

**Zeitschrift:** Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =  
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

**Band:** 43 (1963)

**Heft:** 1: Festschrift Robert L. Parker : zu seinem 70. Geburtstag : 1. Mai 1963

**Artikel:** Morphologische Studien an einem grösseren Titanit-Fund südlich  
Gletsch

**Autor:** Graeser, Stefan / Niggli, Ernst / Stalder, Hans Anton

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-33459>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Morphologische Studien an einem grösseren Titanit-Fund südlich Gletsch

Von *Stefan Graeser, Ernst Niggli* und *Hans Anton Stalder* (Bern)

Mit 10 Textfiguren

## Abstract

Near Gletsch (Wallis, Switzerland) a fissure deposit of Alpine type was discovered recently which yielded more than a thousand rather big crystals of sphene (maximum length 9 cm). The country rock is amphibolite of the Aar Massif. The sphene crystals were found mostly within an aggregate of chlorite. Ca  $^{3/4}$  of the crystals are penetration twins; twinning law (100). The untwinned crystals and the twins are elongated parallel to the b-axis. Other minerals of the fissure deposit are adularia, quartz, calcite, ankerite and epidote.

Morphological-statistical studies showed that the *untwinned* sphene crystals (of elongated-platy habit) have a vicinal form — taking the place of {102} — as predominant form, which is always present and which has always the biggest faces on the crystal. The faces of this form frequently are not planes in the geometrical sense, but are somewhat curved and have irregular features (p. ex. sub-faces). This form is here called the form of the S-faces (= „Sonderfläche“, after PENG, 1955); it is a very flat monoclinic prism.

The *twinned* crystals have P {100} as main form; other important forms are y {001}, n {111} and the form of the S-faces. The twins show some peculiar features. Some are asymmetric with respect to the b-axis; others are symmetric but have a reentrant angle within one of the two individuals (parallel growth of two sub-individuals).

The different habits of the two groups — twinned and untwinned crystals — are thought to reflect different growth conditions.

Im Sommer 1957 entdeckte Herr O. Lucek (Meiringen) südlich Gletsch eine grosse Zerrkluff, die sich dadurch auszeichnete, dass sie eine sehr grosse Zahl von Titanitkristallen von zum Teil beachtlicher Grösse enthielt. Herr O. Lucek und Herr Jos. Imhof (Binn und Ried bei Brig) beuteten hierauf die Kluff aus.

Der damalige Präsident der Kommission des Naturhistorischen Mu-

seums in Bern, Herr Dipl.-Ing. R. von Sinner † (Bern), erkannte den grossen wissenschaftlichen Wert dieses Fundes und ermöglichte in grosszügiger Weise, dass mit Ausnahme einer kleinen Musterkollektion (die die Herren Lucek und Imhof behielten) die gesamte, im Jahre 1957 geförderte Ausbeute zunächst an das Naturhistorische Museum gelangte. Wir sind ihm dafür zu grossem Dank verpflichtet.

Dies ermöglichte es den Autoren der vorliegenden Arbeit, an einem reichhaltigen und morphologisch interessanten Material von zum Teil sehr grossen Titanit-Kristallen *einer* Kluft morphologisch-statistische Untersuchungen durchzuführen.

Nach erfolgter Bearbeitung wurde ein Teil des Fundes an Museen und andere Interessenten verkauft. H. A. STALDER wird für eine spätere Publikation die übrigen Minerale der Zerrkluft, das Nebengestein und die Zersetzungserscheinungen in der Wand der Kluft untersuchen und beschreiben; die vorliegende Arbeit befasst sich im wesentlichen nur mit den Titanitkristallen der Kluft.

### **Allgemeine Beschreibung der Kluft und ihrer Mineralien**

Auf Wunsch des Entdeckers der Kluft wird vorläufig die ganz genaue Lokalisierung des Fundortes noch nicht bekanntgegeben. Die Herren Lucek und Imhof führten aber einen von uns zur Kluft, so dass an Ort und Stelle die nötigen Erhebungen durchgeführt werden konnten.

Der Fundort liegt weniger als 750 m südlich Gletsch (Kanton Wallis) in der Gesteinszone, die auf der geologischen Karte von W. FEHR (1926) als „Zone der metamorphen Hornblendite und Gabbrodiorite“ bezeichnet ist. E. NIGGLI und C. NIGGLI (in TH. HÜGI et al., 1962) nennen neuerdings diese Zone „Hauptmigmatitzone von Gletsch“; sie gehört zur südlichen Gneis- und Schieferzone des herzynischen Aarmassivs. Die Zone wird von Amphiboliten bis Hornblendefelsen aufgebaut, welche von zahllosen Apliten durchadert sind. Die Mineralkluft liegt in Amphibolit, der gegen die Kluftwände zu eine deutliche Veränderung (Ausbleichung durch Zersetzung und Imprägnation) zeigt.

Die Kluft selbst hat die Form einer länglich ausgezogenen Linse. Im Gegensatz zu den meisten alpidischen Zerrklüften des Aarmassivs liegt sie nicht mehr oder weniger horizontal; die Linsenebene (welche die mittlere und die längste Achse der Linse enthält) streicht ca. N 170° E und fällt mit 50° nach Westen ein. Die längste Achse der Linse liegt fast im Streichen der Linsenebene; sie fällt mit 10 bis 15° nach Norden ein.

Die vom Normalfall abweichende Lage ist wohl auf das besondere Nebengestein (Amphibolit) zurückzuführen; Amphibolite zeigen ja oft ein besonderes Verhalten gegenüber der tektonischen Beanspruchung durch die alpidische Gebirgsbildung. Die Länge der linsenförmigen Kluft beträgt 4,6 m, die Breite 2,5 m und die grösste Dicke 0,9 m. Die Kluft war zum grössten Teil von Zerrkluftmineralien ausgefüllt und besass nur kleinere Hohlräume. Ein Querschnitt (senkrecht zum Streichen der Linsenebene) im südlichen Teil der Kluft zeigte von östlich-unten nach westlich-oben:

- a) Unveränderter Amphibolit, gegen die Kluft heller werdend.
- b) Ca. 20—30 cm stark verändertes, gebleichtes Nebengestein des Kluftbodens, durch kluftbodenparallele Risse von a getrennt, doch ohne Zweifel aus letzterem durch Zersetzung und Imprägnation hervorgegangen.
- c) Oberfläche des Kluftbodens, besetzt mit Adular und Titanit. Viele schöne Mineralstufen stammen aus diesem Bereich.
- d) Grobkörnige Chloritmasse, dunkelgrün, mit Nestern von „schwebend“ gebildeten Titaniten. Die Hauptmasse der Titanit-Einzelkristalle und -Zwillinge stammt aus diesem Bereich. Kleine Hohlräume.
- e) Quarzbank mit Chlorit. Der Quarz zerbricht zu länglichen Splintern und besitzt kluftdeckenparallele Bänder von Chlorit. Manchmal sind Quarzsplinter in den darunter liegenden Chlorit eingedrungen.
- f) Quarzband ohne Chlorit.
- g) Feinkörnige Chloritmasse, hellgrün, mit „schwebend“ gebildeten, blättchenförmigen Titaniten.
- h) Kluftdecke, besetzt mit Adular, zum Teil auch mit Quarz und Titanit.
- i) Amphibolitisches Nebengestein, nahe der Kluftdecke stark ausgebleicht.

