

ÜBER DIE PARALLELVERWACHSUNG VON TYSONIT UND BASTNÄSIT

VON
IVAR OFTEDAL

Der Tysonit wurde zum ersten Mal von O. D. ALLEN und W. J. COMSTOCK beschrieben¹. Das von ihnen benutzte Material stammte von Pikes Peak in Colorado und bestand wesentlich aus zwei Mineralien. Das eine Mineral erwies sich als mit dem aus Schweden bekannten Bastnäsit — $(\text{Ce}, \text{La}, \text{---})\text{FCO}_3$ — identisch, während das zweite die Zusammensetzung $(\text{Ce}, \text{La}, \text{---})\text{F}_3$ zeigte und als neue Spezies erkannt wurde. Der Tysonit bildete immer die Kernpartien größerer Stücke; die äußeren Partien dieser Stücke sowie die ganze Substanz der kleineren Kristalle und Fragmente bestanden aus Bastnäsit. Der Tysonit war immer mit dem Bastnäsit fest verwachsen; die Grenze zwischen den beiden Mineralien war überall scharf aber unregelmäßig. Das ganze Material zeigte, daß der Bastnäsit zweifellos aus dem Tysonit entstanden ist, und daß der Prozeß der Umwandlung an der Oberfläche des Tysonits anfängt, wie es auch zu erwarten ist, da ja diese Umwandlung durch irgend eine Einwirkung von Kohlensäure bedingt ist. — Eine eingehendere kristallographische Untersuchung des Materials von Pikes Peak wurde von E. S. DANA ausgeführt². Dabei waren freilich nur wenige meßbare Kristallflächen vorhanden. DANA behauptet, daß sämtliche von ihm untersuchten Bastnäsitkristalle Pseudomorphosen nach Tysonit seien, daß also sämtliche beobachtete Kristallflächen eigentlich dem Tysonit angehören. Er findet, daß der Tysonit hexagonale Kristalle mit dem Achsenverhältnis 0.6868 bildet. (Ob DANA für seine Messungen auch frische Tysonitkristalle verwendet hat, geht aus seiner

¹ Am. Journ. Sc. 19, 390—393, 1880.

² Am. Journ. Sc. 27, 479, 1884.

Mitteilung nicht hervor.) Für den Bastnäsit gilt nach R. KOEHLIN¹ das Achsenverhältnis 0.67986. Diese beiden Achsenverhältnisse stimmen so nahe überein, daß man sehr wohl vermuten könnte, der Bastnäsit sei bisher überhaupt nur als Pseudomorphosen nach Tysonit beobachtet worden. Tatsächlich wird diese Ansicht von DANA und auch anderen für richtig gehalten. Dagegen behaupten R. KOEHLIN² und A. LACROIX³ Bastnäsitkristalle mit eigenen Formen beobachtet zu haben. LACROIX hält es sogar für wahrscheinlich, daß die von DANA für den Tysonit angegebenen Formen in Wirklichkeit dem Bastnäsit zukommen. Eine eindeutige Lösung dieser Fragen konnte nicht gebracht werden. Auf Grundlage seiner Untersuchungen hält R. KOEHLIN es jedoch für wahrscheinlich, daß sowohl echte Bastnäsitformen als echte Tysonitformen beobachtet worden sind, daß also zwischen den Kristallformen von Tysonit und Bastnäsit sehr nahe Beziehungen bestehen. — In Stücken, welche teils aus Tysonit, teils aus Bastnäsit bestehen, haben die beiden Mineralien genau die gleiche Orientierung; sowohl die Basisflächen als die mit 10 $\bar{1}0$ bezeichneten Spaltprismen sind einander genau parallel.

