

XXXIV. Über die Brechungsexponenten und die Doppelbrechung des Apatits von verschiedenen Fundorten.

Von

H. Baumhauer in Freiburg i. d. Schweiz.

In einer, im Jahre 1890 in dieser Zeitschrift (18, 31) erschienenen Abhandlung habe ich die Winkelverhältnisse des Apatits von verschiedenen Fundorten behandelt mit Rücksicht auf die Frage nach der Beziehung derselben zum specifischen Gewichte der Krystalle einerseits und zu deren Chlorgehalte andererseits. Dabei ergab sich im allgemeinen eine Bestätigung der bekannten Regel, daß mit zunehmendem Chlorgehalte der Normalenwinkel $c : x = (0004) : (10\bar{1}1)$ kleiner werde, und daß zugleich das spec. Gewicht sich vermindere. Besonders genaue Messungen konnte ich an den farblosen, nach der Basis tafelförmigen Krystallen vom Rotenkopf im Zillertale, von Ala, der Knappenwand, vom Schwarzenstein, St. Gotthard und Floitental ausführen. Diese Krystalle zerfallen in drei Gruppen, mit $a : c = 1 : 0,73134$ (Rotenkopf, Ala), $1 : 0,73333$ (Knappenwand) und $1 : 0,73400$ (Schwarzenstein, St. Gotthard, Floitental). Die betreffenden Winkel $c : x$ sind $40^{\circ} 10\frac{3}{4}'$, $40^{\circ} 15\frac{1}{2}'$, $40^{\circ} 17'$.

Mit dieser Gruppierung harmoniert nun, wie ich in einer weiteren Abhandlung in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie der Wissenschaften (1890, 447) zeigte, in interessanter Weise das Verhalten der Krystalle vom Rotenkopf, der Knappenwand und vom Schwarzenstein (desgleichen vom Floitental und St. Gotthard) beim Ätzen mit Schwefelsäure von verschiedener Concentration. Es ergab sich dabei, daß die Krystalle vom Rotenkopf wesentlich andere Erscheinungen zeigen, als die übrigen genannten, welche einander weit näher stehen. In Bezug auf die Einzelheiten sei hier auf die citierte Abhandlung verwiesen. Ich schloß meine Mitteilung mit den Worten: »Es ist von Interesse, zu sehen, daß selbst

so geringe Differenzen in den Dimensionen und in der chemischen Zusammensetzung, wie sie zwischen den Krystallen vom Rotenkopf einerseits und denjenigen vom Schwarzenstein (St. Gotthard, Floital) und von der Knappenwand andererseits bestehen, sich in so auffallender Weise in der Verschiedenheit der Ätzerscheinungen ausprägen.« Ich füge nunmehr hinzu, daß meiner jetzigen Ansicht nach hierbei nicht nur der ungleiche Chlorgehalt, sondern auch eine Verschiedenheit hinsichtlich des Gehaltes an anderen, in geringer Menge auftretenden Bestandteilen (K , Na , Mg , OH u. a.) eine Rolle spielt.

Es lag nahe, die verschiedenen Vorkommen von Apatit, welche in kristallographischer Beziehung genau erforscht sind, auch in Hinsicht auf ihr Lichtbrechungsvermögen und die Doppelbrechung mit einander zu vergleichen, dabei auch Licht von verschiedener Wellenlänge in Betracht zu ziehen; vielleicht war auch hier eine Gesetzmäßigkeit zu erwarten. Als eine hierzu sehr geeignete Lichtquelle bietet sich die Heliumröhre dar, deren ich mich schon bei der Untersuchung einiger Platindoppelcyanüre bedient habe. Auf die vier hellsten Linien des Heliumspectrum: rot (Wellenlänge 668), gelb (588, fast mit der Doppellinie D zusammenfallend), grün (502) und indigo (447) kann beim Minimum der Ablenkung stets eingestellt werden. In der folgenden Tabelle (s. S. 557) sind zunächst die von mir auf diese Weise erhaltenen Brechungsexponenten für einige Apatitvorkommen zusammengestellt; an diese reihen sich einige von Busz und Heusser ermittelte Zahlen an. Weitere Bestimmungen anderer Autoren und von mir selbst sollen im Anschluß an die Besprechung jener Zahlen näher erörtert werden.

I. Zu meinen Beobachtungen wurden zunächst kleine farblose, dabei vorzüglich ausgebildete Krystalle von prismatischem Habitus benutzt, welche von der **Schöllenen** bei Göschenen stammen. Eine Reihe von goniometrischen Messungen derselben bei guten bis sehr guten Reflexen führte im Mittel zu folgenden Zahlen ($m\{10\bar{1}0\}$, $x\{10\bar{1}1\}$, $c\{0001\}$, $r\{10\bar{1}2\}$, $s\{11\bar{2}1\}$, $y\{20\bar{2}1\}$, $\mu\{21\bar{3}1\}$):

	Beobachtet:	Berechnet aus $a:c = 1:0,7340$:	
	$m : x$	$49^{\circ} 41\frac{3}{4}'$	$49^{\circ} 43' 0''$
folgl.	$c : x$	$40 18\frac{1}{4}$	$40 17 0$
	$m : r$	$66 58\frac{1}{4}$	$67 2 1$
	$m : y$	$30 31\frac{1}{3}$	$30 32 15$
folgl.	$c : y$	$59 28\frac{2}{3}$	$59 27 45$
	$m : s$	$44 16\frac{1}{4}$	$44 17 45$
	$x : s$	$26 50$	$26 50 33$
	$m : \mu$	$30 20\frac{1}{2}$	$30 20 46$
	$s : \mu$	$43 56\frac{3}{4}$	$43 56 59$