Im mittleren Teil (in bezug auf die Längsachse) der Kluft ragten grosse Quarzkristalle vom Quarzband in die Kluft hinein und füllten sie praktisch aus. Im nördlichen Teil der Kluft kamen mehrere querstehende, wandartige Quarzbänder vor, die nicht gebändert waren. Sie füllten den Raum zwischen Kluftdecke und -boden vollständig aus. Zwischen den Bändern befanden sich Chloritnester mit wenig Titanit.

In der nachstehenden Tabelle sind die in der Kluft gefundenen Mineralarten zusammengestellt. Wir haben ferner versucht, für jede Mineralspezies die vorhandene Menge in der Kluft zu schätzen.

Man fand nur sehr wenig Calcit (und zwar in der nördlichen Klufterhälfte), doch deuten negative Kristalle (Hohlräume in Chloritmasse und

Mineral:	Menge in kg oder g:
Quarz	ohne Quarzband: zwischen 200 und 1000 kg mit Quarzband: gegen 10000 kg
Chlorit:	ca. 1000 kg
Adular:	zwischen 20 und 100 kg
Titanit:	ca. 10 kg
Calcit:	noch vorhanden: ca. 2 kg; ursprünglich aber mehr
Ankerit:	einige g
Epidot:	ein Kristall

Adular) auf verschwundene Calcittafeln hin. Zirkulierende Wässer haben den grössten Teil dieses Minerals aufgelöst und weggeführt.

## Die Titanite der Kluft

### a) Allgemeine Bemerkungen

Der grössere Teil der Titanitkristalle war in der Kluft völlig von körnigem Chlorit, „sand“ umschlossen; diese Titanitkristalle sind allseitig idiomorph ausgebildet und sassen also weder auf der Kluftwand noch auf anderen, grösseren Mineralien auf. Ein kleinerer Teil der Titanite war auf den Kluftwänden oder auf Quarzkristallen auf- resp. eingewachsen. Die Menge der aufgewachsenen Titanite verhält sich zu derjenigen der freigebildeten etwa wie 1 : 4.

Der Untersuchung standen 715 unverletzte Einzelkristalle und Zwillinge von 1 bis 9 cm Länge, ca. 150 Bruchstücke und 200 Gruppen zur Verfügung; diese Zahlen betreffen nur die nicht auf den Kluftwänden oder anderen Kristallen aufgewachsenen Titanite. Nach 1957 haben die Herren Lucek und Imhof in der noch nicht völlig ausgebeuteten Kluft noch weitere Titanitkristalle gefunden, so dass bis heute wohl ca. 1000 unverletzte Einzelkristalle geborgen worden sind.

Der schwerste Titanitkristall ( $74 \times 32 \times 13$  mm) wiegt 75 g; er ist im Besitz von Herrn O. Lucek. Alle anderen Kristalle sind leichter als 20 g. Ein abgebrochener Kristall von 8,8 cm Länge war ursprünglich wohl über 10 cm lang. Die Titanite zeigen gelbe, gelbgrüne bis olivgrüne Farben; einige Kristalle haben braune bis rötlichbraune Enden. Manche Kristalle (vor allem die Zwillinge) sind mit festsitzendem Chlorit bedeckt, der die Eigenfarbe des Titanits verdeckt. Chlorit ist meist auch im Titanitkristall als Einschluss zahlreich vorhanden. Es darf angenommen werden, dass allseitig ausgebildete Titanitkristalle sich in der Chloritmasse, vielleicht gleichzeitig mit dem Chlorit, gebildet haben.

Alle Titanitkristalle sind stark nach der b-Achse gestreckt. Es gibt unverzwilligte Kristalle und solche, die als Durchkreuzungszwillinge nach (100) ausgebildet sind. Die *unverzwilligten* Kristalle sind meist ausgesprochen flachstengelig bis blättrig, wobei die Hauptform ein sehr flaches monoklines Prisma ist, dessen Zonenachse senkrecht zur b-Achse

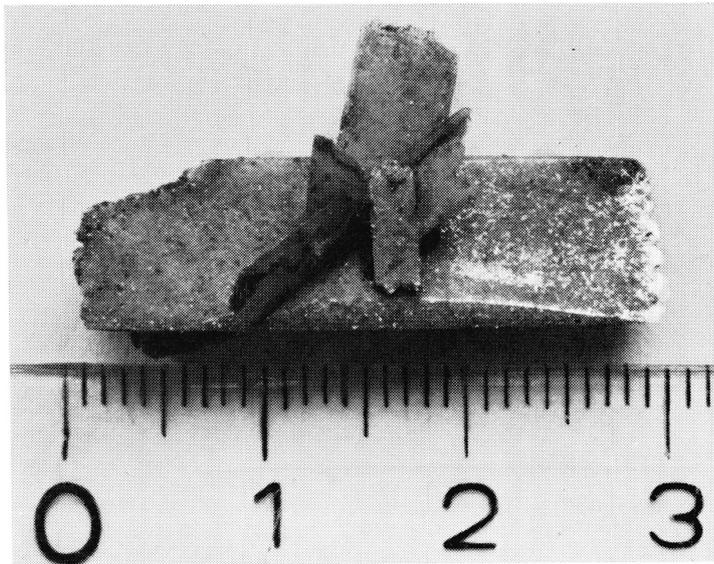


Fig. 1. Gruppe von unverzwilligten Titaniten. Hauptform ist die Form der S-Flächen, die einen flachen Doppelkeil bildet. Keine Zwillingsbeziehung zwischen den einzelnen Kristallen der Gruppe. Streckung nach der b-Achse.



