527	34.76	4.38	559	34.56	4.48
557	34.67	4.43	540	34.62	4.45
576	34.69	4.41	539	34.58	4.47
585	34.66	4.43	509	34.65	4.43
589	34.60	4.46	461	34.78	4.37
603	34.59	4.46	434	34.82	4.36
617	34.55	4.48	404	34.87	4.33
652	34.45	4.53	375	34.96	4.28
675	34.40	4.56	344	34.98	4.27
692	34.35	4.58	297	35.08	4.23
714	34.26	4.63	270	35.10	4.22
727	34.25	4.63	253	35.14	4.20
763	34.22	4.66	214	35.26	4.15
760	34.19	4.66	195	35.27	4.14

(B) an der zur optischen Achse parallel geschnittenen Probe

Temperatur	Skala- ablesung	D-kanstante	Temperatur	Skala- ablesung	D-konstante
15	35.22	4.13	492	34.79	„
(25)		(4.13)	507	34.72	4.36
115	35.17	4.15	517	34.73	4.35
178	35.13	4.17	526	34.70	4.28
198	35.08	4.19	542	34.68	4.39
250	35.07	4.19	557	34.65	4.40
268	35.05	4.20	570	34.62	4.41
283	„	„	279	34.66	4.39
305	„	„	584	„	„
342	35.01	4.23	588	„	„
357	34.98	4.24	593	34.65	4.40
382	34.96	4.25	602	34.60	4.42
412	34.93	4.26	615	34.58	4.43
435	34.87	4.29	618	34.57	4.44
463	34.84	4.30			



483	34.79	4.33	624	34.56	4.44
632	34.51	4.47	708	34.53	4.45
639	34.52	4.46	720	34.50	4.47
659	34.51	4.47	737	"	"
675	"	"	745	"	"
689	"	"	748	34.47	4.48

Als Resultat ergab sich, dass bei der zur optischen Achse senkrecht geschnittenen Probe das dielektrische Verhalten drei Stufen *A*, *B* und *C* zeigt, wie in den Abb. 32 und 33 ersichtlich ist. Die Wendepunkte von *A*→*B* und *B*→*C* entsprechen etwa 220°C bzw. 574°C. Bis auf 220°C äussert sich die dielektrische Erscheinung fast in linearer Weise und nach einem kleinen beschleunigten Anstieg nähert sich die Kurve dem maximalen Wert. Die  $\alpha$ -Quarz→ $\beta$ -Quarz Umwandlung, die der Wandlung von *B*→*C* entspricht, vollzieht sich in einem Temperaturintervall von ca 25° mit einem auffallenden Abfall der Dielektrizitätskonstanten. Wir sehen aus dem vorliegenden Versuche, dass die Umwandlungstemperatur 574°C entspricht. Der Abfall der Konstanten mit steigender Temperatur erfolgt auch im  $\beta$ -Zustand, findet aber zuerst nur sehr allmählich und von etwa 620°C bedeutend kräftiger statt.

