

Über die Änderungen des optischen Achsenwinkels in Gips mit der Temperatur¹.

Von

E. H. Kraus und L. J. Youngs in Ann Arbor.

Mit 7 Textfiguren.

Inhalt.		Seite
1. Einleitung		124
2. Beschreibung des Apparats		125
3. Untersuchungsmethoden		126
4. Beobachtungen im Ölbad		127
a) Allgemeine Bemerkungen		127
b) Messung des scheinbaren Achsenwinkels $2H_a$ bei ver- schiedenen Temperaturen		127
c) Feststellung der Temperatur der Einachsigkeit		128
d) Graphische Darstellung der Änderungen des optischen Achsenwinkels		130
e) Graphische Darstellungen der Veränderungen der beiden optischen Achsen und der ersten Mittellinie		132
f) Temperatur des Eintretens der Undurchsichtigkeit des Gipses		135
g) Bestimmung des wahren Achsenwinkels $2V_a$ bei verschie- denen Temperaturen		135
5. Beobachtungen im Luftbad		137
a) Allgemeine Bemerkungen		137
b) Vorläufige Versuche		138
c) Messung des scheinbaren Achsenwinkels $2E_a$ bei verschie- denen Temperaturen		140

¹ Die Hauptresultate dieser Untersuchung wurden am 27. Dezember 1911 der Versammlung der Geological Society of America in Washington, D. C., vorgetragen. (Siehe Science. 1912. 35. 313; auch Bulletin of the Geological Society of America. 1912. 23, 37.)

	Seite
d) Feststellungen der Temperatur der Einachsigkeit	141
e) Graphische Darstellungen der Veränderungen des scheinbaren Achsenwinkels $2E_a$	143
f) Graphische Darstellung der Veränderungen der beiden optischen Achsen und der ersten Mittellinie	144
g) Temperatur des Eintretens der Undurchsichtigkeit des Gipses	144
6. Diskussion der Resultate der zwei Methoden	144
7. Schlußfolgerungen	145
8. Anhang	146

1. Einleitung.

Vor kurzem zeigte BRAUNS¹, daß die von DES CLOIZEAUX² in 1867 (116° für rotes Licht) und von TUTTON³ in 1909 ($105,2^\circ$, $109,5^\circ$, $111,3^\circ$ und $114,2^\circ$ C für Natriumlicht) angegebenen Temperaturen, bei welchen Gips optisch einachsig wird, bedeutend zu hoch sind und bemerkte, da er die Einachsigkeit wiederholt schon durch Erhitzen einer richtig orientierten Platte auf dem Wasserbade hervorbringen konnte, daß zweifelsohne die Temperatur der Einachsigkeit bedeutend unterhalb 100° C liegen muß. Demgemäß führte BRAUNS auch die frühere Temperaturangabe von MITSCHERLICH⁴, der die großen Änderungen des optischen Achsenwinkels in Gips zuerst beobachtete, an, und behauptete, daß dieselbe im wesentlichen richtig sein muß, da MITSCHERLICH die Einachsigkeit bei ca. $73,5^\circ$ R, d. h. $91,875^\circ$ C bemerkte.

TUTTON glaubte, daß die großen Änderungen in den von ihm beobachteten Temperaturen (eine Schwankung von neun Grad) von Variationen der optischen Konstanten in den verschiedenen angewandten Platten herrührten. Daß BRAUNS (l. c. p. 405) jedoch nicht derselben Meinung ist, kann man leicht aus folgenden Worten entnehmen: „Die für eine chemisch homogene Substanz auffallenden Schwankungen von $2E$, welche die Messungen von TUTTON ergeben haben, möchte ich nicht auf eine Verschiedenheit der optischen Konstanten in den untersuchten Gipsplatten, sondern,

¹ Centralbl. f. Min. etc. 1911. p. 401—405.

² Nouvelles recherches sur les proprietes optiques des cristaux. Paris 1867. p. 135.

³ Zeitschr. f. Krist. 1909. 46. 135—153; Ref. dies. Jahrb. 1910. II. -364-.

⁴ POGGENDORFF'S Annalen. 1826. 8. 519.

bei der großen Empfindlichkeit des Gipses gegen die Temperatur, auf unvollkommene und ungleichmäßige Durchwärmung zurückführen; ebenso kann es nur hieran liegen, daß TUTTON die Temperatur, bei der Einachsigkeit eintritt, auf über 100° bestimmt hat.“

Obzwar TUTTON angibt, daß die Einachsigkeit in verschiedenen Platten bei $105,2^{\circ}$, $109,5^{\circ}$, $111,3^{\circ}$ und $114,2^{\circ}$ C beobachtet wurde, ist leicht aus Fig. 4, die er auf p. 146 (l. c.) anführt, zu entnehmen, daß bei einer Temperatur bedeutend unterhalb 105° C die zwei Brechungsexponenten α und β gleich groß sind, und daher der Gips weit unter den oben angegebenen Temperaturen optisch einachsig sein muß. Die Temperatur der Einachsigkeit ist nicht von BRAUNS bestimmt worden, da er glaubte, daß zur Zeit ihm kein Apparat zur Verfügung stehe, mit welchem man eine vollständige und gleichmäßige Durchwärmung der Gipsplatte hervorbringen, sowie auch genaue Temperaturmessungen und Beobachtungen im konvergenten polarisierten Lichte machen könnte.

2. Beschreibung des Apparates.

Um die Änderungen des optischen Achsenwinkels bei verschiedenen Temperaturen näher zu untersuchen und auch die Temperatur, bei welcher das einachsige Interferenzbild auftritt, festzustellen, haben wir den gewöhnlichen, von FUESS gelieferten Achsenwinkelapparat nebst metallinem Erhitzungskasten benutzt, aber in folgender Weise modifiziert. Der Kasten ist wasser-, oder besser gesagt öldicht, gemacht worden, indem die zwei Glasfenster durch eine Lösung von Natriumsilikat fest an das Metall angekittet wurden. Der Kasten ist dann mit dicker Asbestpappe umgeben worden, um die durch Wärmeleitung verursachten großen Schwankungen der Temperatur während der Untersuchung möglichst zu verhindern. Der Kasten ist dann in üblicher Weise an den Achsenwinkelapparat gebracht und die Gipsplatte richtig darin orientiert worden. Der Apparat wurde nun durch ein oben angebrachtes, horizontal liegendes Stück und vier vertikal gestellte Stücke von dicker Asbestpappe eingeschlossen. Die vertikal gestellten Pappen waren so arrangiert, daß man mittels zweier BUNSEN'schen Gasbrennerr den mit Asbest umschlagenen Kasten direkt erhitzen, und gleichzeitig auch all die nötigen Beobachtungen im konvergenten polarisierten Lichte bequem ausführen konnte. Die horizontal liegende Pappe diente als Decke der vertikalen,