	<i>e</i> : <i>x</i> = 40018 $\frac{1}{2}$	<i>e</i> : <i>x</i> = 40015 $\frac{1}{2}$	<i>e</i> : <i>x</i> = 40015 $\frac{1}{2}$	<i>e</i> : <i>x</i> = 40015 $\frac{1}{2}$	<i>e</i> : <i>x</i> = 40012 $\frac{1}{2}$	<i>e</i> : <i>x</i> = 40010 $\frac{3}{4}$	<i>e</i> : <i>x</i> = 40015 $\frac{1}{2}$	<i>e</i> : <i>x</i> = 40012 $\frac{1}{2}$	
A. Schöllenen	I. (6) 1,62910 } I. (ω) 1,63477 } 0,00 } 267 } II. 1,62927 } 1,63160 } 233 }	1,63244 } 1,63484 } 0,00 } 237 } 1,63252 } 1,63523 } 271 }	1,63788 } 1,64039 } 0,00 } 251 } 1,63797 } 1,64076 } 279 }	1,64345 } 1,64567 } 0,00 } 222 } 1,64337 } 1,64576 } 239 }					
B. Gletsch	1,61013 } 1,63271 } 258 }	1,63343 } 1,63600 } 257 }	1,63900 } 1,64161 } 264 }	1,64431 } 1,64663 } 232 }					
C. Knappenwand	I. 1,63262 } 1,63555 } 293 }	1,63533 } 1,63833 } 298 }	1,64193 } 1,64483 } 288 }	1,64682 } 1,65058 } 376 }					
	II. 1,63235 } 1,63537 } 302 }	1,63565 } 1,63883 } 318 }	1,64126 } 1,64446 } 320 }	1,64618 } 1,64966 } 348 }					
D. Gellivara	1,62967 } 1,63275 } 308 }	1,63267 } 1,63615 } 318 }	1,63841 } 1,64207 } 366 }	1,64396 } 1,64792 } 396 }					
E. Jumilla	1,63097 } 1,63485 } 388 }	1,63422 } 1,63826 } 404 }	1,63975 } 1,64375 } 400 }	1,64476 } 1,64906 } 430 }					
	I. 1,63834 } 1,64246 } 415 }	1,64183 } 1,64610 } 427 }	1,64735 } 1,65197 } 462 }	1,65221 } 1,65728 } 507 }					
F. Rotenkopf	II. 1,63819 } 1,64246 } 427 }	1,64161 } 1,64597 } 436 }	1,64704 } 1,65167 } 463 }	1,65230 } 1,65738 } 488 }					
	III. 1,63822 } 1,64236 } 434 }	1,64163 } 1,64598 } 435 }	1,64727 } 1,65186 } 459 }	1,65219 } 1,65704 } 485 }					
G. Gletsch (n. Busz)	<i>L</i> _z 1,63189 } (671) 1,63408 } 219 }	<i>N</i> _z 1,63320 } (529) 1,63538 } 238 }	<i>T</i> _z 1,63558 } (635) 1,63893 } 355 }	bl. 1,64143 } Glas 1,64391 } 248 }					
H. Zillertal (n. Heusser)	<i>D</i> 1,64172 } (558) 1,64607 } 435 }	<i>E</i> 1,64343 } (27) 1,64998 } 455 }	<i>F</i> 1,64867 } (456) 1,65332 } 465 }	<i>G</i> 1,65468 } (431) 1,65953 } 485 }					

Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß diese Krystalle auf eine ein wenig längere Axe c zu beziehen sind, als 0,7340, welcher Wert nach den Beobachtungen von A. Schmidt (diese Zeitschr. 7, 554) und mir dem Apatit vom Tavetsch, St. Gotthard, Schwarzenstein und Floitental entspricht. So folgt aus $c : x = 40^{\circ} 18\frac{1}{4}'$ das Verhältnis $a : c = 1 : 0,73455$, aus $c : y = 59^{\circ} 28\frac{3}{4}'$ das Verhältnis $1 : 0,73444$.

Zwei dieser Krystalle dienten zur Bestimmung der Brechungsexponenten, welche in der Tabelle unter A. verzeichnet sind. Hier wie auch bei allen folgenden, von mir ausgeführten Bestimmungen wurden natürliche Prismen m/m zu den Beobachtungen benutzt, und es wurde auf das Minimum der Ablenkung eingestellt. Nimmt man die Zahlen für He rot des ersten Krystalles aus, so zeigt sich bei beiden zuerst mit abnehmender Wellenlänge eine Zunahme der Doppelbrechung, auf welche im Blau eine Abnahme folgt. Hierauf ist weiterhin zurückzukommen.

II. An die Krystalle von der Schöllenen schließen sich diejenigen von Gletsch (am Rhonegletscher) an, welche schon von Busz¹⁾ kristallographisch und optisch, von Walter chemisch genauer untersucht wurden. Hinsichtlich der Farbe dieser Krystalle bemerkt Busz: »Die Farbe ist die von blassen Amethysten. Kleinere Krystalle sind vollkommen wasserklar, größere trübe infolge zahlreicher Sprünge, die sie durchziehen.« Wenngleich die mir zur Verfügung stehenden Krystalle sämtlich farblos sind, so gehören dieselben doch ohne Zweifel demselben Fundorte an, wie die von Busz beschriebenen, da sie sowohl in ihrem Habitus und dem großen Flächenreichtume, wie auch hinsichtlich des sie tragenden Gesteins und der Paragenesis mit jenen übereinstimmen. Busz berechnete aus seinen Messungen für diese Krystalle das Axenverhältnis $a : c = 1 : 0,73353$, woraus z. B. folgende Winkel sich ableiten:

$$\begin{aligned} m : x &= 49^{\circ} 44' 7'' \\ c : x &= 40 15 53 \quad (\text{gemessen: } 40^{\circ} 15' 48'') \\ m : r &= 67 2 50 \\ c : r &= 22 57 10 \quad (\quad - \quad : 22 58 12) \\ m : y &= 30 33 14 \\ c : y &= 59 26 46 \quad (\quad - \quad : 59 26 35) \\ m : s &= 44 18 29 \quad (\quad - \quad : 44 18 6) \\ m : \mu &= 30 24 24 \quad (\quad - \quad : 30 20 15) \\ s : \mu &= 13 57 5 \end{aligned}$$

