

# Bemerkungen

über das

# Mischungsgesetz der Turmaline.

Von

**G. Tschermak.**



(Separat-Abdruck aus: »Zeitschrift für Krystallographie etc.« XXXV. Band, 3. Heft.:



# VI. Bemerkungen über das Mischungsgesetz der Turmaline.

Von

G. Tschermak in Wien.

---

Die Ermittlung der chemischen Zusammensetzung des Turmalins gleichwie deren Deutung haben mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen. In jeder Analyse sind im Durchschnitte zwölf verschiedene Grundstoffe zu bestimmen. Die allen Turmalinen gemeinschaftlichen Oxyde: Siliciumdioxid, Boroxyd, Aluminiumoxyd, machen 80 bis 74 % aus, daher bleiben für die Oxyde *RO*, ferner für die Alkalien, Wasser, Fluor nur 20—26 % übrig, die sich auf neun Bestimmungen vertheilen. Die analytischen Fehler sind demnach viele und dieselben sind ungleich vertheilt, was die Berechnung sehr erschwert.

Wären sämtliche Turmaline isomorphe Mischungen von Verbindungen desselben Typus, wie dies beim Granat der Fall ist, so würde trotz der analytischen Fehler deren Typus schon mit Sicherheit erkannt worden sein, da in der letzten Zeit viele, darunter gute Analysen ausgeführt wurden. Die Mischung des Turmalins folgt aber keinem so einfachen Gesetze, daher die richtige Auffassung sich hier nur schrittweise Bahn brechen wird.

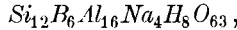
Der Vergleich der Analysen zeigt, dass in den alkalireichen Turmalinen die Menge der Oxyde *RO* gering ist, und dass in den übrigen Turmalinen mit Abnahme der Alkalien die Menge der Oxyde *RO* steigt. Dieses Verhalten führt zu dem Schlusse, dass Turmaline vorkommen können, die ein Maximum von Alkalien enthalten und frei von Oxyden *RO* sind, und ebenso Turmaline, die keine Alkalien, aber ein Maximum von Oxyden *RO* enthalten. Anders gesagt: Es ist aus den Analysen zu ersehen, dass im Turmalin zweierlei Verbindungen gemischt sind, und dies ist die Grundlage der Ermittlung des hier waltenden Mischungsgesetzes. Die damit gestellte Aufgabe ist nicht neu. Die Plagioklasreihe, die Skapolithreihe, die Chlorite u. a. haben genug Beispiele dafür geliefert, wie die Lösung dieser Aufgabe in Angriff zu nehmen sei.

Die erste zusammenhängende analytische Arbeit nach den neueren Methoden lieferte R. B. Riggs, der im Jahre 1888 zwanzig Turmalinanalysen publicirte<sup>1)</sup>. Dass die in dieser umfangreichen Arbeit mitgetheilten

1) American Journal of Science (3) **35**, 35. Ref. diese Zeitschr. **15**, 436.

Bestimmungen annähernd richtig sind, ergibt sich daraus, dass sie der zuvor angeführten Mischungsregel vollkommen entsprechen. Eine dieser Analysen wurde vor Kurzem durch eine neue sehr sorgfältige Analyse, die von Penfield und Foote ausgeführt ist, controlirt, wobei sich eine befriedigende Uebereinstimmung ergab.

Riggs berechnete für die in den alkalischen Turmalinen herrschende Verbindung die Formel



welche die Zusammensetzung des einen Endgliedes der Mischungsreihe darstellt. Das diesem Ausdrücke entsprechende Verhältniss  $Si_6B_3Al_8Na_2H_4$  lässt sich in der That schon aus den beiden Analysen erkennen, die den geringsten Gehalt an Oxyden  $RO$  ergeben.

	<i>Si</i>	<i>B</i>	<i>Al</i>	<i>R</i>	<i>Na</i>	<i>H</i>
Rumford A.	6,28	2,84	8,19	0,20	1,84	4,69
Brasilien A.	6,44	2,87	8,27	0,28	1,94	4,31
angenommen	6	3	8	—	2	4

Dass die Uebereinstimmung der gefundenen und der angenommenen Werthe keine vollständige ist, rührt in erster Linie von der Beimischung der zweiten Art isomorpher Verbindungen her, die durch die Oxyde  $RO$  charakterisirt sind und deren Menge sich zu ungefähr 4 % berechnet. Ferner kommen die analytischen Fehler und allfällige Einschlüsse in Betracht. Riggs bemerkte auch schon, dass das Verhältniss von Silicium und Bor in allen Analysen sich dem Betrage  $Si_2B$  nähert und dass dieses Verhältniss als constant anzunehmen sei. Für die zweite im Turmalin enthaltene Verbindung vermochte er keine einheitliche Formel aufzufinden. Dies gelang bald nachher Wülfing, der für diese einen passenden Ausdruck berechnete<sup>1)</sup>; derselbe lautet:



Da bisher noch kein alkalifreier Turmalin analysirt wurde, so lässt sich diese Formel noch nicht direct verificiren, aber einige der an Oxyden  $RO$  reichen Turmaline nähern sich in ihrer Zusammensetzung schon dem Endgliede der Reihe, so der Turmalin von Hamburg, der nach Riggs' Analyse schon zu 80 % aus der zweiten Art von Verbindungen besteht. Wird die Formel von Riggs mit  $Tu$  und jene von Wülfing mit  $Tm$  bezeichnet, so ergibt die Rechnung und Beobachtung:

	<i>Si</i>	<i>B</i>	<i>Al</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>H</i>
$Tu \times 0,4$	4,2	0,6	4,6	—	0,4	0,8
$Tm \times 0,4$	4,8	2,4	4,0	4,8	—	2,4
Berechnet	6,0	3,0	5,6	4,8	0,4	3,2
Analyse	6,44	3,04	5,73	4,80	0,35	3,54

<sup>1)</sup> Mineralog. u. petrogr. Mitth. 1889, **10**, 461. Ref. diese Zeitschr. **15**, 440. Die oben angeführten Verhältnisszahlen sind dieser Abhandlung entnommen.

Da ferner die übrigen Analysen von Riggs eine gute oder annähernd gute Uebereinstimmung mit der Rechnung ergaben, so war es schon damals sehr wahrscheinlich, dass den in den magnesiumreichen Turmalinen herrschenden Verbindungen die von Wülfing berechneten Verhältnisse zukommen. Später wurden von Jannasch und Kalb neun Analysen veröffentlicht, deren Resultate in gleicher Weise einer Mischung beider Verbindungen entsprechen. In letzter Zeit wurden von Penfield und Foote zwei Analysen ausgeführt<sup>1)</sup>, die sich zur Prüfung des vorgenannten Gesetzes besonders eignen, weil diese sorgfältigen Bestimmungen sich auf ein vollkommen reines Material beziehen, was nicht von allen früher publicirten Analysen gilt. Der eine der untersuchten Turmaline, jener von Haddam Neck, ist arm an Oxyden *RO*, enthält also vorherrschend die Verbindung *Tu* und nur ungefähr ein Siebentel von der zweiten, wie die folgende Rechnung zeigt:

	<i>Si</i>	<i>B</i>	<i>Al</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>H</i>
<i>Tu</i> × 0,44	5,28	2,64	7,04	—	1,76	3,52
<i>Tm</i> × 0,07	0,84	0,42	0,70	0,84	—	0,42
Berechnet	6,12	3,06	7,74	0,84	1,76	3,94
Analyse	6,43	3,14	7,74	0,85	1,77	4,04

Die vollkommene Uebereinstimmung der beiden letzten Zahlenreihen ist eine neue Stütze für die genannte Theorie und weist insbesondere auf die Richtigkeit der von Riggs aufgestellten Formel hin.

Der andere Turmalin, jener von De Kalb, ist sowohl von Riggs als von Penfield und Foote analysirt worden. Derselbe besteht schon zu ungefähr zwei Drittheilen aus der zweiten Verbindung:

	<i>Si</i>	<i>B</i>	<i>Al</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>H</i>
<i>Tu</i> × 0,13	1,56	0,78	2,08	—	0,52	1,04
<i>Tm</i> × 0,37	4,44	2,22	3,70	4,44	—	2,22
Berechnet	6,00	3,00	5,78	4,44	0,52	3,26
Analyse Riggs	6,12	3,02	5,65	4,35	0,48	4,21
- Penfield u. Foote	6,09	3,09	5,81	4,35	0,42	3,89

Auch hier stimmt die Rechnung mit der Beobachtung in befriedigender Weise überein und es ist damit wiederum die Gültigkeit der von Wülfing erhaltenen Formel bestätigt. Es ist demnach vollkommen richtig zu sagen, dass die bisher bekannten Analysen einer Mischung von zwei Verbindungen entsprechen, dass die beiden genannten Formeln das Analysenresultat bald vollkommen, bald mit hinreichender Genauigkeit wiedergeben, und dass das Mischungsgesetz, welches in wenigen Zeichen durch  $Tu_x Tm_y$  ausgedrückt wird, die bisherigen Erfahrungen in kürzester Form zusammenfasst<sup>2)</sup>. Gegen

1) Diese Zeitschr. 31, 321.