welche zusammen in dieser Weise einen Asbestkasten, jedoch ohne Boden bei den Untersuchungen in Öl machten, in dessen Mitte der die zu untersuchende Gipsplatte enthaltende metallene Kasten stand. Bei den Untersuchungen im Luftbad ist jedoch eine zweite horizontale Asbestpappe nötig, welche als Boden dient und viel dazu beiträgt die Temperatur im inneren Kasten konstant zu halten. Der Zweck dieses großen Asbestkastens war, die Ableitung der Hitze und die Bildung von störenden Luftströmen möglichst zu vermeiden. Der Apparat muß in diesem eingeschlossen sein, sonst sind die beobachteten Temperaturen zu hoch, indem die Durchwärmung der Gipsplatte viel länger als die des umgebenden Mediums braucht. In einigen vorläufigen Versuchen, wobei der äußere Asbestkasten nicht angebracht wurde, wurden Temperaturen von ca. 95° C für das Eintreten der Einachsigkeit in Öl beobachtet. Diese Temperaturen sind jedoch, wie später gezeigt werden soll, ungefähr 5° zu hoch.

Bei Beobachtungen unter 100° wurden zwei Thermometer, die Schwankungen von 0,1° C, oberhalb 100° solche, welche 0,2° C angeben, benutzt. Diese ca. 0,65 m langen Thermometer sind so gestellt worden, daß sie durch die obere, horizontale Asbestpappe gingen und in den metallenen Erhitzungskasten drangen. Die Thermometerkolben und die Gipsplatte waren immer in gleicher Höhe und so nahe aneinander wie möglich befestigt.

3. Untersuchungsmethoden.

Die Untersuchungen sind mit verschiedenen von STEEG und REUTER hergestellten Gipsplatten ausgeführt worden. Vier Platten waren senkrecht zur ersten Mittellinie geschnitten, wovon drei in metallenen Rahmen montiert waren. Eine Platte senkrecht zur zweiten Mittellinie wurde in Verbindung mit den obigen zum Bestimmen des wahren Achsenwinkels auch benutzt.

Die Untersuchungen sind nach zwei Methoden ausgeführt worden, indem der metallene Kasten als 1. Öl- und 2. als Luftbad benützt wurde. Das angewandte Öl war ein wasserklares und durchsichtiges Paraffinöl mit einem Brechungsexponenten von 1,4702 und einem Siedepunkt oberhalb 135°. Um die Änderungen des optischen Achsenwinkels bis zur Einachsigkeit zu verfolgen, mußte die Gipsplatte selbstverständlich so auf dem Apparat montiert sein, daß die Ebene der optischen Achsen horizontal war,

aber um die Vergrößerung des Winkels jenseits des Punktes der Einachsigkeit zu messen, wurde die Platte um 90° gedreht, so daß die Achsenebene bei den niedrigen Temperaturen vertikal stand, d. h. um den Winkel der optischen Achsen bei verschiedenen Temperaturen zu messen, z. B. von Zimmertemperatur bis zur Undurchsichtigkeit der Platte, welche bei 128° in Luft und $132,5^\circ$ in Öl stattfand, mußten die Gipsplatten, wie oben angegeben, zwei Stellungen haben.

Um möglichst genaue Temperaturangaben zu bekommen, wurde die Erhitzung sehr langsam ausgeführt, denn einige vorläufige Untersuchungen zeigten, daß die Geschwindigkeit, mit welcher die Erhitzung stattfindet, einen großen Einfluß auf die Temperatur der Einachsigkeit ausübt. Dies ist besonders der Fall, wenn die Beobachtungen in Luft gemacht werden, und demgemäß dauerte die Erhitzung bis zur Einachsigkeit mehrere Stunden. Diese Schwankungen in der Temperatur der Einachsigkeit sollen später im Detail besprochen werden.

4. Beobachtungen im Ölbad.

a) Allgemeine Bemerkungen.

Um den Einfluß von dem eventuellen Verlust durch Wärmeleitung und die unregelmäßige Durchwärmung der Gipsplatte, sowie auch alle Variationen der Temperatur in den Thermometern und der Gipsplatte möglichst vollkommen zu eliminieren, wurde der metallene Kasten des FUESS'schen Achsenwinkelapparates als Ölbad in der oben beschriebenen Weise zum Messen der Veränderungen des Achsenwinkels und der Lage der beiden Achsen bei verschiedenen Temperaturen gebraucht. Die Angaben über Temperaturen und Größen der Winkel sind bei den niedrigeren Temperaturen sehr akkurat, bei den höheren jedoch etwas weniger genau. Dies ist besonders der Fall in der Nähe der Einachsigkeit, wo die Veränderungen mit großer Geschwindigkeit stattfinden, wie leicht aus der Kurve in Fig. 1, p. 131, zu sehen ist.

b) Messung des scheinbaren Achsenwinkels $2H_a$ bei verschiedenen Temperaturen.

Vier Platten senkrecht zur ersten Mittellinie wurden angewandt, um den scheinbaren Winkel $2H_a$ in Öl bei verschiedenen Temperaturen bis zur Einachsigkeit zu messen. Platten I, II

und III waren in Metallrahmen montiert, während Platte IV ohne Montierung direkt in dem Plattenhalter des Apparates befestigt wurde. Zur Messung der scheinbaren Winkel jenseits des Punktes der Einachsigkeit ist nur eine Platte, No. IV, in der betreffenden Orientierung benutzt worden.

Die folgende Tabelle gibt die beobachteten scheinbaren Winkel in Öl bei verschiedenen Temperaturen von $18,2^{\circ}$ bis zum Eintreten der Undurchsichtigkeit der Gipsplatte bei $132,5^{\circ}$ C. Alle Beobachtungen wurden im Natriumlicht ausgeführt (p. 129).

c) Feststellung der Temperatur der Einachsigkeit.

Wie BRAUNS (l. c. p. 405) angibt, ist der Gips sehr empfindlich gegen sehr geringe Schwankungen der Temperatur, und dies ist besonders der Fall in der Nähe der Einachsigkeit. Um diese Temperatur festzustellen, wurden mehrere Beobachtungen derselben unter Benutzung verschiedener Platten gemacht. Die folgende Tabelle zeigt deutlich, daß, obzwar die Erhitzung in Öl stattfand, die beobachteten Temperaturen, bei welchen die Kreuzung der Achsen beim Erwärmen und beim Abkühlen nicht dieselben sind, sondern daß immer eine merkliche Differenz zu notieren ist. Wurde die Temperatur durch Vergrößerung oder Verkleinerung der Gasflamme geändert, so konnte man solche Änderungen bedeutend eher in der Größe der Achsenwinkel als in der Lage des Quecksilbers in den Thermometern bemerken. Das heißt, der Gips ist scheinbar empfindlicher gegen Hitze als das Quecksilberthermometer, obgleich dasselbe Schwankungen von $0,1^{\circ}$ C angeben soll. Die in der Tabelle auf p. 129 gegebene Temperatur der Einachsigkeit, $89,67^{\circ}$ C, ist das Mittel aller Beobachtungen an den vier angewandten Platten beim Erwärmen und Abkühlen derselben.