Röntgenographische Untersuchungen, welche ich an Tysonit⁴ und Bastnäsit⁵ ausführen konnte, bestätigten R. KOEHLINS Vermutung über die nahe Verwandtschaft der Kristallformen der beiden Mineralien und brachten Aufklärung über die Parallelverwachsung derselben. Vergleichen wir zuerst die Dimensionen der beiden hexagonalen Elementarzellen:

	a	c	c/a
Tysonit	7.124 Å	7.280 Å = 1/4 · 29.12 Å	1.022 = 3/2 · 0.681
Bastnäsit.	7.094 Å	9.718 Å = 1/3 · 29.15 Å	1.370 = 2 · 0.685

Man sieht, daß nicht nur die Achsenverhältnisse, sondern auch die absoluten Dimensionen der beiden Elementarzellen sehr nahe verwandt sind. Man sieht auch, daß die von DANA bzw. KOEHLIN gewählten Orientierungen mit den röntgenographisch gefundenen

¹ TSCHERM. Min. Petr. Mitt. 31, 529, 1912.

² L. c. 528.

³ Bull. Soc. Franc. Min. 35, 108, 1912, und Minér. Madagascar I, 237, 1922.

⁴ Z. physik. Chemie, Abt. B. 5, 272 ff., 1929, und ebenda Abt. B. 1931.

⁵ Z. Krist. 72 239 ff., 1929, und ebenda 78, 1931.

übereinstimmen. (Die von DANA bzw. KOEHLIN angegebenen Achsenverhältnisse — für Tysonit 0.687, für Bastnäsit 0.680 — weichen von den röntgenographisch gefundenen entsprechenden Größen merkbar ab. Da für die letzteren die maximalen Fehlergrenzen nur ± 0.001 betragen, müssen die ersteren mit merkbaren Fehlern behaftet sein. Wahrscheinlich ist wohl das für die Winkelmessungen benutzte Material nicht hinreichend vollkommen gewesen, um eine sehr genaue Be-

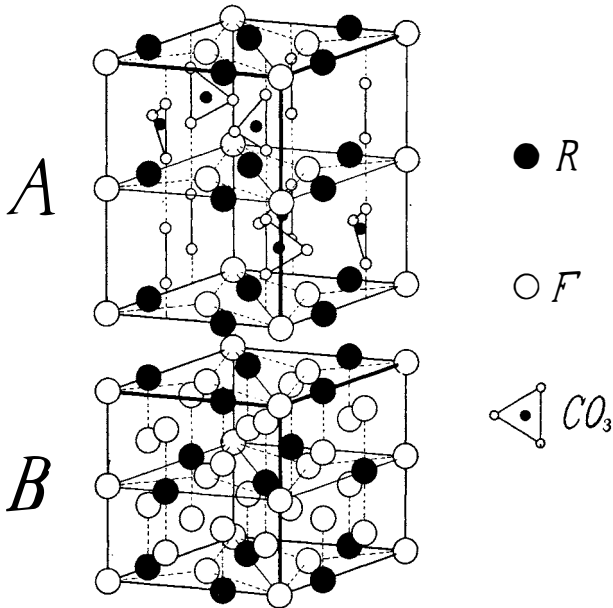


Fig. 1. Elementarzellen von Bastnäsit (A) und Tysonit (B) in gleichem Maßstab und gleicher Orientierung. Beide Strukturen sind etwas idealisiert, stellen aber die wahren Verhältnisse sehr nahe richtig dar.

stimmung der Achsenverhältnisse zu erlauben. Falls aber die Ergebnisse DANAS und KOEHLINS wirklich sehr zuverlässig sein sollten, muß man vermuten, daß DANA — im Einklang mit der Annahme von LACROIX — in Wirklichkeit echte Bastnäsitkristalle gemessen hat, und daß die von KOEHLIN gemessenen Kristalle Pseudomorphosen nach Tysonit gewesen sind; in diesem Falle wäre die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Winkelmessung und der Röntgenuntersuchung fast vollkommen. Es sei bemerkt, daß für sämtliche hier besprochenen Untersuchungen Material von Pikes Peak benutzt wurde.) Wir wollen nun die beiden Strukturen näher ver-