2) Siehe meine Abhandlung in den Min. u. petr. Mitth. 1900, 19, 155.

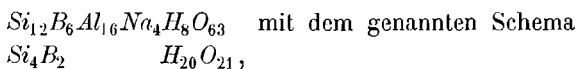
dieses Mischungsgesetz ist nun Penfield, der selbst zur Bestätigung desselben beitrug, aufgetreten<sup>1)</sup> und hat Ansichten geäußert, denen, wie mir scheint, ernste Bedenken entgegenstehen. Da diese Äußerungen, in deutscher Sprache vor ein grösseres Publikum gebracht<sup>2)</sup>, von einem Forscher ausgehen, der sich durch seine Arbeiten auf dem Gebiete der Mineralanalyse grosse Verdienste gesammelt hat, so besteht die Gefahr einer Verwirrung in der Turmalinfrage, der ich durch folgende Bemerkungen vorbeugen möchte.

Penfield bestreitet die Gültigkeit der beiden vorher angeführten Formeln. Dieselben sind aber auf verschiedene Art erhalten worden, daher beginne ich mit der von Riggs aufgestellten  $Si_{12}B_6Al_{16}Na_4H_8O_{63}$ , die aus der Analyse direct abgeleitet ist.

Penfield behauptet nun, diese Formel sei zu hoch, »die Kenntniss in der anorganischen Chemie sei nicht so weit vorgeschritten, dass man beweisen könnte, diese Formel sei die richtige«; dagegen »könne man es als definitiv bewiesen betrachten, dass die empirische Formel der Säure des Turmalins  $Si_4B_2H_{20}O_{21}$  sei«.

Hier ist zu bemerken, dass diese letztere Formel keine empirische Formel, sondern ein Schema ist, aus der Analyse abgeleitet dadurch, dass die Mengen von *Al*, *Mg*, *Na* etc. durch äquivalente Mengen von *H* ersetzt gedacht und die niedrigsten Verhältnisszahlen angenommen werden. Die hier bestehende Differenz der Ansichten ist ungefähr dieselbe, wie in dem Falle, als die Formel des Granats  $Si_3Al_2Ca_3O_{12}$  zu hoch befunden und gefordert würde, dieselbe durch das Schema  $SiH_4O_4$  zu ersetzen. Die von Riggs aufgestellte Formel ist eine empirische, sie ist direct aus der Analyse abgeleitet, und es sind darin bloss die Alkalien unter *Na* zusammengefasst. Wird auf dieselbe das von Penfield befolgte Verfahren angewandt, so erhält man das Dreifache des vorgenannten Schema und deshalb wird dieselbe als zu hoch beziffert bekämpft. Es ist wohl begreiflich, dass der Verfasser, dem es gelungen ist, durch sorgfältige Analysen die empirische Formel mehrerer Mineralien zu vereinfachen, eine solche Vereinfachung auch im vorliegenden Falle anstrebt, jedoch halte ich dies beim Turmalin nicht für durchführbar.

Vergleicht man die empirische Formel



so erkennt man leicht, dass die Höhe der ersteren Formel daher rührt, dass die Analyse das Verhältniss  $Si_6B_3Al_8Na_2H_4$  giebt, das sich nicht durch

1) American Journal of Science 1900, 10, 49.

2) Diese Zeitschr. 1900, 33, 527.

kleinere Zahlen ausdrücken lässt. Es wird nun behauptet, dass die gegenwärtigen Methoden der Mineralanalyse nicht gestatten, die Richtigkeit der Riggs'schen Formel zu beweisen. Dieser Satz ist zu prüfen. Das Verhältniss von Silicium und Bor, nämlich  $Si_2B$ , wird als richtig anerkannt. Nunmehr ist das Verhältniss von Silicium und Aluminium zu bestimmen, das nach der Formel von Riggs  $Si_3Al_4$  ist. Durch dieses Verhältniss wird hier die dreifache Höhe der letzteren verursacht. Die analytischen Methoden sollen nicht ausreichen, dieses Verhältniss mit Sicherheit zu bestimmen. Wäre es richtig, dass die Ermittlung dieses einfachen Verhältnisses hier, wo die Summe von Kieselerde und Thonerde 80 % beträgt, zu schwierig wäre, dann müssten wir die Silicatanalyse überhaupt aufgeben.