Temperaturen der Einachsigkeit in Öl für verschiedene Platten.

Nummer der Platte				
I	II	III	IV	Mittel
Beim Erwärmen				
89,35°	89,2°	89,3°	89,8°	89,42°
89,30	89,2	89,8	—	
Beim Abkühlen				
90,1	89,4	89,8	90,6	89,92
89,7	89,6	90,3	—	

Scheinbare Winkel der optischen Achsen in Öl bei verschiedenen Temperaturen.

Temperatur	Plattensnummer				Mittel
	I	II	III	IV	
18,2°C	—	—	60° 31'	60° 31'	60° 31'
22	59° 4'	59°	59	58 58	59
32	55 16	54 43'	54 42	55	54 55
42	50 19	50 20	49 58	50 6	50 12
52	45 9	44 54	45 19	45 16	45 10
62	38 51	38 56	38 51	38 52	38 52
72	31 26	31 46	31 26	31 18	31 29
82	21 2	20 39	21 2	21 5	20 57
84	17 42	—	18 26	—	18 4
87	12 8	12 1	14 44	14 20	13 18
89,67	0	0	0	0	Einachsigt
92	10 14	11 11 ¹	—	—	10 42
94	15 18	14 36	—	14 35	14 44
97	20 23	20 35	—	19 42	20 14
99	22 53	—	—	—	22 53
100	24 6	24 24	—	23 30	24
101	24 56	—	—	—	24 56
102	25 34	25 53	—	25 15	25 34
105	29 7	28 41	—	28 38	28 49
108	31 28	31 14	—	31 15	31 19
110	33 22	32 46	—	32 54	32 41
112	35 16	—	—	34 29	34 53
113	35 38	35 36	—	35 12	35 28
115	37 10	37 14	—	36 42	37 2
118	39 8	39 16	—	38 47	39 4
120	—	40 34	—	40 28	40 31
121	—	—	—	—	Schwache Trübung
122	—	42	—	41 24	41 42
125	—	—	—	43 45	43 45
127	—	—	—	45 3	45 3
128,5	—	—	—	45 55	45 55
130	—	—	—	46 30	46 30
132	—	—	—	47 15	47 15
132,5	—	—	—	47 39	47 39

¹ Diese und die folgenden Beobachtungen wurden auch an Platte No. I gemacht.

Das Mittel aller dieser Beobachtungen, $89,67^{\circ}$ C, welches bedeutend niedriger ist als die von DES CLOIZEAUX und TUTTON beobachteten Temperaturen der Einachsigkeit, ist jedoch weniger als 3° niedriger als die Temperatur, nämlich $91,875^{\circ}$ C, welche von MITSCHERLICH schon in 1826 angegeben wurde. Diese Bestimmung bestätigt die Beobachtungen von BRAUNS, daß die Einachsigkeit bei einer Temperatur bedeutend unter 100° C eintritt, und verhilft den alten Beobachtungen von MITSCHERLICH zu ihrem Recht ¹.

Daß DES CLOIZEAUX und TUTTON ihre Bestimmungen durch Erhitzung der Gipsplatte in Luft und nicht in Öl machten, muß hier wieder erwähnt werden. Aber wie später gezeigt werden soll, sind ihre Bestimmungen immerhin unrichtig, denn durch langsame Erhitzung im Luftbad, wie auch im Ölbad, findet das Kreuzen der optischen Achsen bei Temperaturen bedeutend unterhalb 100° C statt.

An dieser Stelle müssen auch die Beobachtungen, über welche HUTCHINSON² am 11. November 1911 in der Mineralogical Society zu London berichtete, besprochen werden. Mittels einer mit einem Glasstöpsel versehenen Zelle, durch welche ein Wasserstrom von der betreffenden Temperatur floß, beobachtete HUTCHINSON die Temperatur der Einachsigkeit unter dem Mikroskop. Nach ihm soll das Einachsinterferenzbild bei einer Temperatur von „ 25° C“ zu beobachten sein. Diese Temperatur ist sehr wahrscheinlich durch einen Druckfehler unrichtig angegeben und soll sicherlich 95° C heißen ³. Ist dieses jedoch der Fall, so wäre die von HUTCHINSON beobachtete Temperatur immerhin ca. 5° zu hoch.

d) Graphische Darstellung der Änderungen des optischen Achsenwinkels.

Fig. 1 zeigt graphisch die Änderungen in der Größe des Achsenwinkels, welche zwischen $18,2^{\circ}$ und dem Eintreten der Undurchsichtigkeit der Gipsplatte bei $132,5^{\circ}$ C stattfinden. Die Figur zeigt auch deutlich, was MITSCHERLICH schon bemerkte, nämlich daß die Änderungen mit zunehmender Temperatur in einem

¹ Siehe den Anhang p. 146.

² Nature. 1911. 88. 105.

³ Im Centralbl. f. Min. etc. 1912. p. 64. (1. März 1912) ist die Temperatur zu 95° C angegeben. Vergl. auch den Anhang p. 146.

steigenden Verhältnis geschehen. Dies ist der Fall nur bis die Einachsigkeit eintritt, denn bei höheren Temperaturen finden die Änderungen im umgekehrten Verhältnis statt, was auch leicht aus folgender Zusammenstellung der Werte des Achsenwinkels bei verschiedenen Temperaturen, welche der Kurve entnommen

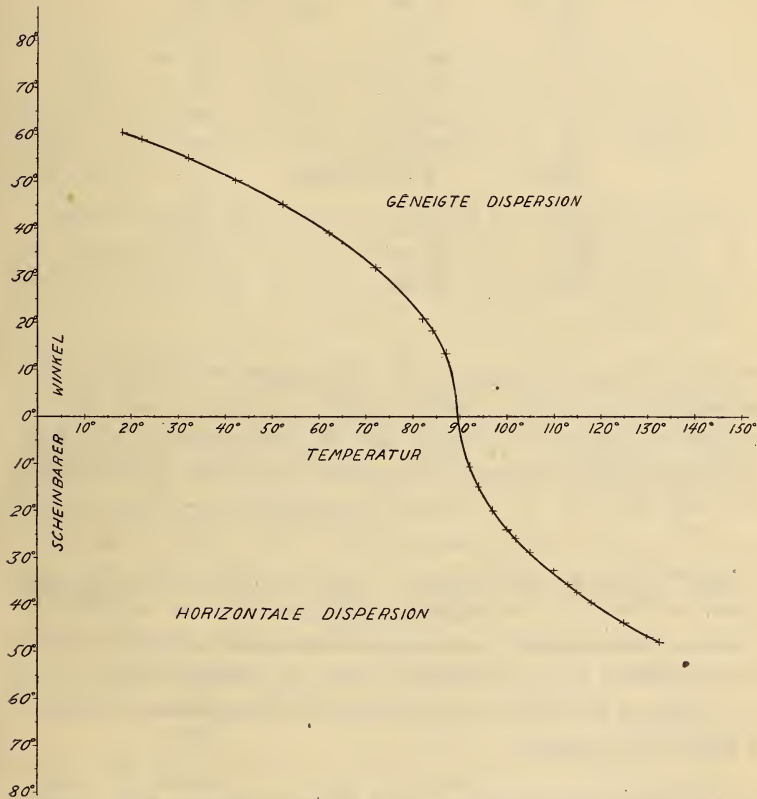


Fig. 1. Änderungen des scheinbaren optischen Achsenwinkels in Öl.