Fig. 2. Verzwilligter Titanit. Hauptform ist  $P\{100\}$ . Die S-Flächen (am einspringenden Winkel) zeigen schwach gekrümmte Kanten. Auf den Titanit aufgewachsen sind drei kleine Adular-Kristalle.

steht (siehe Fig. 1 und Fig. 5). Der Kristall hat also die Gestalt eines sehr flachen Doppelkeils, der in der kristallographischen *b*-Achse gestreckt ist. Dicktafelig-stengelige, unverzwilligte Kristalle sind meist zu Gruppen aggregiert. Die *verzwilligten* Kristalle sind flachstengelig bis dickstengelig ausgebildet mit der *b*-Achse als Stengelachse (siehe Fig. 2, 6 und 7). Die Enden der *b*-Achse sind oft unregelmässig ausgebildet und schwach gezackt. Seltener sind gut ausgebildete, flächenreiche Enden. In Quarz eingewachsene Kristalle sind meistens chloritfrei und zeigen kristallographisch gut ausgebildete Enden.

#### b) Polarisationsoptische Untersuchung

Kleine, unverzwilligte Kristalle konnten direkt mit dem Polarisationsmikroskop untersucht werden, da sie oft sehr dünn sind. Es handelt sich um gestreckt-blättchenförmige Kristalle, die sich aber bei näherer Betrachtung als flache Doppelkeile erweisen. Sie bestehen hauptsächlich aus einem sehr flachen, monoklinen Prisma, dessen Zonenachse senkrecht zur Längserstreckung der Kristalle steht (später *S*-Fläche genannt). Die konoskopische Untersuchung ergab, dass die Ebene der optischen Achsen senkrecht zur morphologischen Längsachse der Kristalle verläuft, wobei  $n_\gamma$ , die spitze Bisektrix, ungefähr senkrecht zu den genannten Prismenflächen steht. Die Längsachse entspricht also der kristallographischen *b*-Achse. Die Prismenfläche steht natürlich nicht genau senkrecht zur Ebene der optischen Achsen; die Abweichung von der Senkrechten beträgt  $2^\circ$  bis  $6^\circ$ . Dieser Winkel entspricht natürlich dem Winkel der Prismenfläche zur *b*-Achse. — Nach den Angaben der Literatur stehen die Fläche (102) und ihre Vizinalen ungefähr senkrecht zu  $n_\gamma$ .

Wir stellten ferner Dünnschliffe her. Der Winkel  $2V_\gamma$  der optischen Achsen wurde zu  $25\text{--}26^\circ$  gemessen. Es zeigte sich ferner, dass auch die verzwilligten Kristalle nach der *b*-Achse gestreckt sind. In Schliffen senkrecht zu [010] konnten die Flächen dieser Zone recht gut bestimmt werden.

Die Bestimmung der Brechungsindizes ist einer späteren Arbeit vorbehalten, in welcher auch eine chemische Analyse des Titanits mitgeteilt werden soll.

#### c) Goniometrische Untersuchung und Charakterisierung der Flächen

Die Anzahl der zur Ausmessung mit dem Reflexions-Goniometer geeigneten Kristalle war recht klein, da die meisten Titanite (und auch ihre Kristallflächen) stark mit Chlorit durchwachsen sind. Kristall Nr. 58/32,

ein Zwilling, ist auf einer Seite der b-Achse ziemlich frei von Chlorit und ist zudem auch der flächenreichste aller Kristalle. An diesem Individuum wurden zunächst einmal sämtliche Flächen gemessen und ihre Indizes ermittelt. Zur Kontrolle wurden noch mehrere andere Exemplare ausgemessen, die zwar weniger Flächen aufwiesen, aber für entsprechende Flächen dieselben Winkelwerte ergaben. Die Messung geschah auf einem Zweikreis-Goniometer nach Goldschmidt. Die Kristalle wurden stets mit der b-Achse parallel zur Achse des Vertikalkreises montiert, da sich die Fläche (010) sehr gut für die Justierung eignet. In der stereographischen Projektion kommt somit der Pol (010) ins Zentrum zu liegen. Um die übliche Aufstellung (DESCLOIZEAUX, 1862) zu erhalten, muss man die Werte  $\varphi'$  und  $\rho'$  umrechnen oder in der stereographischen Projektion die Pole zweimal um  $90^\circ$  klappen.

Viele Flächen, vor allem diejenigen der Zone [010] reflektierten recht schlecht, wobei bei einigen Flächen die Signale stark verschwommen waren. Besondere Schwierigkeiten bei der Messung und bei der Indizierung bot gerade eine der morphologisch auffälligsten Flächen: die Hauptform der unverzwilligten, oft blattförmigen Kristalle, welche aber auch eine wichtige Fläche der verzwilligten, stenglig-tafligen Kristalle ist. Sie zeigte die Eigenschaften des von K. PENG (1955) Sonderfläche = S-Fläche genannten Typus von Oberflächenelementen. PENG unterschied bei seiner Untersuchung der Morphologie von Anatale-kristallen des Binnatales:

1. Normalflächen (= N-Flächen) = ebene Oberflächenelemente.
2. Sonderflächen (= S-Flächen) = ausgedehnte Oberflächengebiete, die starke Rundungen aufweisen und von verschieden geformten Akzessorien bedeckt sind.

Die S-Flächen sind von den umgebenden Flächen durch deutliche Kanten getrennt, die aber im allgemeinen einen gekrümmten oder unregelmässigen Verlauf zeigen.

3. Subflächen = Oberflächenelemente innerhalb der Sonderflächengebiete. Es sind diskrete, ebene Oberflächenpartien mit mehr oder weniger deutlichen Einzelsignalen. Eine Indizierung gelingt meist nicht; die Subflächen haben unselbständigen Charakter, sie sind als blosse Ansätze zur Kristallflächenentwicklung zu betrachten, vor allem in Gebieten stark gestörten Wachstums, zum Beispiel bei den einspringenden Winkeln an Zwillingen.

Die Sonderflächengebiete aller Titanitkristalle von Gletsch können einer Sonderflächen-, „Form“, und zwar *einem* monoklinen Prisma zuge-

ordnet werden. Die Lage der oft schwach gebogenen S-Flächen liegt in der Nähe der theoretischen Lage der Flächen der Form  $A \{317\}$ , die ja selbst als eine Vizinale zu  $\{102\}$  aufgefasst werden kann. Die S-Fläche unserer Kristalle kann also ebenfalls als Vizinalfläche zu  $\{102\}$  betrachtet werden.  $\{102\}$  selbst, mit den dafür geltenden Winkelwerten, wurde an unseren Kristallen nie als Normalform gefunden.