Ich selbst erhielt an zweien meiner Krystalle u. a. folgende gute bis sehr gute Werte:

1) Centralblatt für Mineralogie usw. 1906, S. 753.

$$\begin{array}{l}
 \text{I.} \quad c : x = 40^{\circ} 16' \\
 \quad \quad c : y = 59 \ 27 \\
 \text{II.} \quad m : x = 49 \ 43 \\
 \quad \quad m : y = 30 \ 32, \ 32\frac{1}{2}' \\
 \quad \quad m : s = 44 \ 17\frac{1}{2}'
 \end{array}$$

Busz bemerkt ganz richtig, daß bei anderen Apatitvorkommen aus der Schweiz und Tyrol die c -Axe und der Winkel $c : a$ meist etwas größer seien (kleiner sind beide Werte hingegen bei den Krystallen vom Rotenkopf und von der Knappenwand).

Die chemische Analyse von Walter ergab in den Krystallen von Gletsch nur eine Spur von Chlor, indessen $0,45\%$ K_2O und $0,53\%$ Na_2O , sowie einen kleinen Gehalt ($0,39\%$) von MnO , worauf wohl die schwache violette Färbung zurückzuführen ist. Die von Busz ausgeführte optische Untersuchung führte zur Ermittlung der in der Tabelle bei G. verzeichneten Brechungsexponenten für Li , Na , Tl , sowie für blaues Glas. Ich selbst untersuchte einen kleinen farblosen Krystall und fand für Helium gelb, wie die Tabelle bei B. lehrt, fast genau dieselben Zahlen, welche Busz für Na -Licht ermittelte. Die meinigen sind auch, wie es der Wellenlänge der beiden Lichtarten entspricht, ein wenig größer als die von jenem Autor erhaltenen. Die Doppelbrechung nimmt bei den von Busz gefundenen Zahlen mit abnehmender Wellenlänge zunächst zu, um dann für blau wieder zu fallen, und auch bei meinen Zahlen macht sich wenigstens eine freilich sehr kleine Steigerung von gelb bis grün bemerklich, während sich für indigo eine Abnahme der Doppelbrechung zeigt, welche wohl ebensowenig wie die entsprechende Erscheinung an den Krystallen von der Schöllenen als die Folge von Beobachtungsfehlern zu betrachten ist. Vielmehr scheinen alle diese Zahlen auf eine Gesetzmäßigkeit hinzudeuten, welche für die in Rede stehenden Apatitkrystalle mit kleineren Brechungsexponenten und schwächerer Doppelbrechung gilt. Indessen würden zur endgültigen Feststellung einer solchen Regel umfassendere Beobachtungen erforderlich sein.

III. Im Anschlusse an die bisher besprochenen Krystalle seien diejenigen von **Minot** (Maine) erwähnt und einzelne Beobachtungen an solchen vom **St. Gotthard** und von **Nordmarken** angeführt. Der violette Apatit von Minot wurde eingehend von J. E. Wolff und Ch. Palache¹⁾ untersucht. Aus zahlreichen Messungen ergab sich das Axenverhältnis $a : c = 1 : 0,7348$, woraus sich folgende Winkel berechnen:

$$\begin{array}{l}
 m : x = 49^{\circ} 44' 10'' \\
 c : x = 40 \ 18 \ 50
 \end{array}$$

1) Diese Zeitschr. 1902, 36, 444.

$$c : y = 59^{\circ} 29' 22''$$

$$c : r = 22 \ 59 \ 19$$

$$c : s = 55 \ 45 \ 59$$

Die chemische Analyse ergab kein Chlor, 0,86% MnO , 0,70% MgO , 0,63% $K_2O + Na_2O$. Für *Li*- und *Na*-Licht wurden folgende Brechungsexponenten ermittelt:

$$Li \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 1,62865 \\ \omega = 1,63067 \end{array} \right\} 202 \qquad Na \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon = 1,63162 \\ \omega = 1,63353 \end{array} \right\} 191$$

Der hierbei verwendete Krystall wurde auf 320° erhitzt und dabei farblos, eine Änderung der Brechungsexponenten, welche die Beobachtungsfehler überstieg, war dabei jedoch nicht eingetreten. Der Apatit von Minot würde nach den mitgeteilten goniometrischen und optischen Verhältnissen an die Spitze der Reihe in unserer Tabelle zu setzen sein; seine Brechungsexponenten und seine Doppelbrechung sind kleiner als diejenigen der Krystalle von der Schöllenen.

Ein kleiner Krystall vom St. Gotthard gab bei einer sehr guten Messung $c : s = 55^{\circ} 44\frac{3}{4}'$, woraus folgt $a : c = 1 : 0,73423$, also Axe *c* ein wenig größer als in dem von A. Schmidt (l. c.) für den Apatit vom Tavetsch und Floitalental ermittelten Verhältnisse, auch größer als der von Busz für die Krystalle von Gletsch gefundene Wert. An diesem Krystalle fand ich für Helium gelb $\varepsilon = 1,63257$, $\omega = 1,63504$, Diff. 247. Diese Zahlen kommen den in der Tabelle unter A II. für dieselbe Lichtquelle angeführten sehr nahe. Ein anderer Krystall vom St. Gotthard, an welchem allerdings genaue Winkelmessungen zur Bestimmung des Axenverhältnisses nicht gemacht werden konnten, ergab $\varepsilon = 1,63202$, $\omega = 1,63439$, Diff. 237; er kommt also für Helium gelb dem Krystalle I von Schöllenen in der Tabelle sehr nahe.