sind, zu ersehen ist. Die Temperaturintervalle sind 10° mit Ausnahme von denen zwischen 80° und 89,67°, und zwischen 89,67° und 100°, die resp. etwas kleiner und größer als 10° sind.

Über die Tatsache, daß bei den Temperaturen oberhalb des Punktes der Einachsigkeit die Änderungen im umgekehrten Verhältnis als bei den tieferen Temperaturen stattfinden, berichtete MITSCHERLICH überhaupt nicht, denn seine Beobachtungen be-

**Änderungen in den Achsenwinkeln bei Temperatur-
intervallen von 10° in Öl.**

Temperatur	Achsenwinkel	Änderung
20°	59° 46'	—
30	55 46	— 4°
40	51 18	— 4 28'
50	46 12	— 5 6
60	40 25	— 5 47
70	33 17	— 7 8
80	23 40	— 9 37
89,67	0 (Einachsig)	— 23 40
100	24	+ 24
110	33 30	+ 9 30
120	40 31	+ 7 1
130	46 30	+ 5 59

zogen sich hauptsächlich auf die Änderungen unterhalb der Einachsigkeitstemperatur. Ferner zeigen die Kurve und die Zusammenstellungen der Winkel, daß die Änderungen in der Nähe der Einachsigkeit außerordentlich schnell stattfinden, denn zwischen 80° und 89,67° d. h., in einem Temperaturintervall von weniger als 10° ist eine Verkleinerung um 23° 40' in der Größe des optischen Achsenwinkels zu konstatieren. Analoge Änderungen sind auch jenseits 89,67° zu beobachten, aber natürlich in umgekehrter Weise, denn die Kurve, welche in ihrem ganzen Verlauf in einer und derselben Ebene gezeichnet wurde, ist scheinbar symmetrisch in bezug auf den Punkt der Einachsigkeit und daher einer kubischen Parabel sehr ähnlich.

e) Graphische Darstellung der Veränderungen der beiden optischen Achsen und der ersten Mittellinie in Öl.

NEUMANN¹ zeigte 1835, daß die beiden Achsen sich mit sehr verschiedener Geschwindigkeit bewegen, und zwar ändert die im weißen Lichte rot erscheinende Achse ihre Stelle bedeutend langsamer als die andere Achse. Er beobachtete unter Benutzung eines Bades aus Rüböl, daß die Veränderungen zwischen 15,3° R und 52,2° R, resp. 19,1° und 65,25° C, für die rote Achse 9° 13'

¹ POGGENDORFF'S Annalen der Physik und Chemie. 1835. 35. 93.

und für die andere (blaue) $13^{\circ} 39'$ betragen, und aus diesen Beobachtungen berechnete NAUMANN, daß die zwei Achsen zwischen $19,1^{\circ} \text{ C}$ und dem Kreuzungspunkt derselben ihre Stellen wirklich in folgender Weise ändern würden:

- die rote Achse $25^{\circ} 8'$
- die matte Achse $32^{\circ} 49'$.

NEUMANN sagte auch weiter: „Die matte Achse hat sich also um $7^{\circ} 41'$ mehr verändert als die rote, und die Drehung der größten und kleinsten Elastizitätsachsen um die mittlere beträgt $3^{\circ} 50'$.“

Diese Beobachtungen NEUMANN's und die in folgender Tabelle von uns gegebenen Werte stimmen sehr gut überein, denn die Brechungsexponenten des von NEUMANN benutzten Rüböls und des von uns angewandten Paraffinöls sind von fast gleicher Größe, resp. 1,472 und 1,4702.

Die von uns beobachteten Veränderungen in der Lage der beiden optischen Achsen und der ersten Mittellinie, welche selbstverständlich ihre Stelle auch ändern muß, sind in folgender Tabelle gegeben. Diese Werte sind Mittelwerte aller an zwei verschiedenen Platten ausgeführten Beobachtungen.

Änderungen in der Lage der beiden optischen Achsen und der ersten Mittellinie in Öl.

Temperatur	Änderung der blauen Achse	Differenz	Änderung der roten Achse	Differenz	Änderung der ersten Mittellinie
22 ^o	33 ^o 12'	—	25 ^o 46'	—	3 ^o 43'
32	30 56	2 ^o 16'	23 55	1 ^o 51'	3 30
42	28 1	2 55	22 1	1 54	3
52	24 54	3 7	20	2 1	2 27
62	21 12	3 42	17 39	2 21	1 47
72	16 44	4 28	14 30	3 9	1 7
82	11 10	5 34	9 54	4 36	38
89,67	0	11 10	0	9 54	0
102	12 16	12 16	12 59	12 59	—
112	16 59	4 43	17 29	4 30	—
122	20 30	3 31	21 5	3 36	—
132,5	23 32	3 2	24 7	3 2	—

Diese Veränderungen sind jedoch aus dem Verlauf der verschiedenen Kurven in Fig. 2 besser ersichtlich. Diese Kurven sind auch in einer Ebene gezeichnet. Zwischen $18,2^\circ$ und dem Kreuzungspunkt der beiden Achsen bewegt sich die rote Achse durch $26^\circ 20'$, während die blaue ihre Stelle um 35° änderte. Die Lageveränderung der ersten Mittellinie betrug $4^\circ 20'$.