Wir werden im nachstehenden die Sonderfläche der Titanite von Gletsch kurz als die „S-Fläche“ bezeichnen. Es sei allerdings bemerkt, dass, im Gegensatz zu den Anatasen PENGs, die Sonderflächen der hier beschriebenen Titanite meist nur eine schwache Rundung aufweisen; die Flächenpole zeigen in ihrer Lage eine maximale Variationsbreite von ca.  $4^\circ$ .

Die Titanitkristalle von Gletsch zeigen die folgenden Flächen-Formen (Aufstellung nach DESCLOIZEAUX, 1862):

$$\begin{array}{ll}
 y = \{001\} & s = \{021\} \\
 q = \{010\} & n = \{111\} \\
 P = \{100\} & t = \{\bar{1}11\} \\
 o = \{310\} & d = \{131\} \\
 r = \{110\} & \text{S-Fläche [benachbart } \{317\}]
 \end{array}$$

Die Winkelwerte der Normalflächen stimmen mit den Angaben in den kristallographischen Winkeltabellen von V. GOLDSCHMIDT sehr gut überein. Die Sonderfläche zeigte, wie schon erwähnt, wechselnde Winkelwerte, die zudem sehr schwierig einzumessen waren, da die später zu besprechenden Subflächen die Untersuchung erschwerten. An einem

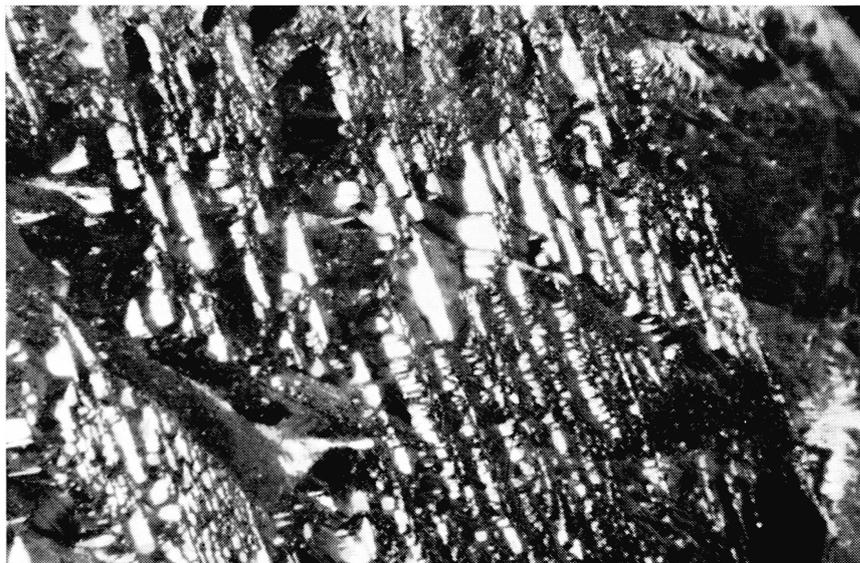


Fig. 3. Subflächen auf einer S-Fläche. Vergrößerung  $100 \times$ .

noch relativ gut zu messenden Bereich erhielten wir folgende Messwerte für einige Winkel zwischen der S-Fläche und Normalflächen:

	gemessen für die S-Fläche	Theoretischer Wert für {317}
S-Fläche $\wedge$ (100)	39° 42'	41° 30'
S-Fläche $\wedge$ (102)	5°	6° 15'
S-Fläche $\wedge$ (111)	21° 50'	21° 28'
S-Fläche $\wedge$ (001)	20° 30'	19° 25'

*Die Subflächen der Sonderfläche.* Es sollen zuerst die Verhältnisse bei *verzwillingten Kristallen* besprochen werden. Die meisten Subflächen (Bezeichnung nach PENG, siehe S. 373 dieser Arbeit) lassen sich nicht eindeutig indizieren, wie dies ja auch PENG für seine Anatase angibt. Eine Ausnahme machen die Subflächen, die recht genau die Winkelwerte für (102) und (111) zeigen. Hierbei ist zu bemerken, dass {102} als Normalflächen-Form nie gefunden wurde. Die Reflexe für (102) treten hierbei nur in der Mitte des Kristalles (in bezug auf die b-Achse) auf, und zwar nur bei einigen wenigen Kristallen. Gegen die Enden hin folgen dann Subflächen, ohne konstante Winkelwerte, als Abstumpfung gegen (010) hin. Merkwürdigerweise liegen die Subflächen, die gegen das positive und gegen das negative Ende der b-Achse zunächst folgen, nicht symmetrisch zueinander. Sie liegen jedoch recht genau untereinander in einer Zone, zu der aber (102) nicht genau gehört. Die Messungen an einer Anzahl von Kristallen ergaben für die Aufstellung mit (010) im Zentrum für die in einer Zone liegenden Subflächen Werte für  $\varphi'$  von 130—131° [(102) hätte ein  $\varphi'$  von 129° 17']. Die Subflächenzone (die sich nicht mit kleinen Zahlen indizieren lässt), ist also der Zone  $[\bar{2}01]$ , in welcher (102) liegt, sehr benachbart; der Zonenkreis ist aber in der stereographischen Projektion um 2° bis 3° gegen den Pol von (001) hin verschoben. Neben diesen Subflächen, die sich nicht indizieren lassen, tritt aber fast immer auch noch {111} auf, meist über die ganze Fläche verteilt. Fig. 3 zeigt das Aussehen einer an Subflächen reichen Sonderfläche. Fig. 4 gibt die Positionen der gemessenen Subflächen in der stereographischen Projektion in Normalaufstellung.

*Bei den unverzwillingten Kristallen* (meist gestreckt-dünntafelig) ist die S-Fläche viel grösser ausgebildet als bei den verzwillingten. Sie bestimmt die Tracht. In ihrer Beschaffenheit ist sie viel rauher; man sieht die akzessorischen Flächenelemente schon von blossem Auge. Die unzähligen Subflächen-Elemente sind wiederum meist nicht indizierbar, liegen aber zum Teil auch wieder auf einer Zone, die für die Aufstellung

mit (010) im Pol ein  $\varphi'$  von  $131\frac{1}{2}^\circ$  besitzt. (102) fehlt als Subfläche vollkommen; (111) tritt aber wie bei den verzwilligten Individuen häufig als Subfläche auf. Auf der S-Fläche sind ferner als Parallelverwachsungen noch kleine Individuen aufgewachsen, die ebenfalls dieselbe S-Fläche besitzen, daneben aber auch (001), (100) und (111) als Normalflächen zeigen.

Schliesslich sei noch mitgeteilt, dass Subflächen seltener auch auf der „Normalfläche“ (001) vorkommen. Wir erhielten für eine solche Subfläche  $\varphi = 90^\circ$  und  $\rho = 3^\circ 17'$  und für eine andere  $\varphi = 90^\circ$  und  $\rho = 4^\circ 01'$  (alle Werte für die Normalaufstellung).