An einem kleinen farblosen Krystalle von Nordmarken (zusammen mit Diopsid und Magnetit) fand ich $m : x = 49^{\circ} 44\frac{1}{2}'$, also $c : x = 40^{\circ} 18\frac{1}{2}'$. Die Brechungsexponenten für Helium gelb wurden zu 1,63104 und 1,63336, Diff. 232, bestimmt. So weit also aus dieser vereinzelt Beobachtung geschlossen werden darf, fügt sich dieses Vorkommen in unserer Reihe zwischen Minot und Schöllenen ein. Doch könnten erst umfassendere Messungen uns instand setzen, die Stellung des Apatits von Nordmarken definitiv zu bestimmen, um so mehr, als von G. Flink¹⁾ für denselben $c : x = 40^{\circ} 16' 10''$ angegeben bzw. aus $a : c = 1 : 0,73365$ berechnet wurde.

IV. Sehr eingehend krystallographisch, chemisch und optisch wurde von K. Walter²⁾ der Apatit von **Epprechtstein** (Bayern) und von

1) Diese Zeitschr. 1888, 13, 404.

2) Neues Jahrbuch f. Mineralogie usw., Beil.-Bd. 23, 384.

Luxullian (Cornwall) untersucht, zwei in mancher Beziehung ähnliche und eine besondere Stellung einnehmende Vorkommen.

Die Krystalle von Epprechtstein sind bisweilen farblos, meist zeigen sie eine blaugraue oder grünlichgraue Farbe sowie grüne und blaue Zonen nach der Basis; es kommen indes auch schmutzigweiße und gelbliche Exemplare vor. Ihr Chlorgehalt beträgt im Mittel 0,04%, ferner fanden sich darin 0,79% MnO , 0,95% Na_2O , 4,03% K_2O . Abgesehen von dem höheren Gehalte an Alkalien steht dieser Apatit nach seiner Zusammensetzung demjenigen von Minot nahe. Walter leitete aus $c : y = 59^\circ 27' 26''$ (als Mittel aus 16 Messungen von $59^\circ 20'$ bis $59^\circ 33'$) und $c : s = 55^\circ 43' 44''$ (als Mittel aus 17 Messungen von $55^\circ 38\frac{1}{2}'$ bis $55^\circ 55\frac{1}{2}'$) das Axenverhältnis $a : c = 1 : 0,73381$ ab. Hieraus berechnet sich z. B.:

$$\begin{aligned}
 m : x &= 49^\circ 43' 28'' \text{ (gemessen: } 49^\circ 36' - 45' \text{)} \\
 c : x &= 40 \ 16 \ 32 \quad (\quad - \quad : \ 40 \ 7 - 25 \text{)} \\
 m : r &= 67 \ 2 \ 20 \quad (\quad - \quad : \ 66 \ 50 - 67^\circ 6' \text{)} \\
 c : r &= 22 \ 57 \ 40 \quad (\quad - \quad : \ 22 \ 42 - 23 \ 2\frac{1}{2}' \text{)} \\
 a : s &= 34 \ 16 \ 10 \quad (\quad - \quad : \ 34 \ 9 - 32' \text{)}
 \end{aligned}$$

Wenngleich die einzelnen Messungen zuweilen auffallend stark differieren, so stimmen die erhaltenen Mittelwerte doch gut mit der Berechnung überein. Von den von Walter ermittelten Brechungsexponenten seien im folgenden nur die auf *Li*- und *Na*-Licht bezüglichen angeführt; sie wurden an vier Prismen (am vierten an zwei verschiedenen Stellen) bestimmt:

	<i>Li</i>		<i>Na</i>	
Prisma 1	1,6290	} 14	1,6323	} 15
(farblos)	1,6304		1,6338	
Prisma 2	1,6295	} 15	1,6328	} 15
(schmutzigweiß)	1,6310		1,6343	
Prisma 3	1,6314	} 13	1,6346	} 14
(fast farblos)	1,6324		1,6360	
Prisma 4a	1,6348	} 15	1,6383	} 15
(farblos)	1,6363		1,6398	
Prisma 4b	1,6355	} 16	1,6394	} 16
(gelblich)	1,6374		1,6407	

Walter macht darauf aufmerksam, daß bei dem vierten Prisma, welches an zwei Stellen benutzt wurde, die Brechungsexponenten des farblosen Teils niedriger sind als die des gelblichen. Die Werte für die Doppelbrechung sind (hier wie bei den Krystallen von Luxullian) die niedrigsten, die bis jetzt am Apatit gefunden wurden. Alle untersuchten Prismen zeigen übrigens in der Richtung von rot nach blau, besonders bei blau, eine Zunahme der Doppelbrechung. Walter bemerkt auch, daß die

optischen Eigenschaften des Apatits von Epprechtstein und desjenigen von Minot ziemliche Übereinstimmung zeigen. Dies gilt allerdings für die Prismen 1 und 2 des ersteren, weit weniger jedoch für die folgenden. Jene beiden lieferten auch insbesondere für ϵ Zahlen, welche den für Schöllenen erhaltenen relativ sehr nahe stehen, womit dann auch der Winkel $c : x = 40^{\circ} 16\frac{1}{2}'$ harmonisiert. Freilich sollte man hier der sehr geringen Doppelbrechung entsprechend einen noch größeren Wert für diesen Winkel erwarten. Da derselbe zu $40^{\circ} 7'$ bis $25'$ gemessen wurde, so ist es kaum möglich, schon jetzt ein sicheres Urteil über diese Verhältnisse zu gewinnen.