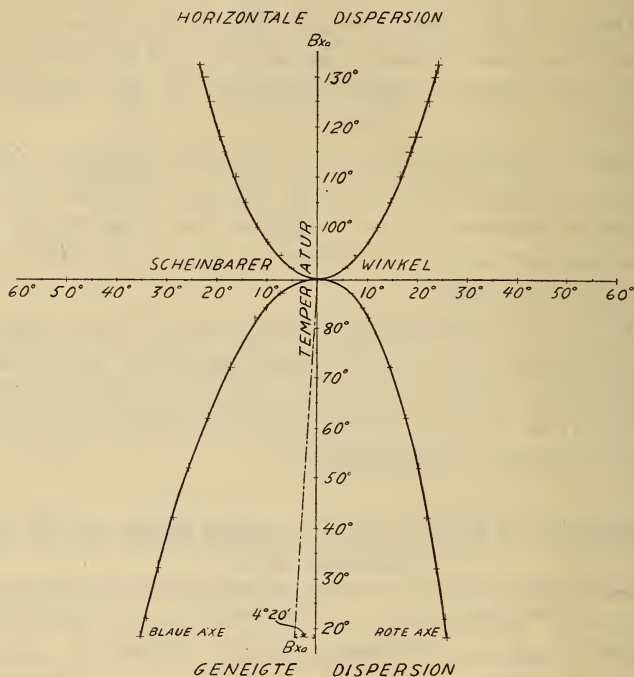


Fig. 2. Änderungen der beiden optischen Achsen und der ersten Mittellinie in Öl.

Diese Ungleichheit in den Geschwindigkeiten, mit welchen sich die Achsen unterhalb des Einachsigkeitpunktes bewegen, ist auf die geneigte Dispersion zurückzuführen. Oberhalb der Temperatur für die Einachsigkeit ändert sich jedoch die Dispersion, indem die optische Achsenebene jetzt senkrecht auf der Symmetrieebene des Kristalls steht, d. h. die Dispersion ist nun horizontal, und die beiden Achsen müssen sich mit gleicher Geschwindigkeit in bezug auf die erste Mittellinie, welche in der Symmetrieebene

liegt, bewegen. Das heißt, die Kurven für die beiden Achsen sind jetzt symmetrisch. Die Achsenebene bewegt sich beträchtlich, aber in solcher Weise, daß sie immer senkrecht auf der Symmetrieebene, wie oben angegeben, steht. Diese Bewegung der Achsenebene konnten wir jedoch nicht messen.

f) Temperatur des Eintretens der Undurchsichtigkeit des Gips.

Nach VAN'T HOFF¹ wandelt sich der Gips bei einer Temperatur von 107° C in das sogen. Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) um. Diese Umwandlung erleidet jedoch leicht eine Verzögerung und tritt deshalb meistens erst bei 120° ein. Um die scheinbaren Achsenwinkel in Öl soweit wie möglich festzustellen, wurde eine Platte bis zur vollkommenen Undurchsichtigkeit erhitzt. Bei einer Temperatur von 121° C wurde eine geringe Trübung derselben zuerst bemerkt, was sehr wahrscheinlich durch das Eintreten der Umwandlung in das Halbhydrat an der Oberfläche verursacht worden ist. Bei steigender Temperatur nahm diese Trübung zu, aber die optischen Achsen konnten noch ziemlich deutlich bis zu einer Temperatur von 132,5° C beobachtet werden. (Vergl. die Tabelle p. 129; auch Fig. 1 und 2.) Bei dieser Temperatur war die Platte jedoch nur oberflächlich undurchsichtig, so daß man demgemäß annehmen muß, daß die Achsen zweifelsohne bei Anwendung eines stärkeren Natriumlichtes, als wir zur Verfügung hatten, bei bedeutend höheren Temperaturen noch leicht sichtbar sein würden. Das Eintreten der Trübung bei ca. 121° C stimmt mit den Angaben von VAN'T HOFF, wie oben angeführt, gut überein.

g) Bestimmung des wahren Achsenwinkels, $2V_a$, bei verschiedenen Temperaturen.

Um den wahren Achsenwinkel bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen, wurden die scheinbaren stumpfen Winkel mittels einer senkrecht zur zweiten Mittellinie geschnittenen Platte bei 22°, 32° und 42° mit folgenden Resultaten gemessen:

¹ Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1900. No. 18 der Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen; auch dies. Jahrb. 1902. II. 6 und Centralbl. f. Min. etc. 1911. 403.

$2H_o$ in Öl.

Temperatur	Winkel
22°	131° 7,5'
32	137 3
42	143 13

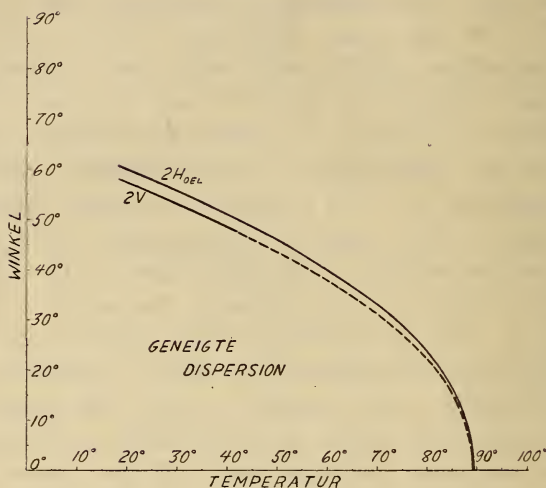


Fig. 3. Vergleichung der Änderungen bei den wahren und scheinbaren optischen Achsenwinkeln in Öl, resp. $2V$ und $2H_{o1}$.

Messungen bei höheren Temperaturen konnten nicht ausgeführt werden. Mittels der Formel $\tan V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}$ wurden dann die wahren Achsenwinkel bei den angegebenen Temperaturen berechnet wie folgt:

 $2V_a$.

Temperatur	Winkel
22°	56° 49'
32	52 43
42	48 10

Diese Werte sind auch in Fig. 3, welche die kleinen Unterschiede zwischen den wahren und den scheinbaren Achsenwinkeln in Öl angeben soll, eingeführt worden. Da der Brechungsindex 1,4702 des angewandten Öls von annähernd gleicher Größe wie $\beta = 1,5228$ des Gipses ist, weichen die angegebenen Größen über die scheinbaren Winkel nicht bedeutend von denen der wahren ab.

Da wir nicht imstande waren, den Brechungsindex des Öls bei verschiedenen Temperaturen zu bestimmen, haben wir die angegebenen Werte über die Brechungsexponenten des Öls und β des Gipses benutzt, um den wahren Achsenwinkel bei 52° , 62° , 72° und 82° zu berechnen. TUTTON (l. c. p. 146) zeigte, daß β bei steigender Temperatur merklich kleiner wird, und da dieser Index selbstverständlich beim Eintreten der Einachsigkeit gleich α sein muß, ist leicht zu ersehen, daß bei den höheren Temperaturen, d. h. in der Nähe des Einachsigkeitpunkts, die angeführten scheinbaren Winkel weniger von den wahren Achsenwinkeln als bei den tieferen Temperaturen abweichen. Die untere Kurve in Fig. 3 gibt die in der Weise annähernd berechneten Werte der wahren Winkel bis zum Eintreten der Einachsigkeit.

5. Beobachtungen im Luftbade.

a) Allgemeine Bemerkungen.