Abb. 32

Die Versuche an der zur optischen Achse senkrecht geschnittenen Probe

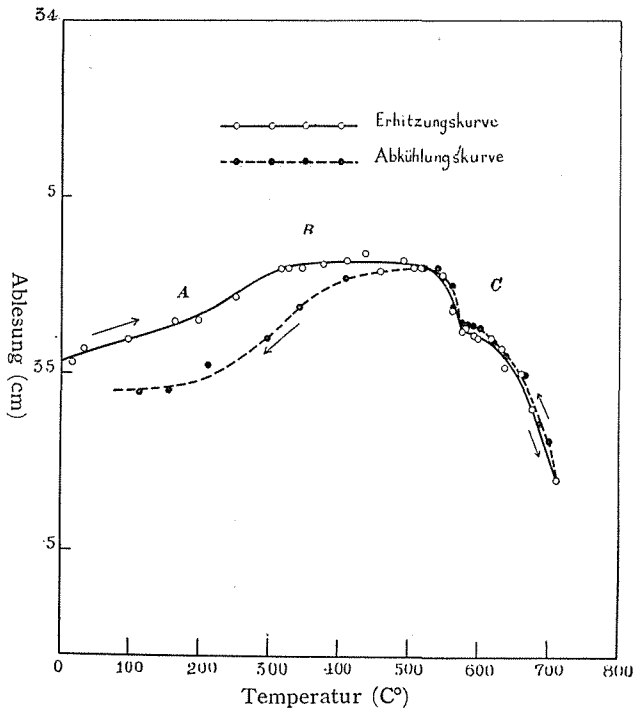


Abb. 33

Die Versuche an der zur optischen Achse senkrecht geschnittenen Probe

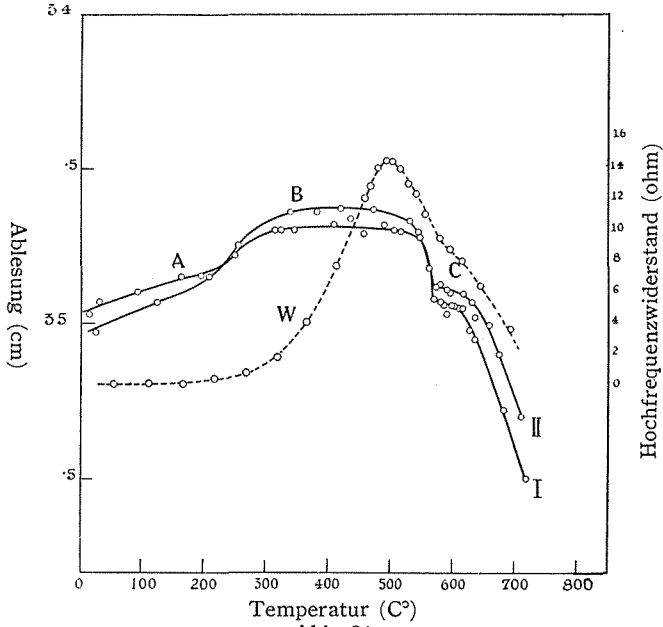


Abb. 34

Die Versuche an der zur optischen Achse parallel geschnittenen Probe

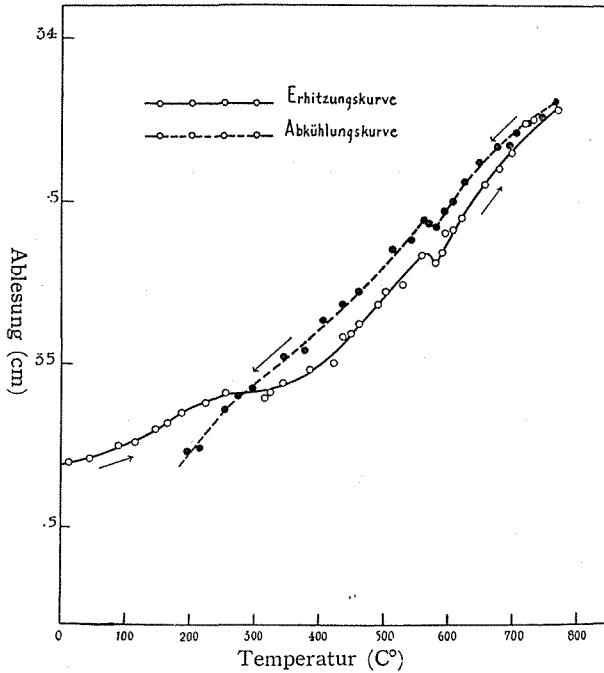
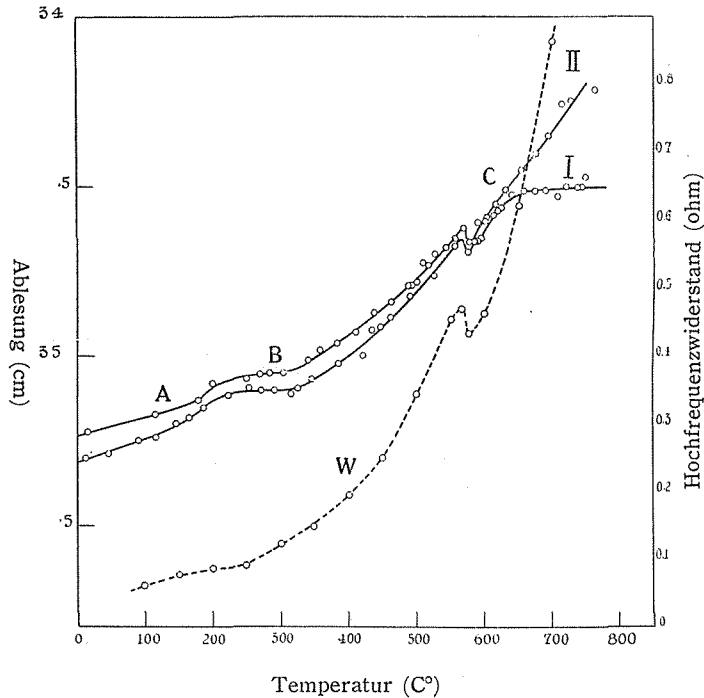