*Zwillingsbildung.* Der grössere Teil der nicht aufgewachsenen Kristalle ist verzwilligt, und zwar handelt es sich durchwegs um Zwillinge nach

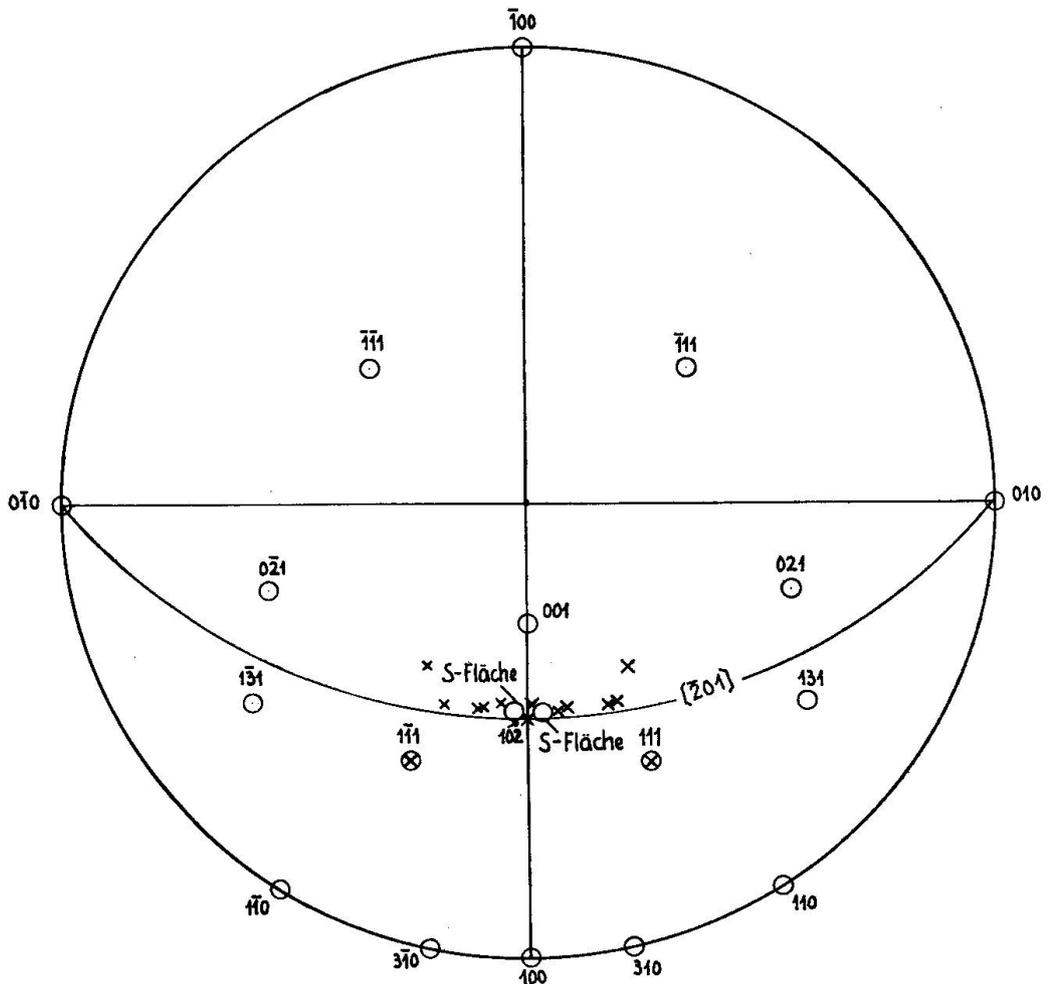


Fig. 4. Stereographische Projektion mit Eintragung der Lage goniometrisch vermessener Subflächen. Normalaufstellung. Kreise = Normalflächen und ungefähre Position der S-Flächen. Kreuze = Subflächen auf S-Flächen. Obere Halbkugel.

(100), die meist als Durchkreuzungszwillinge ausgebildet sind. Manchmal liegen aber nur einfache Kontaktzwillinge vor, wobei ein Schnitt  $\parallel$  (010) eine Y-Form zeigt (und nicht eine X-Form). Die Verwachsungsfläche wurde nicht genauer untersucht, da hierzu zahlreiche Kristalle durchsägt hätten werden müssen. Die Berührungskante der beiden Individuen am einspringenden Winkel liegt meist für beide Individuen an der S-Fläche.

Die Zwillinge lassen sich in zwei Gruppen einteilen.

In der *Gruppe A* sind beide Individuen des Zwillings in Richtung der b-Achse asymmetrisch ausgebildet, und zwar so, dass von den 4 Flächen der normalen, idealen Ausbildung der S-Flächenform an einem Individuum jeweils nur zwei (und zwar zwei parallele) vorhanden sind. Die Berührungskante des Zwillings verläuft dann ungewinkelt (oder nur schwach gebogen, mit konstantem Neigungssinn zur b-Achse) schräg zur Richtung [010] durch den ganzen Zwilling hindurch (siehe Fig. 6).

In der *Gruppe B* ist jeweils ein Individuum in normaler Weise symmetrisch in bezug auf die b-Achse ausgebildet; es sind an diesem

Fig. 5. Typus der unverzwilligten Titanite mit vorherrschenden S-Flächen. Projiziert auf die Ebene, in welcher [010] und die Zonenachse der S-Flächen liegt. Die S-Flächen zeigen eine Rundung; die Kante zwischen zwei S-Flächen ist daher nicht vorhanden.

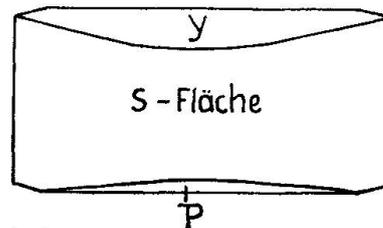


Fig. 6. Typus der Gruppe A der verzwilligten Titanite. Beide Individuen sind in Richtung der b-Achse asymmetrisch ausgebildet.