Um, soweit wie möglich, störende Luftströmungen zu verhindern und eine gleichmäßige Erhitzung des Raumes im Bade zu erzielen, wurde der metallene Kasten, wie oben beschrieben, mit Asbestpappe überzogen. Das ganze Instrument wurde dann mit dicken Asbestpappen so eingeschlossen, daß der die Gipsplatte enthaltende Kasten in einem großen aus Asbestpappen bestehenden Luftbad stand. Nur in dieser Weise konnte eine allmähliche und gleichmäßige Erwärmung des inneren Luftbades hervorgebracht werden, was aus der Beschreibung der vorläufigen Versuche zu ersehen ist.

Um den Verlust der Hitze durch den metallenen Plattenhalter möglichst vollkommen zu eliminieren, wurde die mit einem metallenen Rahmen versehene Gipsplatte mittels der kleinen Projektion auf einem Nichtleiter in solcher Weise befestigt, daß derselbe zwischen dem Rahmen und dem Plattenhalter war. Einige vorläufige Versuche sollen aber erst beschrieben werden.

b) Vorläufige Versuche.

In den vorläufigen Versuchen mit dem Luftbad wurde die Platte nicht isoliert, und die Einachsigkeit konnte bei sehr verschiedenen Temperaturen beobachtet werden, je nachdem die Erhitzung langsam oder rasch stattfand. Die folgende Tabelle gibt diese verschiedenen Temperaturen mit den betreffenden Erhitzungsperioden an.

Erhitzungsperiode	Temperatur der Einachsigkeit
4 Stunden	{ 100,3° C beim Erwärmen
	{ 101 " Abkühlen
1 Stunde	{ 98 " Erwärmen
44 Minuten	{ 97,25 " Erwärmen
	{ 100 " Abkühlen
20 Minuten	{ 92 " Erwärmen
	{ 102 " Abkühlen

Von dieser Tabelle ist ersichtlich, daß die Geschwindigkeit, mit welcher das Bad erhitzt wird, und der Verlust durch Wärmeleitung von großer Bedeutung sind. Die bedeutenden Unterschiede zwischen den Temperaturen, bei welchen die Kreuzung der Achsen stattfindet beim Erwärmen und beim Abkühlen, sind zweifelsohne auf die Wärmeleitung durch den Plattenhalter und das Instrument zurückzuführen.

Bei einem Versuch wurde das äußere aus Asbestpappen konstruierte Luftbad entfernt und die Erhitzung sehr rasch, in ca. acht Minuten hervorgebracht, wobei eine Temperatur für das Auftreten der Einachsigkeit von 113,2° C beobachtet wurde. Diese Temperatur stimmt mit den höheren von TURTON erhaltenen gut überein. Um nun festzustellen, daß eine solche Erwärmung im einfachen Luftbad eine sehr unregelmäßige Erhitzung des Raumes des Bades verursachen muß, wurde die Gipsplatte durch ein Thermometer, *B*, wie in Fig. 4 angegeben, ersetzt. Die folgende Tabelle enthält die beobachteten Temperaturen der drei Thermometer, *A*, *B* und *C*, bei verschiedenen Geschwindigkeiten des Erwärmens von Zimmertemperatur, ca. 20°, bis zu den höchsten angegebenen Temperaturen. Bei diesen Versuchen wurde die Gipsplatte, welche mit einem metallenen Rahmen versehen war, direkt im Plattenhalter befestigt.

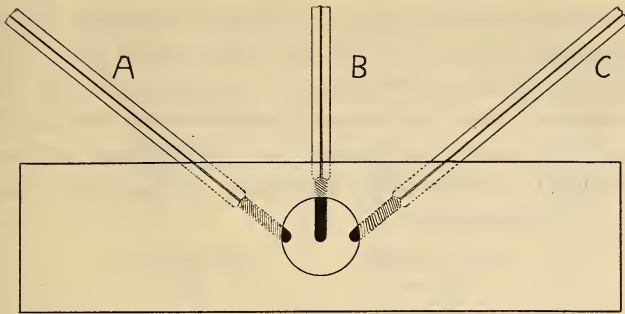


Fig. 4.

Thermometer A	Thermometer B	Thermometer C
Erwärmungsperiode 1 Stunde		
90,2°	90°	90,2°
95,2	95	95,2
100,3	100	100,4
Erwärmungsperiode 25 Minuten		
64,3	65	63,9
82	76,3	85
89,6	80,4	92
99,2	84	101
104,4	96	106
Erwärmungsperiode 10 Minuten		
80,6	74	85
87	79,8	90
94,8	86	95
103,6	94,8	101,8

Aus diesen Beobachtungen ist leicht zu ersehen, daß eine sehr unregelmäßige Erwärmung im einfachen Luftbad erfolgen muß, wenn die Erhitzung rasch geschieht. Da **TURTON** eine Korrektion von 7° in seinen Beobachtungen der Temperatur der Einachsigkeit einführte, ist aus obigen Versuchen anzunehmen, daß er die Gipsplatte ziemlich schnell erhitzte. Die großen Variationen in den Temperaturen der Einachsigkeit, welche die korrigierten **TURTON**'schen Beobachtungen, nämlich 105,2°, 109,5°, 111,3° und 114,2°, zeigen, können auch in dieser Weise erklärt werden.

Um die Wärmeleitung zu vermindern, wurde die mit einem Metallrahmen versehene Platte auf einem Stück Gips befestigt, welches als Nichtleiter zwischen der Gipsplatte und dem Plattenhalter dienen sollte. Bei diesem Versuche wurde aber das äußere Luftbad aus Asbestpappe benutzt, und die Erhitzung sehr langsam vorgenommen mit folgenden Resultaten in bezug auf das Auftreten der Einachsigkeit:

Beim Erwärmen	Beim Abkühlen
97,2°	99°
97,2	97,4
97,1	97,5
Mittel . . . 97,5° C.	

Um nun auszufinden, ob die Einachsigkeit mit dieser Montierung in der Luft nicht etwa bei 90° C eintreten würde, wie es der Fall unter Benutzung des Ölbadest ist, wurde eine Temperatur von 90—91° während 12 Minuten erhalten. Bei dieser Temperatur war aber ein scheinbarer Winkel von ca. 22° zu beobachten.

c) Messung des scheinbaren Achsenwinkels $2E_a$ bei verschiedenen Temperaturen:

Nach den obigen vorläufigen Versuchen wurden zwei Platten (II und III) auf Holz in der in Fig. 5 angegebenen Weise montiert und in dem Plattenhalter befestigt. Platte II wurde so orientiert, daß die Achsenebene horizontal war, und ist für Beobachtungen bis zur Einachsigkeit benutzt worden. Platte III war, nach einer Drehung um 90°, in gleicher Weise montiert und wurde für Beobachtungen oberhalb des Kreuzungspunkts angewandt. In diesem Falle stand die Ebene der optischen Achsen bei Temperaturen unterhalb des Kreuzungspunktes vertikal,



Fig. 5.