In den beiden früher genannten Zahlenreihen, welche den Analysen von Riggs entsprechen, sind die Quotienten für  $Si$  und  $Al$  nur aus den procentischen Bestimmungen von  $SiO_2$  und  $Al_2O_3$  abgeleitet. Es ist kein Titandioxyd, kein Eisenoxyd zugegen, die Quotienten sind also mit keinem grösseren Fehler behaftet. Das Verhältniss berechnet sich nach den neueren Atomgewichten für die beiden Analysen zu

$$\begin{array}{ccc} 3,00 : 3,93 & \text{oder} & 3,05 : 4 \\ 3,00 : 4,05 & & 2,97 : 4 \end{array}$$

also in beiden Fällen sehr nahe 3 : 4.

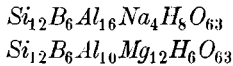
Die sehr kleine Menge der in diesen beiden Turmalinen beigemischten zweiten Verbindung kann diese Ziffern gewiss nicht irgend merklich ändern. Es bleibt noch die Frage, ob nicht ein anderes einfaches Verhältniss innerhalb der möglichen Versuchsfehler liege. Dem Verhältniss 3 : 4 liegen zunächst 4 : 5 und 4 : 7. Dem ersteren entspricht die gefundene Mittelzahl für Thonerde von 42,43 %. Die beiden anderen würden 39,78 und 44,55 % Thonerde bei gleichem Siliciumgehalt erfordern, also entweder um 2,65 % weniger oder um 2,12 % mehr. Bei sorgfältigen Analysen erreicht aber die Abweichung von der theoretischen Zahl niemals 1 %. Es unterliegt demnach wohl keinem Zweifel, dass das Verhältniss 3 : 4 beizubehalten ist. Damit sind die Verhältnisse von Silicium, Bor und Aluminium zu  $Si_6B_3Al_8$  bestimmt, und es erübrigt nur noch die Ziffer für die einwerthigen Stoffe. Deren Summe kommt aber ziemlich genau dem Betrage für Silicium gleich, und ein Drittel davon entfällt auf die Alkalien, daher die Verhältnisse  $Si_6B_3Al_8Na_2H_4$  aus der Analyse nachgewiesen sind.

Die empirische Formel von Riggs ist demnach als richtig zu bezeichnen. Sie ist die kleinste Formel für die im Turmalin enthaltenen Alkalisilicate.

Die zweite von Wülfing aufgestellte Formel  $Si_{12}B_6Al_{10}Mg_{12}H_6O_{63}$  ist keine empirische, ist nicht aus einer Analyse direct abgeleitet, sie ist eine hypothetische Formel, welche die Zusammensetzung des zweiten Endgliedes

der Turmalinmischung angeht. Die Verhältnisse  $Si_6B_3Al_5Mg_6H_3$  zeigen, dass auch hier durch die Zahl für Aluminium die Höhe der Formel bedingt ist. Weil nun sowohl die von Riggs ausgeführten, als die später publicirten besseren Analysen in continuirlicher Aufeinanderfolge der Mischungen diese Formel indirect bestätigen und die zuletzt von Penfield und Foote mitgetheilten genaueren Analysen gleichfalls dieser Formel vollkommen entsprechen, so ist auch diese zweite Formel als richtig anzusehen.

Wenn aber die an reinem Material sorgfältig ausgeführten Analysen einem bestimmten Mischungsgesetze in befriedigender Art entsprechen, dann ist der Beweis für die Richtigkeit jenes Gesetzes erbracht. Einen anderen Beweis giebt es nicht, und wenn ein Mischungsgesetz mit Erfolg bestritten werden soll, so muss der Gegenbeweis an der Hand guter Analysen geführt werden, was bis jetzt nicht geschehen ist. Die Beschwerde, dass die Formeln für die Endglieder zu hoch oder zu complicirt erscheinen, ändert nichts an der Thatsache, dass die bisher bekannten Analysen<sup>1)</sup> dem Gesetze einer Mischung der beiden Typen



folgen. Es ist ja möglich, dass durch künftige Analysen etwas Weniges an diesen Zahlenverhältnissen geändert wird, wodurch sie complicirter würden, aber für den heutigen Stand der Beobachtungen ist und bleibt dieses Mischungsgesetz der kürzeste Ausdruck der Thatsachen.

Es ist auch richtig, dass die Atomsumme in den Formeln der Endglieder sich ungewöhnlich hoch stellt: 409. Dies kann aber leicht eintreten, wenn wie hier die Verbindung oder das Doppelsalz aus sechs verschiedenen Grundstoffen besteht. Durch Verbesserung der Methoden, durch die grössere Sorgfalt und Genauigkeit der Analyse, durch die Vergleichung der Resultate und durch das Studium der Veränderungen der Mineralien werden künftig nicht wenige Formeln erhöht werden, wie dies bei den Gattungen Skapolith, Stauroolith, Nephelin<sup>2)</sup> u. a. schon eingetreten ist. Es liegt auch kein Grund vor zur Annahme, dass die Formeln der Minerale einfach sein müssen.