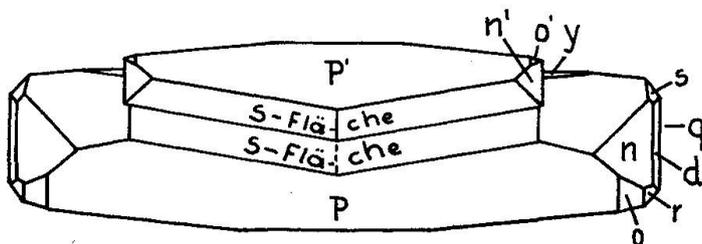
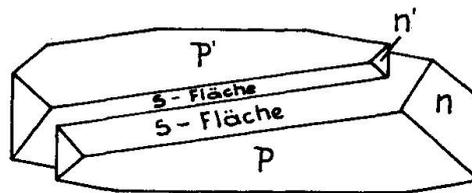


Fig. 7. Beispiel für Gruppe B der verzwilligten Titanite. Die beiden Individuen des Zwillings sind ungleich gross. Die gestrichelte Kante trennt die S-Flächen der parallelverwachsenen „Subindividuen“ des grösseren Individuums des Zwillings.

Individuum die Flächen des monoklinen Prismas der Sonderflächenform (S-Fläche) in normaler Zahl und Stellung ausgebildet, wobei allerdings manchmal keine scharfe Kante die gegen das positive Ende der b-Achse geneigte S-Fläche von der gegen das negative Ende der b-Achse geneigte S-Fläche trennt. Die Kanten der S-Fläche gegen die Normalflächen der Zone [010] sind dann schwach gebogen. Das andere Individuum des Zwillinges kann 8 S-Flächen (statt 4) zeigen und ist dann äusserlich morphologisch betrachtet eine Parallelverwachsung zweier Subindividuen: Es entsteht so in diesem Individuum ein einspringender Winkel zwischen zwei S-Flächen, obwohl es sich hinsichtlich des Kristallgitters um *einen* Einkristall handelt (Fig. 7). Oft sind die den beiden Enden der b-Achse benachbarten S-Flächen kleiner als die mittleren ausgebildet; sie können auch ganz fehlen. Die Subindividuen werden dann asymmetrisch. — Der einspringende Winkel am zweiten Individuum des Zwillinges wird offenbar von der Zwillingbildung erzwungen.

Fig. 7 stellt einen Zwilling dar, bei welchem das eine Individuum wesentlich kleiner ist als das andere; das grössere Individuum besitzt 8 S-Flächen. Fig. 2 zeigt einen Zwilling, welcher zwei ungefähr gleich grosse Individuen führt.

### Statistische Untersuchung von Tracht und Habitus

Schon eine cursorische Betrachtung zeigt, dass die unverzwilligten Titanitkristalle sich in Habitus und Tracht von den verzwilligten zwar nur wenig, aber doch deutlich unterscheiden (siehe auch Fig. 1, 2, 5, 6, 7). Für die nachstehend mitgeteilten statistischen Untersuchungen wurden daher von vornherein zwei Gruppen (unverzwilligte und verzwilligte Kristalle) gebildet, die getrennt bearbeitet und dargestellt wurden. Von den 715 nicht aufsitzenden, freigewachsenen Kristallen waren 22% unverzwilligt und 78% verzwilligt. In den zu Gruppen aggregierten, nicht aufsitzenden Kristallen war das Verhältnis anders: 35% der Kristalle waren unverzwilligt.

Die *unverzwilligten Kristalle* sind meist ausgesprochen flachstengelig bis blättrig mit dem flachen Prisma der S-Flächenform als Hauptform (siehe Fig. 1 und 5). Sie gleichen den Titanitkristallen, die RANFALDI (1913) von Val Giuf beschrieb. Im Gegensatz zu den verzwilligten Kristallen sind die unverzwilligten weniger stark von Chlorit durchsetzt. Die grössten Kristalle sind bis zu 5 cm lang und 4 cm breit.

Die *verzwilligten*, flach- bis dickstengeligen, meist stark von Chlorit

durchsetzten Kristalle sind Durchkreuzungszwillinge nach (100), sie erreichen eine maximale Länge von 9 cm (Fig. 2, 6, 7). Die morphologischen Besonderheiten der Zwillingsbildung sind schon S. 377 beschrieben worden. In Quarz ein- und aufgewachsene Kristalle sind meist von Chlorit frei und haben fast ausnahmslos die Fläche (010), die bei den chloritreichen und freigewachsenen Kristallen fehlt. Die vier wichtigsten Formen sind die Pinakoide  $P\{100\}$  und  $y\{001\}$  sowie die Prismen der S-Fläche und  $n\{111\}$ .

Die Enden der b-Achsen sind bei den stark von Chlorit durchsetzten Kristallen meist unregelmässig und zerfranst ausgebildet.

Die statistische Untersuchung der Häufigkeit und Grösse der einzelnen Flächenformen geschah ohne reflexionsgoniometrische Untersuchung jedes einzelnen Kristalls. Da nur wenig Formen auftreten (siehe S. 374), war die Bestimmung der Flächen leicht möglich durch Vergleich mit den wenigen reflexionsgoniometrisch untersuchten Kristallen, wobei bei grösseren Kristallen auch das Anlegegoniometer zu Hilfe genommen werden konnte.

In Nachfolge von V. GOLDSCHMIDT (1919—1924) wurden die „Häufigkeit“ und die „Grösse“ der Formen wie folgt definiert und berechnet.

$$\text{Häufigkeit } H = 100 \frac{h}{n}.$$

$h$  = Zahl der Kristalle, an denen eine bestimmte Fläche auftritt  
 $n$  = Zahl der untersuchten Kristalle

$$\text{Statistische, relative Grösse } G = g \frac{100}{3n}.$$

$n$  = Zahl der untersuchten Kristalle  
 $g = 3i + 2k + l$   
 $i$  = Zahl der Formen der Grösse 3 (herrschend)  
 $k$  = Zahl der Formen der Grösse 2 (mittelgross)  
 $l$  = Zahl der Formen der Grösse 1 (klein)

Es wurden 300 verzwilligte und 50 unverzwilligte Kristalle für die Flächen-Statistik verwendet.

Die relative Grössenzahl der einzelnen Formen wurde sodann noch graphisch, und zwar in der idealisierten Dreiecksprojektion (für die Lage der Flächenpole) nach P. NIGGLI (1924, S. 129) dargestellt (Fig. 9 und 10).