gleichen. Siehe Fig. 1. Erstens treten in beiden Strukturen ähnlich gebaute der Basis parallele Metall-Fluor-Ebenen auf. In diesen Ebenen bilden die R(Ce, La, — —) regelmäßige Dreiecknetze; die F bilden (im Idealfall¹) dazu kongruente Dreiecknetze, welche in Zentren von R-Dreiecken anfangen. Die Seitenlänge der primitiven Dreiecke ist nun in beiden Strukturen $a/\sqrt{3}$, das heißt beim Tysonit

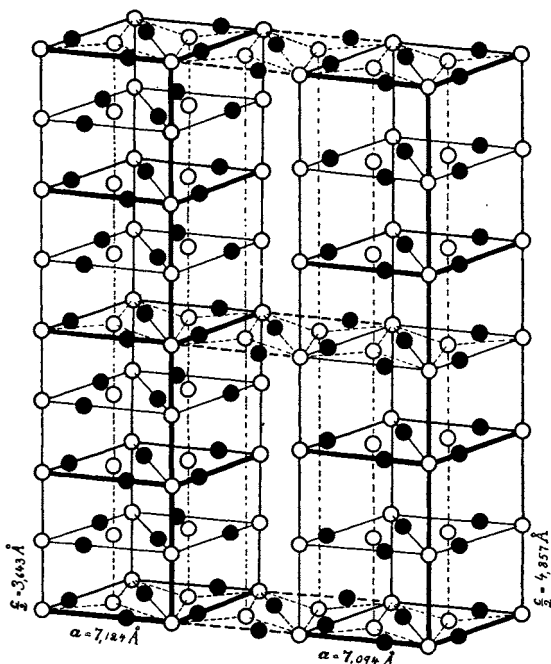


Fig. 2. Links Tysonit (4 Elementarzellen), rechts Bastnäsit (3 Elementarzellen). Die zwischen den RF-Ebenen liegenden Ionen — F bzw. CO_3 — sind fortgelassen. Die Figur soll zeigen, wie die beiden Strukturen mittels gemeinsamer durchgehender RF-Ebenen verknüpft werden können. (Schwarze Kreise: R, leere Kreise: F.)

4.112 Å, beim Bastnäsit 4.095 Å, so daß die absoluten Dimensionen der Dreiecknetze bis auf weniger als $1/2\%$ übereinstimmen. Ein Tysonitkristall und ein Bastnäsitkristall können somit offenbar sehr wohl eine solche RF-Ebene gemeinsam haben. Hierbei muß eine ganz unbedeutende Dehnung bzw. Stauchung auftreten; dieselbe wird vermutlich auch die nächstbenachbarten Schichten auf beiden Seiten der

¹ OFTEDAL, l. c.

Grenzfläche berühren. Die Verwachsung von Tysonit und Bastnäsit mit parallelen Basisflächen ist somit auf Grundlage der Strukturen sehr wohl verständlich. Da nun die Orientierung der R- und F-Dreiecke in beiden Elementarzellen die gleiche ist, und die Orientierung der Elementarzellen mit den früher geltenden Aufstellungen der Kristalle übereinstimmt, muß eine dem Tysonit und dem Bastnäsit