Das von Penfield vertheidigte Schema  $Si_4B_2H_{20}O_{21}$ , ebenso wie das mehr specialisirte Schema  $Si_4B_2Al_3H_2H_9O_{21}$  widersprechen den Formeln der beiden Endglieder nicht, aber die damit verknüpfte Vorstellung, »dass es keinen Unterschied ausmacht, wie die neun übrigen Wasserstoffatome vertreten sind, ob zum grösseren Theile durch Aluminium und zu einem geringfügigen Theile durch zweiwerthige Metalle und Alkalien, oder ob zum

1) Von den wenigen etwas abweichenden Analysen wird später die Rede sein.

2) Alte Formel für Nephelin:  $SiAlNaO_4$ , Formel nach Scheerer's Analyse:  $Si_9Al_3K_2Na_6O_{34}$ , Formel nach Thugutt:  $Si_{33}Al_{30}K_6Na_{24}O_{126}$ .

grösseren Theile durch Magnesium und im geringeren Maasse durch Aluminium und Alkalien«, ferner: »dass dreiwertige, zweiwertige und einwertige Metalle gleichsam die Rolle isomorpher Bestandtheile spielen und in gleicher Weise die neun Wasserstoffe der Turmalinsäure vertreten«, diese Vorstellung, die noch weit über die vor langer Zeit von Fuchs aufgestellte Hypothese der vicariirenden Bestandtheile hinausgeht, widerspricht allen bisher bekannten Thatsachen. Es ist kein einziger Fall bekannt, in dem eine solche unbestimmte Vertretung stattfindet, und der hier eingenommene Standpunkt ist längst schon verlassen. Derselbe wurde für immer aufgegeben, als das Mischungsgesetz der Plagioklase zur Anerkennung gelangte, und seit dieser Zeit hält die mineralogische Chemie an dem Grundsatz fest, dass bei wechselnder Zusammensetzung innerhalb einer krystallisirten Mineralgattung eine isomorphe Mischung zweier oder mehrerer bestimmter Verbindungen anzunehmen sei, niemals aber eine vage Substitution.

Wenn man von der Vorstellung einer unbestimmten Substitution absieht, könnte das vorgenannte Schema als ein vorläufiges Auskunftsmittel gelten bis zu der Zeit, als die unter diesem Schema begriffenen Verbindungen bekannt sein würden. Nun ist aber die eine Verbindung durch die Analysen von Riggs bekannt und fordert die Verdreifachung jenes Schema; die zweite Verbindung ist zwar nicht direct ermittelt, ihre Formel jedoch durch viele Analysen bestätigt und stellt die gleiche Forderung. Das von Penfield vertheidigte Schema lässt sich demnach wohl nicht als dem gegenwärtigen Stande der Erfahrung entsprechend bezeichnen.

Schon vor einigen Jahren (1899) habe ich darauf hingewiesen, dass in den von Riggs und von Wülfing aufgestellten Formeln ein Theil der Zusammensetzung von Glimmern gleichkomme und zwar in der ersten dem Paragonit, in der zweiten dem Meroxen, und ich habe in meiner Abhandlung<sup>1)</sup> ausdrücklich erklärt, dass diese Gliederung der Formel nicht den Anspruch mache, die chemische Constitution anzugeben, dass aber der dadurch angedeutete Zusammenhang von Turmalin und Glimmer durch das paragenetische Verhalten und durch die Umwandlung des Turmalins in Glimmer bestätigt werde. In dem Aufsätze Penfield's wird dies bestritten. Die Paragenese lässt sich nicht leugnen, aber sowohl diese als auch die Pseudomorphosen, die als seltene Vorkommnisse, als Verdrängungs- oder gar Ausfüllungspseudomorphosen hingestellt werden, sollen für den Zusammenhang der beiden Minerale ohne Bedeutung sein.

Die aus diesem Widerspruche folgende Anregung war mir nicht unwillkommen, da sie mich veranlasste, die hier in Frage kommende Art von Pseudomorphosen, die ziemlich verbreitet zu sein scheint, etwas genauer zu verfolgen. In dem Lepidolith von Rozena sieht man an Stellen, wo eine

1) Min. u. petr. Mittheilungen 19, 157.