*Formenstatistik der unverzwilligten Kristalle*

Form	Indizes	Häufigkeit H	Grösse G
S-Fläche	nahe (317)	100 %	100
y	(001)	100	56.3
P	(100)	100	36.0
t	( $\bar{1}11$ )	32	12.0
q	(010)	30	10.7
n	(111)	24	9.3
s	(021)	12	4.0
d	(131)	12	4.0
o	(310)	8	3.3
r	(110)	0.0	0.0

*i-, k-, l-Werte der Grössenstatistik der unverzwilligten Kristalle  
(Gesamtzahl der untersuchten Kristalle = 50)*

Form	i (Grösse 3)	k (Grösse 2)	l (Grösse 1)
S-Fläche	50	—	—
y	—	29	21
P	1	2	47
t	—	2	14
q	—	1	14
n	—	2	10
s	—	—	6
d	—	—	6
o	—	1	3
r	—	—	—

*Formenstatistik der verzwilligten Kristalle*

Form	Indizes	Häufigkeit H	Grösse G
P	(100)	100 %	96.7
S-Fläche	nahe (317)	100	64.6
y	(001)	100	59.2
n	(111)	93.0	52.9
o	(310)	19.7	9.6
t	( $\bar{1}11$ )	12.7	5.3
r	(110)	2.7	0.9
q	(010)	2.3	1.2
d	(131)	2.3	0.8
s	(021)	1.0	0.3

Für die *Grössenstatistik* der verzwilligten Kristalle seien noch die i-, k- und l-Werte gesondert in nachstehender Tabelle mitgeteilt (n = 300).

Form	i (Grösse 3)	k (Grösse 2)	l (Grösse 1)
P	272	26	2
S-Fläche	52	178	70
y	5	222	73
n	7	183	89
o	2	23	34
t	—	10	28
r	—	—	8
q	—	4	3
d	—	—	7
s	—	—	3

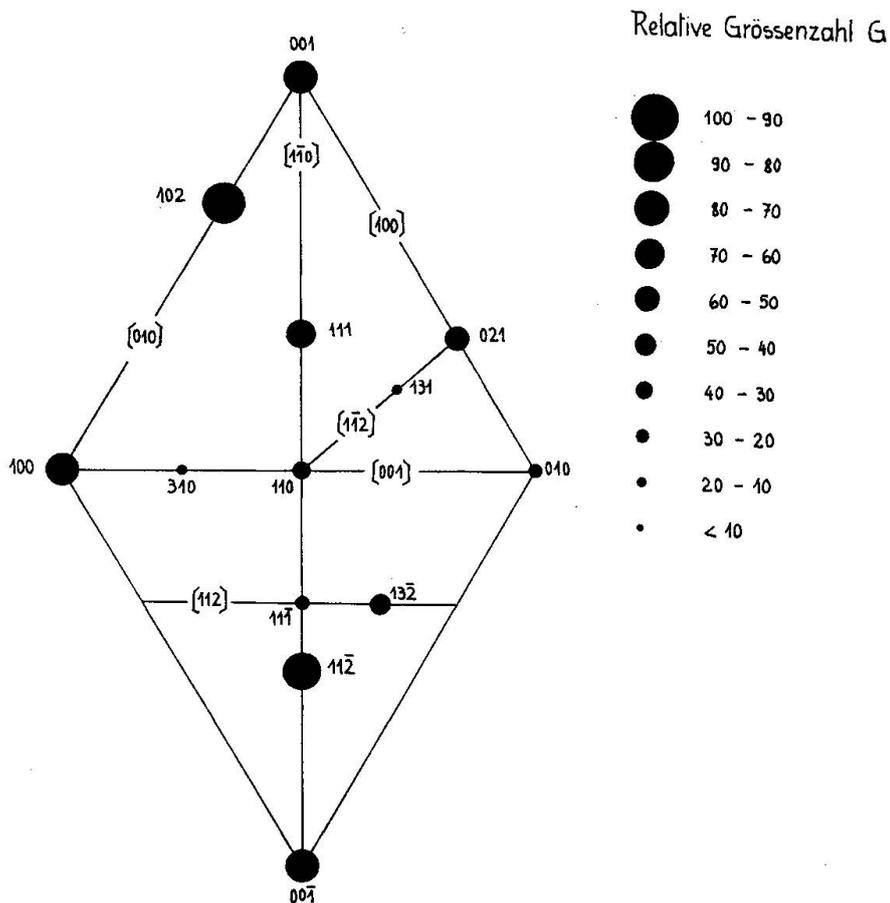


Fig. 8. Dreiecksprojektion der Lage der Flächenpole im gleichseitigen Dreieck (nach P. Niggli) der 13 häufigsten Formen der Gesamtheit schweizerischer Titanite, nach der Tabelle in PARKER (1934, p. 479), mit Angabe der relativen statistischen Grösse der einzelnen Formen.

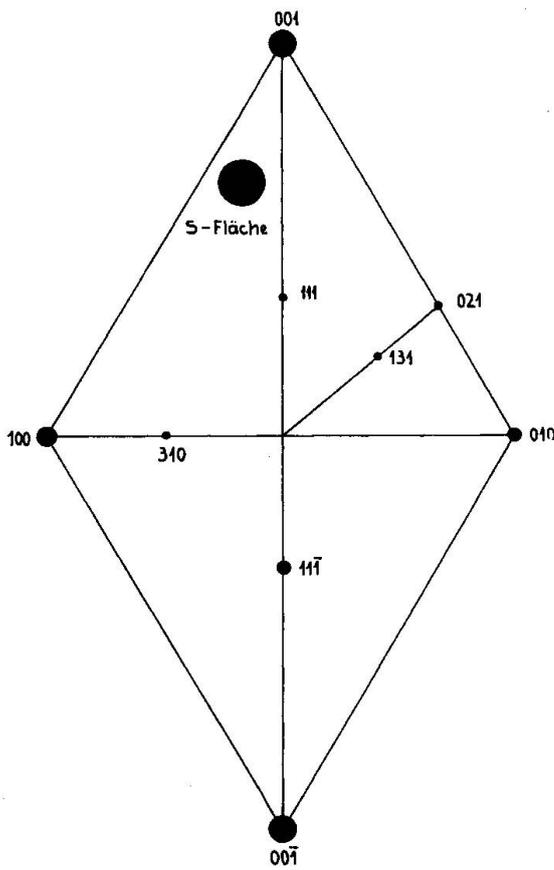


Fig. 9. Darstellung (wie in Fig. 8) der Formen der unverzwilligten Titanite von Gletsch. Die Grösse der Punkte gibt die relative statistische Grösse der Formen wie in Fig. 8 an.