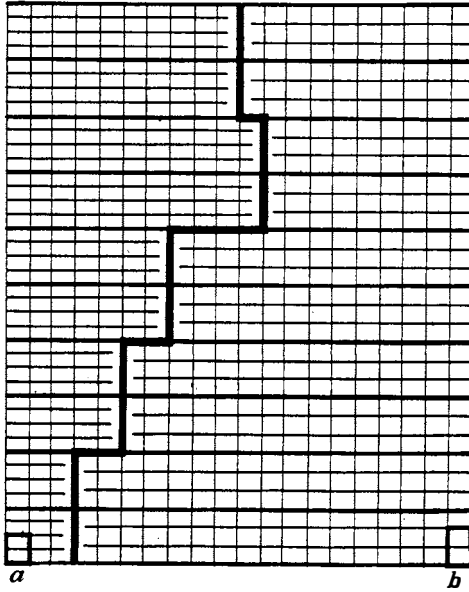


Fig. 3. Links Tysonit, rechts Bastnäsit. Projektion der Strukturen auf $11\bar{2}0$. Die kleinen Vierecke bei a und b geben die Größen der Elementarzellen an. Die Figur soll zeigen, wie man sich eine unregelmäßig verlaufende Verwachsungsgrenze vorzustellen hat. Die horizontalen Linien sind die Projektionen der RF-Ebenen; die beiden Mineralien gemeinsamen RF-Ebenen sind durch dickere Linien hervorgehoben. Die vertikalen Linien sind die Projektionen der Prismenflächen $10\bar{1}0$ der Elementarzellen.

gemeinsame RF-Ebene auch die Parallelität entsprechender Prismenflächen der beiden Kristalle herbeiführen, wie es auch beobachtet wurde. Ferner sieht man, daß zwischen den Längen der c-Achsen von Tysonit und Bastnäsit eine sehr nahe Beziehung besteht. Vier Mal die c-Achse von Tysonit ist bis auf die Messungsfehler genau gleich drei Mal die c-Achse von Bastnäsit. Da nun in beiden Fällen die RF-Ebenen in Abständen von $c/2$ aufeinander folgen, ergibt sich

folgendes. Betrachten wir eine Verwachsungsgrenze, welche nicht parallel den Basisflächen verläuft. Falls eine RF-Ebene dem Tysonit und dem Bastnäsit gemeinsam ist, so muß dies auch in den senkrechten Abständen $n \times 14.57 \text{ \AA}$ zutreffen, denn 14.57 \AA ist gleichzeitig 4 Mal die halbe c-Achse von Tysonit und 3 Mal die halbe c-Achse von Bastnäsit. Jede vierte RF-Ebene des Tysonits und jede dritte RF-Ebene des Bastnäsits sind also beiden Mineralien gemeinsam. Siehe Fig. 2 und Fig. 3. Die Parallelverwachsung von Tysonit und Bastnäsit wird also mittels der Kristallstrukturen sehr schön erklärt. Tatsächlich sollte man auf Grund der Strukturen Verwachsungen gerade der beobachteten Art erwarten. Hierin liegt andererseits eine Stütze für die Richtigkeit der angegebenen Strukturen. — Abgesehen von den beiden Mineralien gemeinsamen RF-Ebenen müssen natürlich an der Verwachsungsgrenze Störungen der Gitter auftreten; es muß eine Übergangszone von einer gewissen Breite geben. Diese Zone läßt sich natürlich nicht direkt beobachten; wahrscheinlich beträgt ihre Breite nur wenige Elementarzellenkantenlängen.

An einem stäbchenförmigen Stück, das teils aus Bastnäsit teils aus Tysonit bestand, konnte die genau parallele Orientierung der beiden Mineralien direkt nachgewiesen werden. Es wurde zuerst eine Schaukelaufnahme mit Schaukelung um die gemeinsame c-Achse über 15° gemacht. Der Tysonit bildete hierbei das obere Ende des Stäbchens. Die Aufnahme ist in Fig. 4 gezeigt. Wie man sieht, sind sämtliche Schichtlinien erster Art einander genau parallel. Hieraus folgt die Parallelität der beiden c-Achsen. Ferner zeigt die Bezifferung der Aufnahme, daß die auftretenden Indizes (von gewissen gesetzmäßigen Auslöschungen abgesehen) für beide Mineralien die gleichen sind. (Entsprechende Indizes der beiden Mineralien werden wegen der nahen Übereinstimmung der beiden a-Achsen in der Aufnahme auf gemeinsamen Schichtlinien zweiter Art beobachtet). Dies zeigt, daß auch die beiden a-Achsen einander parallel sind. Eine zweite Aufnahme wurde mit Schaukelung um die a-Achse hergestellt. Diese Aufnahme bestätigt noch mehr die genau parallele Orientierung. Hier haben die beiden Mineralien nicht nur parallele, sondern (wieder wegen der Übereinstimmung der beiden a-Achsen) gemeinsame Schichtlinien erster Art. Die Schichtlinien zweiter Art der beiden Mineralien verlaufen einander parallel¹, fallen aber im Allgemeinen natürlich nicht