Das Instrument war, wie oben unter Allgemeine Bemerkungen, p. 137, beschrieben, mit Asbestpappe eingeschlossen, und die Temperatur ist sehr allmählich gesteigert worden. Wie die folgende Tabelle angibt, konnten Beobachtungen bis zur vollkommenen Undurchsichtigkeit der Gipsplatte bei 128° C gemacht werden.

Scheinbarer Achsenwinkel $2E_a$ bei verschiedenen Temperaturen.

Temperatur	Achsenwinkel $2E_a$ (Platte II)	Temperatur	Achsenwinkel $2E_a$ (Platte III)
-9°C.	115° 5'	97°	26° 12'
0	108 50	100	32 25
10	101 38	101	38 28
22,4	92 54	107	42 21
32	85 13	112	48 17
42	77 21	116	53 9
52	69 2	120	57 13
62	59 35	122	59 6
72	48 28	123	Schwache Betrübung
77	41 43	125	62 13
82	33 46	126	Rasche Betrübung
85	28 5	127	63 23
87	23 32	128	64 47
88	20 50		Undurchsichtig
89	17 42		
91,6	0 Einachsig		

Aus obiger Tabelle sieht man, daß der Winkel $2E_a$ sich, wie in Öl, nicht gleichmäßig mit steigender Temperatur ändert, sondern daß die Veränderungen bis zur Einachsigkeit mit zunehmender, jenseits derselben aber mit abnehmender Geschwindigkeit stattfinden.

d) Feststellung der Temperatur der Einachsigkeit.

Die Temperaturen, bei denen das Kreuzen der optischen Achsen im Luftbad stattfand, sind etwas höher als die, welche mittels Erhitzung im Ölbad erhalten worden sind. Diese Varia-

Temperatur der Einachsigkeit im Luftbad.

Platte	Temperatur	Periode
II	91,4° Beim Erwärmen	3 Stunden
II	91,6 „ Abkühlen	
II	92,2 „ Erwärmen	2 Stunden
II	92 „ Abkühlen	
II	91,3 „ Erwärmen	1 Stunde
II	91,5 „ Abkühlen	
III	91,5 „ Erwärmen	$\frac{3}{4}$ Stunden

Mittel 91,6°C.

tionen sind ganz wahrscheinlich durch das unvollkommene Eliminieren des Verlustes durch Wärmeleitung und von störenden Luftströmen verursacht, wie schon oben angedeutet wurde.

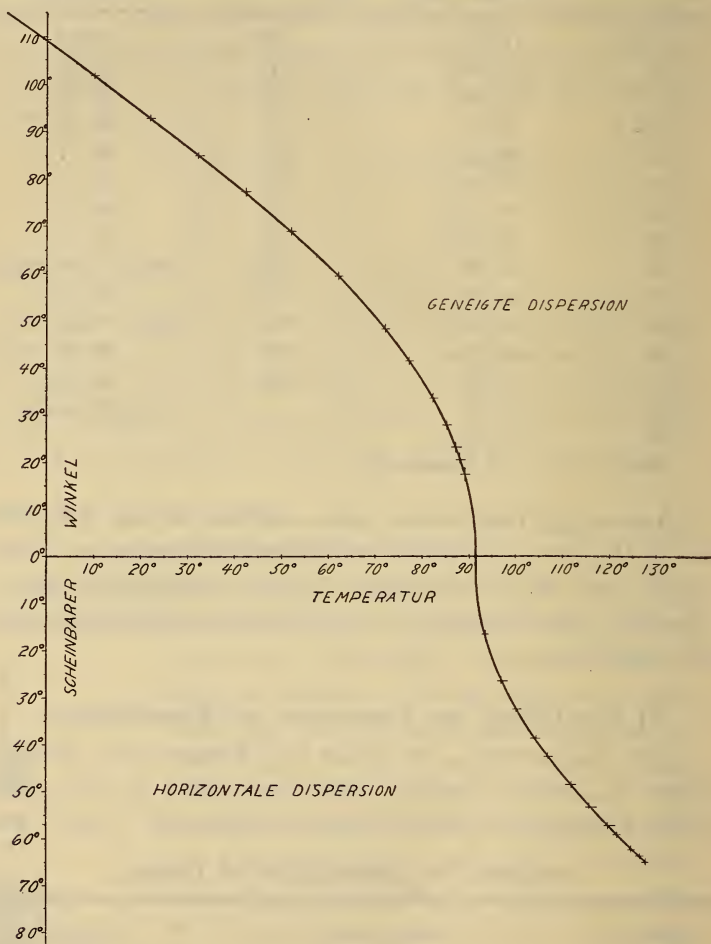


Fig. 6. Änderungen des scheinbaren optischen Achsenwinkels in Luft.

Diese Mitteltemperatur, $91,6^\circ$, ist in obiger Tabelle p. 141 gegeben worden, und stimmt überraschend gut mit der von MITSCHERLICH 1826 gegebenen, nämlich $91,875^\circ$, überein. Man kann ganz sicher sagen, daß beim Gebrauch unseres Apparats und bei langsamer Erhitzung die Einachsigkeit des Gips in Luft bei einer Temperatur von ca. 92° C zu beobachten ist.

e) Graphische Darstellung der Veränderungen des scheinbaren Winkels $2E_a$.

Wie schon auf p. 132 über die Veränderungen des scheinbaren Achsenwinkels in Öl angegeben wurde, kann man hier auch diese Veränderungen von $2E_a$ leicht graphisch darstellen, wie aus

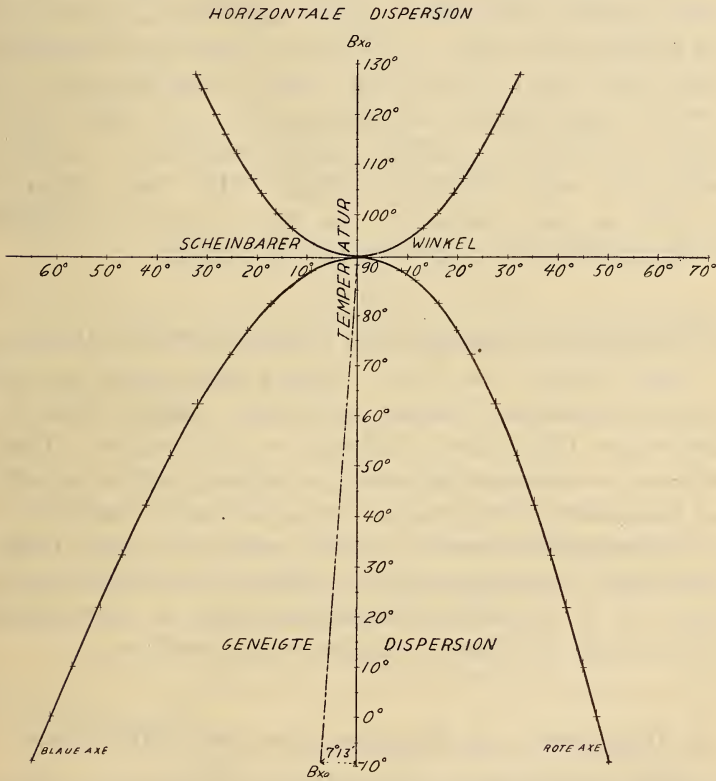


Fig. 7. Änderungen der beiden optischen Achsen und der ersten Mittellinie in Luft.