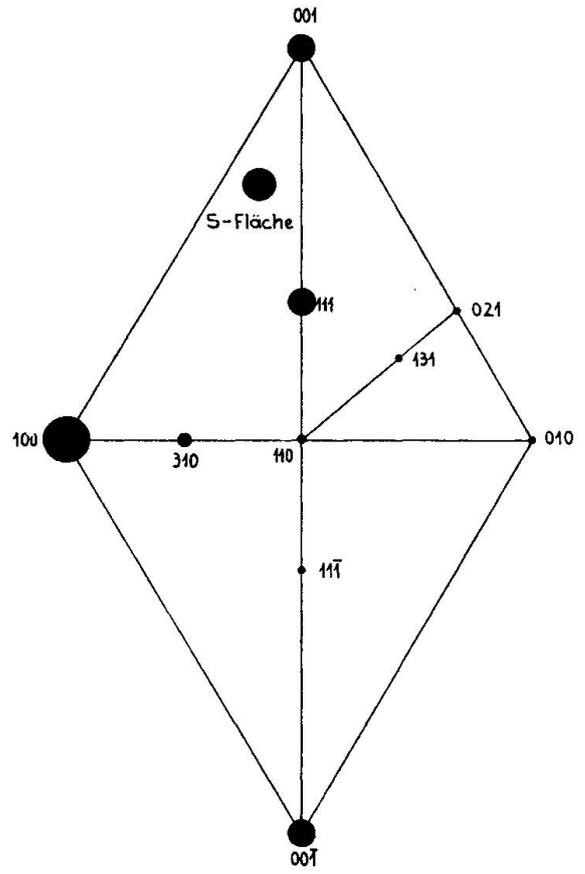


Fig. 10. Darstellung (wie in Fig. 8) der Formen der verzwilligten Titanite von Gletsch. Die Grösse der Punkte gibt die relative, statistische Grösse der Formen wie in Fig. 8 an.

#### Diskussion der Resultate

Die Tracht der *unverzwilligten Kristalle* wird durch die immer vorhandenen Formen: S-Fläche,  $y$  und P bestimmt. Mit weit geringerer Häufigkeit folgen  $t$ ,  $q$  und  $n$ . Grössenmässig beherrscht den Habitus die Form der S-Flächen, die immer die grössten Flächen zeigt. An zweiter Stelle folgt  $y \{001\}$ .

Die Tracht der *verzwilligten Kristalle* wird ebenfalls durch die Formen: S-Fläche,  $y$  und P bestimmt. Grössenmässig steht nun aber P  $\{100\}$  an erster Stelle, gefolgt von den drei Formen S-Flächen,  $y \{001\}$  und  $n \{111\}$  mit etwa gleichen Grössen. Es muss allerdings bemerkt werden, dass das grössenmässige Zurücktreten der S-Flächen bei den verzwilligten Kristallen zum Teil durch die Art der Verwachsung der beiden Individuen verursacht wird, da das zweite Individuum einen Teil der

S-Flächen des anderen Individuums abschneidet. Es bestehen aber für die anderen Formen doch signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen, die die Gruppeneinteilung rechtfertigen.

Das Vorherrschen von Flächen der Zone [010] und der nahe der Zone [010] liegenden flachprismatischen S-Flächen führen zum nach der b-Achse gestreckten Habitus sowohl der verzwilligten wie der unverzwilligten Kristalle. Wegen des Vorherrschens der S-Flächen sind aber letztere ausgeprägt dünntafelig.

R. L. PARKER (1934) hat eine wichtige und aufschlussreiche Studie über die morphologischen Typen der schweizerischen Titanite veröffentlicht. Die unverzwilligten Titanite von Gletsch müssen zu seinem Typ 4b gerechnet werden, der als „Kernkombination“ gross entwickelte Vizinalen zu  $a\{102\}$  besitzt, was nach PARKER zu flachprismatischen Kristallen führt. Unsere Form der S-Flächen, die nahe der Position von  $\{317\}$  liegt, darf ja als Vizinale zu  $\{102\}$  aufgefasst werden.

Für die unverzwilligten Kristalle kann ein neuer Typ 4c aufgestellt werden mit der Kernkombination: P mit y, n und Vizinalen zu a. Er zeigt eine Ähnlichkeit mit dem Typus 2a von PARKER; beide Typen sind meist langgestreckt nach der b-Achse. Fig. 8 gibt zum Vergleich die Grössenstatistik der 13 häufigsten Formen der Gesamtheit der schweizerischen Titanite (nach R. L. PARKER, 1934, S. 479) in Dreiecksprojektion für die Lage der Flächenpole; man vergleiche sie mit den Fig. 9 und 10, die die Verhältnisse bei den Titaniten von Gletsch darstellen.

Das Vorkommen von zwei Habitus-Tracht-Typen des gleichen Minerals in der gleichen Kluft muss auf zeitliche und/oder örtliche Verschiedenheit der Milieubedingungen (Druck, Temperatur, Konzentration und Zusammensetzung der Lösungen, Geschwindigkeit der Abkühlung) zurückgeführt werden. Gestützt wird diese Auffassung durch folgende Tatsachen:

1. Die Kluftzone g (siehe S. 369) hat vorwiegend blättchenförmige Titanite, ferner ist der Chlorit hier heller grün als in der Zone der Kluft.
2. Der blättrig-unverzwilligte Typus herrscht ferner besonders bei den kleinen Kristallen vor.
3. Unverzwilligte, dicktafelige Kristalle sind meist in Gruppen aggregiert.
4. Die unverzwilligten Kristalle sind viel weniger stark von Chlorit erfüllt als die verzwilligten, nicht aufsitzenden Kristalle.
5. In Quarz aufgewachsene, meist verzwilligte Kristalle sind fast immer frei von Chlorit.

**Literaturverzeichnis**

- DESCLOIZEAUX, A. (1862): Manuel de minéralogie.
- FEHR, W. (1926): Geologische Karte der Urserenzone. Spezialkarte 110. Beitr. Geol. Karte Schweiz.
- GOLDSCHMIDT, V. (1919—1924): Über Grösse und Häufigkeit der Flächenarten. Beitr. Krist. 2, S. 98.
- HÜGI, TH., NIGGLI, E., NOWACKI, W. und STALDER, H. A. (1962): Bericht über die Exkursion der Schweiz. Min. Petr. Ges. über den Grimselpass und ins Binnatal. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 42, S. 15—23.
- NIGGLI, P. (1924): Lehrbuch der Mineralogie. 2. Auflage, 1. Bd., Borntraeger, Berlin.
- OBERFÖLL, L. (1930): Über Titanit. N. Jb. Min. etc. Abh. 62. B.B. Abt. A. S. 331.
- PARKER, R. L. (1934): Morphologische Typen am schweizerischen Titanit. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 14, S. 478.
- PENG, K. (1955): Lokalmorphologische Untersuchungen am Anatas von Balmen (Binnatal). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 35, S. 422.
- RANFALDI, F. (1913): Sulla Titanite di Val Giuf. Att. Acc. dei Lincei 9, S. 438.

Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Bern und Naturhistorisches Museum Bern.

Manuskript eingegangen am 17. Dezember 1962.