Der Apatit von Luxullian, dessen Krystalle farblos, sowie bläulich, grünlich, rötlich und gelb sind, auch fast stets verschiedenfarbige, nach der Basis getrennte Einlagerungen oder Teile aufweisen, ist ein Fluorapatit mit geringem Chlorgehalte (bis zu $0,13\%$). Seine chemische Zusammensetzung variiert: der Procentsatz an Phosphorsäure im gelben Materiale wurde von Walter niedriger gefunden als im blauen, der Chlorgehalt zeigt das umgekehrte Verhältnis. Die Menge der Alkalien ist verhältnismäßig groß ($Na_2O + K_2O = \text{ca. } 2\%$). Der Gehalt an MnO schwankt zwischen $0,39\%$ (blau) und $4,10\%$ (gelb), der Kalkgehalt dementsprechend zwischen $54,03\%$ und $50,53\%$. Die goniometrischen Messungen führten zu $a : c = 1 : 0,73357$, welcher Wert von dem für $a : c$ des Epprechtsteiner Apatits ermittelten nur wenig abweicht. Hieraus folgt:

$$\begin{aligned} c : x &= 40^{\circ} 15' 57'' \quad (\text{gemessen: } 40^{\circ} 6' - 28') \\ c : y &= 59 \ 26 \ 50 \quad (\quad - \quad : 59 \ 20 - 34) \\ m : s &= 44 \ 18 \ 27 \quad (\quad - \quad : 44 \ 12 - 25) \\ c : s &= 55 \ 43 \ 16,5 \quad (\quad - \quad : 55 \ 33 - 51\frac{1}{2}') \\ a : s &= 34 \ 16 \ 43,5 \quad (\quad - \quad : 34 \ 10 - 29') \end{aligned}$$

Es zeigen also auch hier die gemessenen Werte zuweilen recht bedeutende Schwankungen.

Ich selbst erhielt an einem Krystalle dieses Fundortes bei guter bis sehr guter Messung:

$$\begin{aligned} a : s &= 34^{\circ} 12\frac{1}{4}' \text{ und } 34^{\circ} 13\frac{3}{4}', \text{ im Mittel: } 34^{\circ} 13', \\ m : y &= 30 \ 30\frac{1}{2}', \text{ folglich } c : y = 59^{\circ} 29\frac{1}{2}'. \end{aligned}$$

Aus dem ersteren Mittelwerte folgt $a : c = 1 : 0,73527$, aus dem anderen $1 : 0,73487$, im Mittel also $1 : 0,73507$; der Wert für c geht also hier noch um ein geringes über denjenigen der Krystalle von Minot hinaus. Für $c : x$ würde hieraus folgen $40^{\circ} 19' 27''$.

Walter erhielt folgende Brechungsexponenten für Li - und Na -Lich (auch hier nach steigenden Werten geordnet):

	<i>Li</i>		<i>Na</i>	
Prisma 1 (schwach bläulich)	1,6287 } 1,6304 }	14	1,6346 } 1,6330 }	14
Prisma 2 (bläulich)	1,6287 } 1,6302 }	15	1,6320 } 1,6335 }	15
Prisma 3a (blau)	1,6294 } 1,6305 }	14	1,6324 } 1,6336 }	15
Prisma 3b (blau)	1,6293 } 1,6306 }	13	1,6323 } 1,6338 }	15
Prisma 4a (blau)	1,6311 } 1,6325 }	14	1,6347 } 1,6364 }	14
Prisma 5 (blaugrün)	1,6321 } 1,6336 }	15	1,6355 } 1,6370 }	15
Prisma 3c (gelb)	1,6327 } 1,6341 }	14	1,6359 } 1,6375 }	16
Prisma 4b (gelb)	1,6372 } 1,6389 }	17	1,6409 } 1,6426 }	17

In der ersten Hälfte dieser Reihe kommen die Zahlen für ε den annähernd entsprechenden (für *He* rot und *He* gelb) der Tabelle für Schöllenen und Gletsch recht nahe, womit auch der von Walter berechnete Winkel $\varepsilon : x = 40^{\circ} 46'$ harmonisieren würde. Indessen ist hier infolge der geringen Größe von ω die Doppelbrechung wiederum (wie bei den Krystallen von Epprechtstein) bedeutend kleiner.

Im übrigen gehen die Schwankungen der verschiedenen Werte bis in die dritte Decimale. Auch hier fand Walter bei allen Beobachtungsreihen eine Zunahme der Doppelbrechung von *Li*-rot bis blau.

Stellt man diejenigen Krystalle resp. Prismen, von welchen eine Analyse ausgeführt wurde, nach ihrem Gehalte an *MnO* zusammen, so erhält man für:

3a und 3b	0,39 %	<i>MnO</i>
3c	1,74 %	-
4b	4,10 %	-

Ein Vergleich mit obigen Zahlen ergibt dann, daß anscheinend die Brechungsexponenten (sowie Doppelbrechung und Dispersion) mit steigendem Mangengehalte wachsen.

Einen hinreichend klaren Einblick in die complicierten Verhältnisse des Apatits von Epprechtstein und Luxullian und in dessen Beziehungen zu den Apatiten anderer Fundorte gewinnt man indessen noch nicht. Denn ein Gehalt von 0,39 % *MnO* wurde auch in dem von Busz untersuchten Apatit von Gletsch und ein solcher von 0,86 % im Apatit von Minot gefunden. Von besonderer Bedeutung und von Einfluß auf die optischen Verhältnisse ist hier vielleicht der größere Gehalt an Alkalien, welcher bei anderen

Vorkommen bis jetzt noch nicht gefunden wurde (bei Minot nur ca. 0,6%, bei Gletsch ca. 1%).