Abb. 35

Die Versuche an der zur optischen Achse parallel geschnittenen Probe



Beim Abkühlen zeigt das dielektrische Verhalten annähernd denselben Verlauf. Unterhalb von etwa 500°C sind aber die Messungen niedriger als die in ersterem Falle. Der Unterschied zwischen der bei den beiden Verfahren beobachteten Umwandlungstemperaturen überschreitet nicht  $\pm 2^\circ$ .

Vor kurzem hat K. NAKHMURA<sup>1)</sup> einigen Untersuchungen über den Hochfrequenzwiderstand des Quarzes bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Wie in Abb. 33 graphisch dargestellt wird, ist die dielektrische Änderung der des Hochfrequenzwiderstandes beinahe analog.

In ganz derselben Weise wurden die Versuche an dem zur optischen Achse parallel geschnittenen Quarz durchgeführt. Die Resultate sind in der obigen Tabelle zusammengefasst und die graphische Darstellung bieten Abb. 34 und 35. In diesem Falle zeigt sich augenfällig das verschiedene Verhalten. Bis auf etwa 200°C nimmt die Dielektrizitätskonstante in linearer Weise zu, ebenso wie die bei dem zur optischen Achse senkrecht geschnittenen Quarzplättchen mit anwachsender Temperatur. Alsdann wird die Veränderung bedeutend grösser, während bei der Umwandlungstemperatur die dielektrische Zunahme eine kleine Diskontinuität zeigt. Die dielektrische Änderung bei Quarz im  $\beta$ -Zustand wird mit zunehmender Erhöhung der

1) K. NAKAMURA, loc. cit.

Temperatur ebenfalls gleichmässig gesteigert, abgesehen von Fall I, in welchem die Zunahme mit der Temperatur beschleunigt wird. Diese Ergebnisse decken sich in den Einzelheiten mit der von K. NAKAMURA ermittelten Veränderung des Hochfrequenzwiderstandes. Beim Abkühlen traten die Erscheinungen beinahe in umgekehrter Weise ein, wie in Abb. 34 ersichtlich ist, während unterhalb von 200°C die letztere eine niedrigere Skala-lesung erkennen lässt.

#### (IV) Zusammenfassung

(1) Die Versuche über die Dielektrizitätskonstanten von Mineralien gründen sich auf die Starksche Methode, doch wurden sie mit einer ungedämpften Schwingung unternommen.

(2) Zur Erzeugung der elektrischen Schwingung wurde eine tripode Vakuumröhre, welche von der Nippon Funkentelegraphie und Funkentelephon Gesellschaft insbesondere zur Erzeugung der Ultrakurzwellen hergestellt wird, benutzt.

(3) Ein Kondensator, darin das zu untersuchende Mineral enthalten ist, wird in einen Resonanzkreis eingeschaltet und die Resonanzstelle ein Vakuumthermoelement und einen Galvanometer ermittelt.

(4) Aus den Versuchsergebnissen an Schliften berechneten wir die Hauptdielektrizitätskonstanten nach folgender Formel;

$$\epsilon = \epsilon_I \cos^2 \alpha + \epsilon_{II} \cos^2 \beta + \epsilon_{III} \cos^2 \gamma$$

Es bedurfte deshalb bei einachsigen Kristallen zweier und bei zweiachsigen Kristallen dreier Versuche.