Veränderung schon an dem Aussehen des beigemengten Feldspathes bemerkbar wird, Säulchen von Turmalin in eine weiche, trübe gelblichweisse Masse, die ehemals für Speckstein gehalten wurde, verwandelt. Diese Pseudomorphosen zeigen aber verschiedene Stadien des Vorganges an. Dort, wo die Veränderung schon merklich vorgeschritten ist, die Prismen matt und ziemlich undurchsichtig erscheinen, sieht man im Dünnschliffe, der parallel zur Längsaxe der Säulchen genommen ist, zahlreiche krumme Quersprünge, die alle mit feinen durchsichtigen Blättchen besetzt sind. Letztere ordnen sich gewöhnlich so an, dass die grösste Fläche der Blättchen der Längsaxe parallel ist. In anderen vollkommen trüben Prismen erscheint die Zahl der Quersprünge vermehrt, die Menge der Blättchen vergrössert, während der Turmalin sehr abgenommen hat. Endlich sind in anderen Proben bloss kleinste Splitter von Turmalin übrig, die von einem lückenlosen Aggregate farbloser Blättchen umgeben sind. Im letzteren sind trübe Zeichnungen nach den ehemaligen Quersprüngen und die zur Längsaxe parallele Anordnung vieler Blättchen deutlich. Die neugebildeten Blättchen haben in allen diesen Fällen dieselben Eigenschaften. Ihr Brechungsquotient ist etwas grösser als der des Canadabalsams, sie sind optisch zweiaxig negativ mit ziemlich grossem Axenwinkel, was auf Glimmer oder Talk hinweist. Die mikrochemische Prüfung ergab jedoch die Abwesenheit von Magnesium, die Flammenfärbung und der Grad der Schmelzbarkeit stimmen mit einem natronhaltigen Muscovit.

Von Hebron in Maine liegen mir nur solche Pseudomorphosen vor, die fast vollendet erscheinen. Es sind kleine, kurze, grünlichgelbe Säulchen von der Form des Turmalins, die im Lepidolith neben zersetztem Feldspath liegen. Im Bruche zeigen sie sich ganz dicht, beim Schaben mit dem Messer ziemlich weich (H. etwas unter 3), nur selten ein hartes Körnchen enthaltend. Das mikroskopische Bild zeigt ein vollkommen geschlossenes Aggregat sehr feiner grösserer und kleinerer farbloser Blättchen, von denen viele der Längsaxe der Prismen parallel angeordnet sind und an einigen Stellen kleine Körnchen von Turmalin umschliessen, die unter einander und mit der Aussenform parallel gestellt sind. Das Bild ist an vielen Stellen von krummen, trüben Strichen durchzogen, die ehemaligen Quersprüngen entsprechen. Die Blättchen haben einen etwas grösseren Brechungsquotienten als Canadabalsam und sind optisch zweiaxig. In der Löthrohrflamme zeigt sich durch das ungewöhnlich starke Aufblähen, die Flammenfärbung und den Grad der Schmelzbarkeit vollkommen das Verhalten des Cookeit, der bekanntlich dem Lepidolith nahe steht.

Eine unvollendete Pseudomorphose fand ich unter den Stufen von Schneeberg in Sachsen. Es sind veränderte Turmalinkrystalle von mehr als 1 cm Dicke, die im Quarz liegen, der von Granit umgeben ist. Aeusserlich sind die Krystalle graugrün und weich, im Inneren bestehen sie aus

einer weichen, grünlichgrauen dichten Masse, die viele harte schwarze Stellen von den Eigenschaften des ursprünglichen Schörl umschliesst. Der Dünnschliff zeigt viele grössere Partikel des durchsichtigen braunen Turmalins in der ursprünglichen Stellung, die netzartig von einem Gemenge umgeben werden, das zum kleinen Theile aus schwarzen Körnchen von rothem Strich (Eisenglanz), zum grösseren Theile aus einem wirren Aggregat eines feinblättrigen, durchsichtigen grünlichen bis bräunlichen Minerals besteht. Dieses bildet oft Körnchen, oft krumme sechseckige Säulchen, die im Durchschnitte eine fächerförmige Anordnung der Blättchen zeigen, es bietet aber auch stellenweise die Lagerung der Blättchen parallel zur Längsaxe der Säulen. Alle Blättchen zeigen dieselbe Lichtbrechung wie Glimmer, sind optisch zweiachsig, negativ. In der äusseren Schicht der Pseudomorphose ist dieses blättrige Mineral herrschend und konnte daher für sich geprüft werden. Es ergab in der Löthrohrflamme durch Flammenfärbung und den Grad der Schmelzbarkeit ungefähr das Verhalten von Meroxen.