V. Für die (farblosen) Krystalle von der **Knappenwand** im Untersulzbachtale leitete ich früher (l. c.) aus dem Fundamentalwerte $m : s = 44^{\circ} 18' 44''$ (Mittel aus 15 sehr guten Messungen) das Axenverhältnis $a : c = 1 : 0,73333$ ab; hieraus folgt $c : x = 40^{\circ} 45\frac{1}{2}'$. Der Chlorgehalt wurde von Prof. J. König zu 0,028% gefunden. Die Doppelbrechung ist bei diesen Krystallen größer als bei denjenigen von Gletsch, und auch die Brechungsexponenten sind größer als bei jenen. Die von mir an zwei Krystallen erhaltenen Werte sind in der Tabelle unter C. aufgeführt. Von einem Zahlenpaare für *He* grün abgesehen bemerkt man mit abnehmender Wellenlänge ein Ansteigen der Doppelbrechung.

Auffallend erscheint dem gegenüber eine Bestimmung von K. Zimányi am Apatit von Sulzbach. Dieser Autor¹⁾ bemerkt hierüber: »Die schwache Lichtbrechung, besonders aber die geringe Doppelbrechung dieser wasserklaren Krystalle muß ich als charakteristisch für dieses Vorkommen betrachten, nachdem ich an kleineren und größeren Individuen mit vollkommen spiegelnden Flächen zu ein und demselben Werte gelangte.« Die von Zimányi erhaltenen Zahlen für *Na*-Licht sind

$$\begin{array}{ccc} 1,6327 & \text{und} & 1,6334 \\ 1,6355 & & 1,6355 \end{array}, \quad \text{im Mittel} \quad \begin{array}{c} 1,6329 \\ 1,6355 \end{array}.$$

Diese Zahlen stimmen nicht mit den meinigen für Helium gelb, wie doch zu erwarten wäre, nahezu überein, sie nähern sich hingegen sehr den von mir für Helium rot erhaltenen.

VI. An einem lichtgrünen Krystalle von **Gellivara** (Schweden) wurde bei guten Messungen gefunden $c : x = 40^{\circ} 45\frac{1}{2}'$ und $40^{\circ} 45'$, im Mittel $40^{\circ} 45\frac{1}{4}'$. Die Ermittlung der Brechungsexponenten führte zu den in der Tabelle unter D. angegebenen Zahlen. Die Doppelbrechung ist wiederum gegenüber den Krystallen von der Knappenwand etwas gestiegen, die Brechungsexponenten hingegen sind kleiner und nähern sich denen von Gletsch, eine Abweichung, welche ohne Zweifel auch hier auf eine Besonderheit in der chemischen Zusammensetzung zurückzuführen ist.

Eingehendere Untersuchungen über den grünen Apatit von Gellivara resp. Malmberget stellte K. Zimányi²⁾ an. Aus seinen zahlreichen Messungen leitete er das Axenverhältnis $a : c = 1 : 0,7320$ ab, woraus z. B. folgt:

$$\begin{array}{l} c : x = 40^{\circ} 42' 21'' \text{ (gemessen: } 40^{\circ} 7' - 47') \\ c : y = 59 \ 23 \ 37 \text{ (} - \text{ : } 59 \ 40 - 39) \\ m : s = 44 \ 20 \ 49 \text{ (} - \text{ : } 44 \ 7 - 32). \end{array}$$

1) Diese Zeitschr. 1894, **22**, 349.

2) Diese Zeitschr. 1904, **39**, 505.

Trotz der relativ großen Schwankungen in den Einzelmessungen stimmen die erhaltenen Mittelwerte gut mit den berechneten Zahlen überein. Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung dieser Krystalle bemerkt Zimányi nur, daß »wir es nach den vorläufigen Untersuchungen des Herrn J. Loczka mit einem Fluorapatit zu tun haben, welcher etwas mehr als 0,5 % Chlor enthält«.

Zimányi bestimmte an zehn Krystallen die Brechungsexponenten, wobei als Lichtquellen dienten Li , Na , Tl , sowie die Wasserstofflinien H_α und H_β . Die Lichtbrechung der einzelnen Krystalle variiert ein wenig; im folgenden sind nur die für Na erhaltenen Werte in wachsender Reihe zusammengestellt:

4,6325 } 37	4,6336 } 37
4,6362 } 37	4,6373 } 37
4,6328 } 35	4,6336 } 39
4,6363 } 35	4,6375 } 39
4,6332 } 39	4,6338 } 38
4,6371 } 39	4,6376 } 38
4,6334 } 39	4,6338 } 40
4,6373 } 39	4,6378 } 40
4,6335 } 39	4,6340 } 37
4,6374 } 39	4,6377 } 37

Die beiden ersten Paare nähern sich sehr den von mir für He gelb erhaltenen Zahlen (s. Tabelle bei D). Die Doppelbrechung für Na liegt im allgemeinen zwischen der von mir für Gellivara und der für Jumilla für He gelb erhaltenen, sie steigt auch für H_β nicht über 42 (resp. 0,0042).

Hier finden auch wohl am besten ihren Platz die farblosen oder etwas gelblichen Krystalle von **Biella**, welche Zambonini¹⁾ beschrieben hat. Für dieselben wurde ermittelt $e : x = 40^\circ 13'$, sowie an einem Krystalle für Na die Brechungsexponenten $\left. \begin{matrix} 4,63446 \\ 4,63821 \end{matrix} \right\} 375$. Diese Krystalle scheinen sich demnach eng an die nun zu besprechenden von Jumilla anzuschließen.