Fig. 6 zu ersehen ist. Die Kurve zeigt in klarer Weise die sehr unregelmäßige Geschwindigkeit mit der die Veränderungen stattfinden, und weiter, daß dieselben zwischen 80° und 100° außerordentlich groß sind. Diese Kurve, welche die Veränderungen in einer und derselben Ebene darstellt, scheint symmetrisch in

bezug auf den Punkt, welcher die Temperatur der Einachsigkeit angibt, zu sein, und ist daher auch einer kubischen Parabel sehr ähnlich.

f) Graphische Darstellung der Veränderungen der beiden Achsen und der ersten Mittellinie.

Die Veränderungen in der Lage der beiden Achsen und der ersten Mittellinie sind in Fig. 7 gegeben, welche die Kurven in einer und derselben Ebene zeigt. Die im weißen Lichte rot erscheinende Achse ändert ihre Lage um $50^{\circ} 30'$ während einer Erhitzung von -9° bis zum Eintreten der Einachsigkeit. Die andere Achse bewegt sich bedeutend schneller, nämlich um $64^{\circ} 55'$. Der Lagewechsel der ersten Mittellinie beträgt $7^{\circ} 13'$. DES CLOIZEAUX gab 1867 an, daß zwischen 20° und 95° die Lageveränderungen für rotes Licht $22^{\circ} 38'$, $33^{\circ} 55'$ und $5^{\circ} 38'$ beträgt.

g) Temperatur des Eintretens der Undurchsichtigkeit des Gips.

Beim Erhitzen von Platte III im Luftbad wurde erst bei 123° eine merkliche Trübung beobachtet, während beim Erwärmen im Ölbad diese Trübung bei 121° eintrat. Diese Variation ist wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß die im Luftbad beobachteten Temperaturen, wie schon bei der Bestimmung der Einachsigkeitstemperatur erwähnt wurde, um einige Grade zu hoch sind. Demgemäß sind die Größen der scheinbaren Achsenwinkel $2 E_a$ bei den höheren Temperaturen nicht als so zuverlässig als die mittels des Ölbad beobachteten zu betrachten.

6. Diskussion der Resultate der zwei Methoden.

Diese Untersuchungen zeigen, daß die Temperaturen, welche unter Anwendung des Luftbads beobachtet worden sind, immer um einige Grade höher als die in dem Ölbad erhaltenen wurden. Diese Variation ist ganz sicher auf eine unvollkommene Durchwärmung der Gipsplatte, sowie auf Wärmeableitung im Luftbade zurückzuführen. Wenn man diese Faktoren vollkommen eliminieren könnte, so wäre zu erwarten, daß die Temperatur der Einachsigkeit in Luft oder in Öl dieselbe sein müßte. Wir hoffen unsere Versuche in dieser Richtung weiter fortzusetzen.

7. Schlussfolgerungen.

Aus den beschriebenen Untersuchungen sind folgende Schlussfolgerungen zu machen:

1. Durch Benutzung des gewöhnlichen, den FUESS'schen Achsenwinkelapparate begleitenden, metallenen Erhitzungskasten als Ölbad kann leicht, wie schon 1826 von MITSCHERLICH, und vor kurzem, 1911, auch von BRAUNS angegeben, gezeigt werden, daß die Temperatur, bei welcher die optische Einachsigkeit des Gips für Natriumlicht eintritt, bedeutend unterhalb 100° C liegt, nämlich bei ca. 90° . Unter Anwendung dieses metallenen Kastens als Luftbad wird die Kreuzung der optischen Achsen bei einer etwas höheren Temperatur, nämlich bei ca. 92° , beobachtet.

2. Die Erhitzung der Gipsplatte muß, um zuverlässige Werte zu bekommen, immer sehr langsam stattfinden.

3. Der Apparat muß, um große Variationen in den Bestimmungen zu vermeiden, mit Asbestpappe oder einem sonstigen nichtleitenden Material eingeschlossen werden.

4. Die Veränderungen in den Achsen und der ersten Mittelinie können leicht bei verschiedenen Temperaturen unter- und oberhalb des Einachsigkeitpunkts verfolgt werden.

5. Diese Veränderungen finden, wie frühere Beobachter angaben (bei steigender Temperatur), mit zunehmender Geschwindigkeit nur bis zur Temperatur der Einachsigkeit, oberhalb dieses Punktes aber im umgekehrten Verhältnis statt.

6. Durch Anwendung von Kurven, welche in einer und derselben Ebene gezeichnet sind, können diese Veränderungen graphisch dargestellt werden.

7. Die Kreuzung der beiden Achsen ist in verschiedenen Platten konstant. Die Variationen, welche TUTTON beobachtete, sind nicht auf Schwankungen in den optischen Konstanten der Platten, wie er glaubte, zurückzuführen, sondern sind durch eine unvollkommene und unregelmäßige Durchwärmung der benutzten Platten verursacht.

Mineralogical Laboratory, University of Michigan,

23. Januar 1912.

8. Anhang.

Gleichzeitig mit der Einsendung dieser Arbeit, nämlich am 23. Januar 1912 berichteten HUTCHINSON und TUTTON¹ in der Mineralogical Society zu London über weitere Resultate mit ihrem neuen Apparat zur Bestimmung der Einachsigkeitstemperatur des Gipses (vergl. die vorliegende Abhandlung, p. 128). Nach HUTCHINSON und TUTTON soll das Kreuzen der Achsen des Gipses bei 91° C für Na-Licht, bei 89° C für rot C und für grünlichblau F des Wasserstofflichts und bei 87° C für die violette Wasserstofflinie nahe G stattfinden. Diese Temperaturangabe für Natriumlicht liegt zwischen denen von uns für Öl und Luft gegebenen, nämlich resp. zwischen 89,67° und 91,6°. Wiederholte Versuche zeigen jedoch, daß die Einachsigkeitstemperatur im Ölbad unbedingt für Natriumlicht etwas unterhalb 90° C liegt.

Ann Arbor, den 9. April 1912.

¹ Nature. 1912. 88. 503; Centralbl. f. Min. etc. 1912. p. 159; Geological Magazine. 1912. 9. 140.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [1912](#)

Autor(en)/Author(s): Kraus Edward H., Youngs L. J.

Artikel/Article: [Über die Änderungen des optischen Achsenwinkels in Gips mit der Temperatur. 122-146](#)