(5) Bei den vom Verfasser ausgeführten Versuchen handelte es sich um 62 Arten von Proben, die Messungen wurden unter einer bestimmten elektrischen Schwingung, die der Wellenlänge von 101.43 cm entspricht, und einer bestimmten Temperatur von  $25^\circ \pm 0.1^\circ\text{C}$  ausgeführt.

(6) Die Beziehung zwischen der Dielektrizitätskonstanten und dem Anorthitgehalt von Plagioklas wird experimentel in folgender Formel dargestellt, woin  $\epsilon$  die beobachteten Dielektrizitätskonstanten und An den Anorthitgehalt in Prozent darstellt.

$$\epsilon = 5.473 + 0.0241A_n - 0.000070A_n^2$$

$\pm 16 \quad \pm 10 \quad \pm 10$

(7) Die Versuche über das dielektrische Verhalten bei Erhitzung wurden bei den Mineralproben Schwefel, Zinkblende, Aragonit, Kalkspat Leucit, Flussspat und Quarz unternommen. Bei der Umwandlung von rhom.  $S_2 \rightleftharpoons$  monk.  $S$  weist die Dielektrizitätskonstante einen kleinen beschleunigten Anstieg auf und zeigt dann bei Annäherung an den Schmelzpunkt eine starke Steigerung, ebenso wie die kurve der Leitfähigkeit.

(8) Die Versuche über das dielektrische Verhalten bei Erhitzung wurden bei drei Proben von Zinkblende unternommen, ihre Kurven liessen bei etwa  $220^\circ\text{C}$  eine unkontinuierliche Änderung erkennen. Dies dürfte wahrscheinlich auf der Tatsache, dass die Zinkblende hierdurch einige Risse erfährt, beruhen.

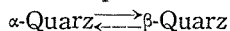
(9) Die Erhitzungsversuche wurden alle bei zu der Symmetrieachse senkrecht geschliffenen Aragonitkristallen unternommen. Wenn die Temperatur auf 385°C ansteigt, tritt eine unkontinuierliche Veränderung ein, bei 473°C erkennt man eine auffallende Verringerung. Derartige unkontinuierliche dielektrische Veränderungen dürften auf die gut bekannte Umwandlung des Aragonit in Kalkspat zurückzuführen sein.

(10) Nach dem Versuche an zwei zur optischen Achse parallel und senkrecht geschnittenen Plättchen von Kalkspat wird ein allmählicher Anstieg der Dielektrizitätskonstante bei Erhöhung der Temperatur aufgeweist.

(11) Die Versuche am Schliff der Leucitkristalle lehren, dass die Werte der Dielektrizitätskonstanten mit steigender Temperatur fast in linearer Weise zunehmen und zwar wird etwa 600°C ab die Zunahme schneller, oberhalb 677°C wird sie annähernd konstant. Dieser unkontinuierliche Verlauf beruht sicher auf dem gut bekannten Umwandlungsvorgang  $\alpha$ -Leucit  $\rightleftharpoons$   $\beta$ -Leucit. Bei vorsichtigem Abkühlen verläuft die Umwandlung ohne Verzögerung in der umgekehrten Richtung.

(12) Drei Versuche über die dielektrischen Erscheinungen beim Erhitzen an Flussspatkristallen wurden unternommen. Das Resultat ergab, dass die Kurve bei etwa 200°C eine schwache Unkontinuität des dielektrischen Verlaufs erkennen lässt.

(13) Die allotropische Umwandlung des Quarzes,



vollzieht sich dielektrisch mit einem auffallenden Abfall der Dielektrizitätskonstanten. Wir ersehen aus dem vorliegenden Versuche, dass die Umwandlungstemperatur etwa 574°C entspricht. Beim Abkühlen beobachten wir einen annähernd umgekehrten Verlauf.

Zum Schlusse möchte ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. A. MATSUBARA, meinen aufrichtigsten Dank aussprechen für die Anregung zu dieser Arbeit und die vielfache Förderung während ihrer Durchführung.