¹ In nicht zu mißverstehendem Sinne dieses Wortes.

zusammen; wegen des oben erwähnten Zusammenhanges zwischen den Längen der beiden c-Achsen treten jedoch in gewissen Fällen solche Koinzidenzen auf.

Eine weitere Beobachtung möchte ich noch erwähnen. Für eine Untersuchung der Ordnungen von 0001 von Tysonit wurde ein dünnes Spaltungsstück parallel der Basis auserlesen. Es war eine

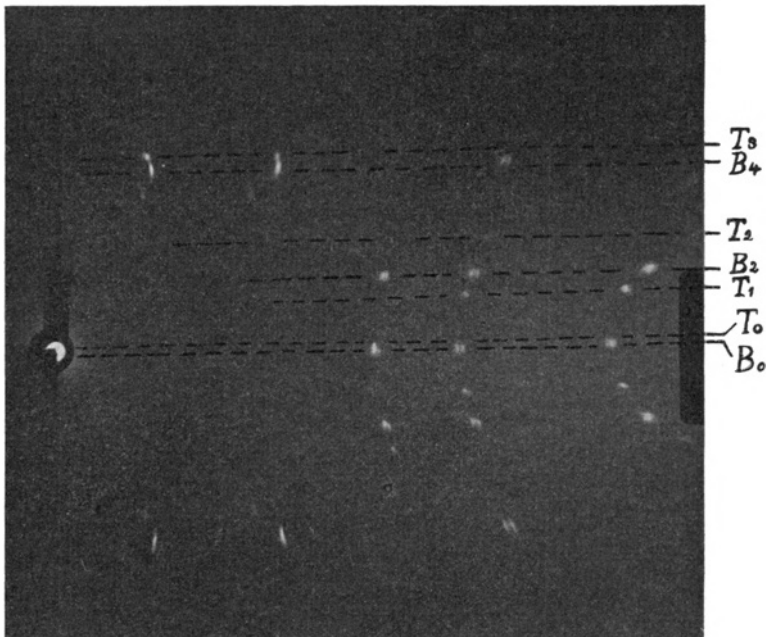


Fig. 4. Schaukelaufnahme von Tysonit und Bastnäsit in Parallelverwachsung. Kupferstrahlung. Schaukelung über 15° um die c-Achse. T: α -Schichtlinien des Tysonits, B: α -Schichtlinien des Bastnäsits. Da der obere Teil des benutzten Splitters aus Tysonit, der untere Teil desselben aus Bastnäsit bestand, liegen die beiden Systeme von Schichtlinien entsprechend unsymmetrisch zueinander. Da der Bastnäsit den größten Teil des Splitters bildete, sind in der Aufnahme die Bastnäsitflecke größer als die Tysonitflecke.