Eine Pseudomorphose, die wohl in mehreren Sammlungen vertreten sein dürfte, beobachtete ich an Stufen vom Hörberg bei Bodenmais. Man sieht wohlausgebildete Schörlkrystalle von 2,5 cm Länge und 1,5 cm Breite in einem grobkörnigen Gemenge von Plagioklas und Quarz liegen. Manche der sonst glänzenden Krystalle haben von ihrer Pracht schon etwas eingebüsst, andere sind vollkommen matt und weich ( $H. = 3$ ) geworden. Man hat also unvollendete und fertige Pseudomorphosen an derselben Stufe. Erstere zeigen im Dünnschliffe Quersprünge und auch viele Sprünge in anderen Richtungen, die alle von einer feinblättrigen Masse mit rosettenförmiger Gruppierung eingenommen werden und um die Splitter des noch unveränderten braunen durchsichtigen Turmalins ein grobes Netz bilden. In den vollendeten Pseudomorphosen erblickt man ein Gewirr von Blättchen und Rosetten eines farblosen Minerals, untergeordnet wenige rothbraune Blättchen und Rosetten, endlich gelblichbraune und grüne Blättchen, letztere in gleichförmiger Vertheilung. Die bei weitem vorherrschenden farblosen Blättchen ergeben zufolge der von Herrn Prof. Becke freundlichst übernommenen Prüfung den Brechungsquotienten  $= 1,61$ , die Doppelbrechung  $\gamma - \alpha = 0,037$  und optisch negativen Charakter, ferner einen Axenwinkel, der erheblich grösser ist als der des Phlogopit. Nach diesen Daten wäre der farblose Gemengtheil ein Glimmer, der sich dem Muscovit nähert. Die begleitenden dunkelrothen Blättchen sind stark pleochroitisch, optisch fast einachsig, negativ und wurden als Meroxen bestimmt. Dieser erscheint aber zum grossen Theile mit Erhaltung der Form umgewandelt, indem die Blättchen an vielen Punkten grünlichgelb, schwach pleochroitisch und viel schwächer doppeltbrechend erscheinen, den optisch negativen Charakter beibehalten haben und meistens durch feinvertheilte Eisenverbindungen gelblichbraun gefärbt sind. Letztere Blättchen entsprechen den bekannten

chloritartigen Umwandlungsproducten des Meroxen, die meist als Vermiculite bezeichnet werden. Trübe Zeichnungen, welche stellenweise das Bild durchziehen, entsprechen den früher genannten Quersprüngen. In der Löthrohrflamme zeigt das pseudomorphe Gemenge ein Verhalten wie Biotit, jedoch ergibt sich durch Schmelzen ein schwärzlich gesprenkeltes Email. Demnach wäre der frühere Zustand der Pseudomorphose als ein Gemenge von Muscovit und Meroxen zu bezeichnen.

In allen hier beschriebenen Fällen ist die Umwandlung von Turmalin in eine oder zwei Glimmerarten constatirt, und da ich in der kleinen Sammlung meines Instituts vier solche Pseudomorphosen auffinden konnte, so bin ich geneigt zu glauben, dass diese Art der Umwandlung nicht zu den Seltenheiten gehöre. Die Ansicht von der genetischen Verknüpfung der beiden Minerale dürfte demnach doch einiger Beachtung werth sein.

Ein anderer sehr auffallender Einwand in der Abhandlung Penfield's gegen die von mir vertheidigten Formeln ist jener, in dem »molekulare Mischungen, die einige hundert und selbst tausend Atome enthalten«, perhorrescirt werden. Hierin liegt wohl ein Missverständniss. Wenn die Analyse einer Legirung 77,7 % Kupfer und 22,3 % Zink ergeben hätte, so kann ich dieses Resultat auch durch Anwendung von Verbindungsgewichten  $Cu_{63,4}, Zn_{65,3}$  ausdrücken und schreiben:  $1,226 Cu + 0,342 Zn = 100$ . Das Verhältniss der beiden gemischten Metalle kann ich hier auch durch die Schreibung  $Cu_{1,226}Zn_{0,342}$  oder kürzer durch  $Cu_{61}Zn_{17}$  darstellen, was nur ein anderer Ausdruck der Analyse und keine chemische Formel, sondern eine Mischungsformel ist.  $Cu$  und  $Zn$  bedeuten hier nicht Atome, sondern Verbindungsgewichte. Daher darf Niemand sagen, ich hätte hier eine molekulare Mischung von 78 Atomen angenommen, weil mir dadurch etwas untergeschoben würde, was ich nicht behauptete.