VII. Ganz ähnlich dem Apatit von Gellivara zeigen auch die gelblichen Krystalle von **Jumilla** kleinere Brechungsexponenten, als die von mir untersuchten Krystalle von der Knappenwand, dabei aber eine stärkere Doppelbrechung, hinsichtlich welcher hier wiederum eine kleine Steigerung eintritt. Goniometrisch stehen diese Krystalle (mit ca. 0,5 % Chlor) zwischen denen von der Knappenwand und vom Rotenkopf. Der von v. Kokscharow²⁾ hierfür ermittelte Wert $(40\bar{1}1) : (01\bar{1}1) = 37^\circ 40' 40''$ ergibt $e : x = 40^\circ 13' 37''$. G. Rose³⁾ hatte für ersteren Winkel $37^\circ 39\frac{3}{4}'$,

1) Diese Zeitschr. 1905, 40, 220.

2) Materialien z. Min. Rußlands 1854—1857, 2, 66.

3) Poggend. Ann. 1827, 9, 497.

Schrauf¹⁾ $37^{\circ} 37' 10''$ — $37^{\circ} 40' 20''$ gefunden. Ich selbst erhielt früher²⁾ bei ziemlich guter Messung $37^{\circ} 36\frac{1}{2}'$ — $42'$, im Mittel $37^{\circ} 39' 54''$. Für $m : x$ fand ich damals $49^{\circ} 45\frac{1}{2}'$ (also $c : x = 40^{\circ} 14\frac{1}{2}'$, während Schrauf hierfür $40^{\circ} 13\frac{1}{2}'$ angibt). Neuerdings erhielt ich an einem kleinen, fast farblosen Krystalle bei guter Messung $m : x = 49^{\circ} 47\frac{3}{4}'$ und $47\frac{1}{2}'$, woraus folgt $c : x = 40^{\circ} 12\frac{1}{4}'$ und $12\frac{1}{2}'$. Dieser Krystall lieferte für *He* gelb die Brechungsexponenten $\left. \begin{matrix} 1,63404 \\ 1,63826 \end{matrix} \right\} 425$. Ein anderer größerer klarer, jedoch an beiden Enden abgebrochener Krystall diente zur Bestimmung der in der Tabelle unter E. angeführten Brechungsexponenten. Schrauf hatte folgende Zahlen für die Linien *B* (687), *D* (589) und *E* (527) ermittelt:

$$B \left\{ \begin{matrix} 1,6305 \\ 1,6346 \end{matrix} \right\} 44 \quad D \left\{ \begin{matrix} 1,6345 \\ 1,6390 \end{matrix} \right\} 45 \quad E \left\{ \begin{matrix} 1,6382 \\ 1,6432 \end{matrix} \right\} 50.$$

Diese Zahlen harmonieren ziemlich gut mit den von mir für die Heliumlinien erhaltenen, doch ist die Doppelbrechung stärker als bei meinen Krystallen.

VIII. Die von mir früher (l. c.) eingehend gemessenen Krystalle vom **Rotenkopf** (Zillertal) stammen aus einem chloritischen Gestein, in welchem sie in großer Zahl eingewachsen auftraten. Sie zeichnen sich durch den kleinsten von mir beobachteten Winkel $c : x = 40^{\circ} 10\frac{3}{4}'$ aus, dementsprechend sie auf das Axenverhältnis $a : c = 1 : 0,7313$ zu beziehen sind. Sie sind farblos mit einem Stich ins gelbliche. Dem kleinen Winkel $c : x$ entspricht nun eine relativ starke Doppelbrechung bei großen Brechungsexponenten. Die Krystalle eignen sich wegen ihrer Klarheit ausgezeichnet zu optischen Bestimmungen. Die an dreien derselben von mir erhaltenen Brechungsexponenten sind in die Tabelle unter F. eingetragen. Die Doppelbrechung nimmt beständig zu von rot bis indigo.

Mit diesen Zahlen harmonieren sehr gut diejenigen, welche vor vielen Jahren von Heusser³⁾ an einem Apatit aus dem Zillertale ermittelt wurden; dieselben sind in der Tabelle unter H. aufgeführt. Wie man bemerkt, sind dort die Werte für die Linie *D* fast identisch mit dem Mittel aus den von mir für *He* gelb erhaltenen, nämlich $\begin{matrix} 1,64469 \\ 1,64602 \end{matrix}$. Vielleicht stammte der von Heusser untersuchte Apatit gleichfalls vom Rotenkopf; Heusser bemerkt, daß der von ihm benutzte Krystall etwas mit Chlorit überzogen war. Dieses Vorkommen unterscheidet sich kristallographisch bestimmt von den anderen sogen. Zillertaler Apatiten, z. B. vom Schwarzenstein und vom Floitentale, welche auf ein Axenverhältnis mit größerer Axe *c* zurückzu-

1) Sitzungsber. d. Wien. Akad. 1870, 62 (II), 745.

2) Diese Zeitschr. 1894, 18, 43.

3) Poggend. Ann. 1852, 87, 467.

führen sind. Um auch noch eine Probe hinsichtlich des optischen Verhaltens eines solchen Apatits zu machen, untersuchte ich einen kleinen Krystall vom Schwarzenstein, welcher sogleich erkennen ließ, daß seine Brechungsexponenten und seine Doppelbrechung wesentlich geringer sind als bei den Krystallen vom Rotenkopf. An diesem Krystalle wurde auf gelb der Petroleumlampe eingestellt, was sich hier wegen der sehr geringen Breite dieses Teiles des Spectrums gut ausführen läßt. Ich erhielt dabei für den Prismenwinkel $60^{\circ} 0\frac{1}{2}'$ die Ablenkungen $49^{\circ} 49\frac{3}{4}'$ und $49^{\circ} 32\frac{1}{2}'$, woraus folgt $\varepsilon = 1,63443$, $\omega = 1,63358$, Diff. 215. Diese Zahlen sind sogar kleiner als die für *He* gelb an den Krystallen von Schöllenen oder vom St. Gotthard erhaltenen, sie stimmen hingegen sehr nahe überein mit den oben angeführten des Krystalles von Nordmarken und besonders mit jenen der Krystalle von Minot für *Na*-Licht (nämlich $\varepsilon = 1,63462$ und $\omega = 1,63353$).