beinahe planparallele Platte etwa $\frac{1}{2}$ mm dick und mit einem größten Durchmesser von etwa 3 mm. Die Platte wurde unter dem Mikroskop untersucht. Sie bestand anscheinend aus vollkommen reinem und homogenem Tysonit. Eine Seite der Platte war vollkommen eben und glänzend; die zweite erschien im reflektierten Licht ein ganz wenig rau, als ob sie ein wenig angeätzt wäre; vielleicht hat sie

eine Zeit lang die natürliche Oberfläche des Stückes gebildet. Mit dieser Platte wurden Schaukelaufnahmen hergestellt, und zwar wurden zuerst die Röntgenstrahlen von der rauhen Seite reflektiert. Die so erhaltenen Aufnahmen zeigten eine ganz unerwartete Reihe von Basisreflexen, welche mit den früheren Beobachtungen am Tysonit gar nicht in Einklang gebracht werden konnte; sie erforderte wenigstens eine Verdoppelung der *c*-Achse. Es zeigte sich aber, daß eine gewisse Auswahl der beobachteten Basisreflexe mit der Tysonitstruktur genau übereinstimmte, während die übrigbleibenden mittels der Bastnäsitstruktur vollständig erklärt werden konnten. Eine Aufnahme, für welche die ebene Seite der Platte als reflektierende Oberfläche benutzt wurde, zeigte wieder die erstere Gruppe von Basisreflexen, von der letzteren Gruppe jedoch keine Spur. Die rauhe Oberfläche der Platte wird somit offenbar von einer dünnen mit dem Tysonit parallelverwachsenen Bastnäsitschicht gebildet. (Es sei bemerkt, daß die Platte wie das übrige Material von Pikes Peak stammt.) Die Bastnäsitschicht muß außerordentlich dünn sein. Wie erwähnt konnte sie trotz der sehr verschiedenen optischen Eigenschaften von Tysonit und Bastnäsit nicht im Mikroskop beobachtet werden, und ferner läßt sie die Röntgenstrahlen fast ohne Absorption durch, wie aus den sehr hohen Intensitäten der Reflexe vom unterliegenden Tysonit zu ersehen ist; außerdem sind von der Bastnäsitschicht nur die Basisreflexe, — bei denen die Verhältnisse besonders günstig liegen, — deutlich sichtbar. Die Bastnäsitschicht bedeutet offenbar eine an der Oberfläche anfangende Umwandlung von Tysonit in Bastnäsit.

Zusammenfassung.

Auf Grundlage der Kristallstrukturen findet die beobachtete Parallelverwachsung von Tysonit und Bastnäsit eine sehr schöne Erklärung, welche auf die Übereinstimmung gewisser Eigenschaften und Dimensionen beider Strukturen beruht. Die Parallelverwachsung wurde röntgenographisch direkt beobachtet. An einer anscheinend reinen und homogenen Tysonitplatte wurden röntgenographisch Anzeichen einer anfangenden Umwandlung in zum Tysonit parallel orientiertem Bastnäsit beobachtet.

Die Frage, ob in einem gegebenen Fall ein echter Bastnäsitkristall oder eine homoachse Pseudomorphose nach Tysonit vorliegt,

kann nur mittels sehr zuverlässiger Winkelmessungen entschieden werden, denn die Achsenverhältnisse der beiden Mineralien, welche röntgenographisch sehr genau bestimmt werden konnten, sind ziemlich nahe kommensurabel. Es sind

	c/a (röntgenogr.)
Tysonit	$1.022 = 3/2 \cdot 0.681 (\pm 0.001)$
Bastnäsit . . .	$1.370 = 2 \cdot 0.685 (\pm 0.001)$

(Die Fehlergrenzen sind für die Größen 0.68— berechnet; sie sind als Maximalwerte anzusehen). Eine Entscheidung erfordert somit ziemlich vollkommene Kristallflächen, welche ihre ursprüngliche Winkelverhältnisse genau beibehalten haben.

Die für diese Untersuchung benutzten Schaukelaufnahmen wurden während eines Aufenthaltes in Cambridge (England) hergestellt. Für die freundliche Aufnahme in das dortige mineralogische Laboratorium möchte ich Herrn Professor Dr. A. HUTCHINSON und Herrn J. D. BERNAL bestens danken.

Oslo, Mineralogisk-geologisk Museum, Juni 1931.

Gedruckt Oktober 1931.