Für die concise Darstellung der Plagioklasmischungen habe ich seiner Zeit eine kurze Bezeichnung vorgeschlagen, die allgemein acceptirt wurde, und zwar für die Albitsubstanz  $Si_3AlNaO_8 = Ab = 263,3$  und für die Anorthitsubstanz  $Si_2Al_2CaO_8 = An = 279$ . Demnach kann für einen bestimmten Plagioklas das Ergebniss der Analyse ausgedrückt werden durch  $0,2205 Ab + 0,1508 An = 100$  und das Verhältniss von Albit- und Anorthitsubstanz durch  $Ab_{22}An_{15}$ . Bisher hat an dieser Art der Bezeichnung noch Niemand Anstoss genommen, auch Niemand gefunden, dass in diesem Falle eine molekulare Mischung von 481 Atomen behauptet werde. Ich habe daher auch nicht erwartet, einem Missverständnisse zu begegnen, als ich das Resultat einer Turmalinanalyse durch die Mischungsformel  $Tu_{44}Tm_7$  ausdrückte. Wer sich scheut, »mit einigen hundert Atomen« zu rechnen, kann ja die Rechnung procentisch führen, also statt  $Tu_{44}Tm_7$  schreiben: 86 % Natriumturmalin, 14 % Magnesiumturmalin u. s. w. Wenn aber mit der Bemerkung über die hunderte und tausende von Atomen angedeutet

werden soll, dass die Rechnung hier gegenüber der Analyse, die mit Fehlern behaftet ist, eine zu grosse Genauigkeit ausdrückt, so muss wiederum darauf hingewiesen werden, dass Formeln wie  $Tu_{44}Mn_7$  Mischungsformeln sind. Würden dieselben eine chemische Verbindung, also ein Doppelsalz bedeuten, so könnte man das Verhältniss 44 : 7 durch ein einfacheres wie 6 : 1 ersetzen und die Abweichung der Beobachtung von der Rechnung den Fehlern der Analyse zuschreiben. Bei der Mischungsformel ist es anders. Hier ist man zu einer solchen Vereinfachung nicht berechtigt, weil eine Mischung nicht dem Gesetze der multiplen Proportionen gehorcht.

Andere Bemerkungen in dem genannten Aufsätze, wie z. B.: ich hätte gesucht für den Turmalin Formeln zu finden, die meinen Ansichten über die Constitution der Glimmer entsprechen, oder ich hätte Glimmermoleküle im Turmalin angenommen, oder ich hätte alle Analysen auf 100 berechnet, kann ich ohne Weiteres der Beurtheilung des aufmerksamen Lesers meiner Abhandlungen überlassen, ebenso die Auslassung am Schlusse jenes Aufsatzes, die ich hier nicht wiederholen will, um der Frage bezüglich deren Objectivität und Höflichkeit enthoben zu sein.

Obwohl ich nun die Einwürfe gegen das von mir vertheidigte Mischungsgesetz zurückzuweisen bemüht bin, so will ich doch mein Einverständniss in einem Punkte der gegnerischen Ausführungen ohne Zögern zum Ausdrucke bringen. Weil einige Analysen, die einen grösseren Magnesiumgehalt angeben, dem vorher angeführten Gesetze nicht befriedigend entsprechen, habe ich, geleitet von der Idee, dass im Turmalin auch eine Analogie mit dem Phlogopit möglich sei, den Versuch gemacht <sup>1)</sup>, eine dritte Verbindung anzunehmen von der Zusammensetzung  $Si_{12}B_6Al_8Mg_{12}H_8O_{61}$ . Diese Annahme gab eine befriedigende Uebereinstimmung der Rechnung mit den Resultaten der Beobachtung bei den in Frage kommenden Analysen, von denen drei von Riggs, eine von Jannasch und Kalb ausgeführt sind. Obgleich nun die Analysen von Riggs als zuverlässig zu bezeichnen sind, so ist es doch begreiflich, dass bei dem Umstande, als schon die Annahme zweier Verbindungen im Turmalin einem Widerstande begegnet, eine weitere Annahme noch schwieriger Eingang findet. Im Laufe der Zeit wird wohl auch hier Beruhigung eintreten, wie in dem Falle der Pyroxen-Amphibolgruppe, wo die Annahme einer grösseren Zahl von Verbindungen als unumgänglich erkannt wurde. Ich gestehe nun gerne zu, dass durch die genannten vier Analysen das Vorhandensein einer dritten Verbindung noch nicht zweifellos erwiesen ist, und neue sorgfältige Analysen abgewartet werden müssen, um den Streit auch bezüglich der Berechtigung dieser Annahme zum Austrag zu bringen.

1) a. a. O. S. 161.