Überblickt man sämtliche hier aufgeführte Vorkommen von Apatit mit Rücksicht auf ihre goniometrischen und optischen Constanten, so ist allerdings eine allgemeine, beide Erscheinungen umfassende Regel nicht wohl zu erkennen. Sondert man aber die farblosen bzw. fast farblosen Krystalle der Fundorte: Schwarzenstein, Nordmarken, St. Gotthard, Schöllenen, Gletsch, Knappenwand und Rotenkopf aus, so findet man, daß im allgemeinen mit abnehmendem Winkel $c : x$ ein Ansteigen der Brechungsexponenten und der Doppelbrechung stattfindet. An diese Gruppe schließen sich noch die allerdings nicht farblosen, sondern violetten chlorfreien Krystalle von Minot an, und zwar so, daß die ganze Reihe mit ihnen, welche den größten Winkel $c : x = 40^{\circ} 48' 50''$ aufweisen, beginnt.

Schwieriger ist es, für die gefärbten Krystalle von Epprechtstein, Luxullian, Gellivara und Jumilla, welche sich höchst wahrscheinlich chemisch, wenn auch nur durch geringe fremde Beimischungen, von den farblosen unterscheiden, eine solche Regel aufzustellen. Jedenfalls lassen sie sich nicht ohne weiteres in obige Reihe einfügen. Bei den Krystallen von Epprechtstein und Luxullian ist hierfür die Doppelbrechung zu gering im Vergleich mit den stark schwankenden Brechungsexponenten, welche ihrerseits selbst diejenigen der sulzbachtaler Krystalle übersteigen können.

Hinsichtlich der Doppelbrechung und des Winkels $c : x$ fügen sich die grünen Krystalle von Gellivara in die Reihe zwischen Knappenwand und Rotenkopf ein, wenngleich die entsprechenden Brechungsexponenten hierfür zu klein erscheinen. Das Gleiche gilt von den gelblichen Krystallen von Jumilla. Bei all diesen Vorkommen bedarf es also noch weiterer Untersuchungen, namentlich hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung, um die Ursache des, von dem der farblosen Krystalle abweichenden

optischen Verhaltens zu ermitteln. Ich werde bestrebt sein, den hier zusammengestellten bzw. neu gewonnenen Zahlen weitere hinzuzufügen, sobald ich in den Besitz von neuem geeigneten Material gelangt sein werde. Hoffentlich wird es dadurch gelingen, einzelne Punkte, u. a. die Abweichung in den für die sulzbachtaler Krystalle von Zimányi und mir erhaltenen Werten aufzuklären. Einstweilen übergebe ich diese, wenn auch noch unvollständige Arbeit der Öffentlichkeit mit dem Wunsche, andere Forscher ebenfalls zur goniometrischen, optischen und eventuell chemischen Prüfung der ihnen zur Verfügung stehenden Apatitvorkommen zu veranlassen, damit die Frage nach den zwischen den verschiedenen betreffenden Verhältnissen bestehenden gesetzmäßigen Beziehungen ihrer definitiven Lösung entgegengeführt werde.

Zum Schlusse sei noch auf eine Mitteilung von Zimányi¹⁾ über den bläulichgrünen Apatit von Pisek hingewiesen. Nach Vrba²⁾ sind die verschieden intensiv gefärbten Krystalle dieses Vorkommens auf das für den Apatit von Ehrenfriedersdorf von v. Kokscharow ermittelte Axenverhältnis $a:c = 1:0,73460$ zurückzuführen, welches erfordert $c:x = 40^{\circ} 18\frac{1}{2}'$. Chlor wurde in diesem Apatit nur in minimalen Spuren gefunden. In einem gewissen Gegensatze hierzu steht das von Vrba bestimmte geringe spec. Gewicht 3,094 (bei 12^o C.). Auffallender noch ist das von Zimányi gefundene hohe Lichtbrechungsvermögen nebst der starken Doppelbrechung. Nach dem genannten Autor hat der Apatit von Pisek unter den bisher optisch untersuchten Apatiten die stärkste Licht- und Doppelbrechung, z. B. $N_{\alpha} \left\{ \begin{array}{l} 1,6434 \\ 1,6482 \end{array} \right\} 54$. Allerdings wurden die Beobachtungen nur an einem Kryställchen gemacht; auch konnte der Winkel der Minimalablenkung nur mit dem schwächsten Fernrohr des Fuessschen Goniometers Nr. II gemessen werden, da bei Anwendung des stärkeren die Lichtintensität des abgelenkten Strahles zu gering war. Da diese Krystalle hinsichtlich ihres optischen Verhaltens im Vergleiche mit ihren Winkelwerten auffallend von allen übrigen Vorkommen abweichen, so wurden sie in obige Betrachtung nicht mit einbezogen. Jedenfalls wäre eine erneute Untersuchung an reichlicherem Materiale, wobei die zur optischen Bestimmung benutzten Krystalle zugleich goniometrisch genau geprüft werden müßten, sehr erwünscht.

1) Diese Zeitschr. 40, 284.

2) Ebenda 15, 463.