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

Band: 44 (1964)

Heft: 2

Artikel: Gefügestudien an Clacitmarmor aus Val Prato (Tessin)

Autor: Trommsdorff, Volkmar

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-34351

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

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

Gefügestudien an Calcitmarmor aus Val Prato (Tessin)

Von *Volkmar Trommsdorff* (Basel)[1])

Mit 5 Textfiguren

Summary

In a layer of very pure calcite marble in deep seated schists from the Lepontine Alps the preferred orientation of calcite has been analysed. All the grains show one or more systems of e-lamellae. At the grain boundaries, the e-lamellae of one grain are frequently joined directly to those of the next. The methods of petrofabric analysis have also been applied to investigate the relationship between neighbouring grains and the patterns of the grain interfaces. In two of three distribution analyses the visible e-lamellae of the grains have been considered. The analysed orientation pattern has been compared with experimentally produced patterns of calcite. Our fabric differs in the state of recrystallization from those produced experimentally under similar pt-conditions. From the results of petrofabric analysis it is concluded, that our example shows only deformation parallel to the e-plaines of the grains, as an significant intragranular mechanism. Neither r- nor f-translations have been found to be of importance.

Einleitung

Fragestellungen, die sich aus der Untersuchung von Tessiner Calcitgefügen ergaben, und Gegensätzlichkeiten der Auffassungen über den Regelungsmechanismus von Calcit, die besonders seit den Untersuchungen an experimentell verformten Marmoren bestehen, führten zu der vorliegenden Studie, die den Anfang einer weitergehenden Bearbeitung darstellen soll.

Noch vor Verwendung des U-Tisches in der Gefügekunde machte BECKE (1924) beim Studium bereits von SCHMIDT (1917) untersuchter Gefüge die Beobachtung, dass Gleitzwillingslamellen $\{01\bar{1}2\}$ von Calcit vorzugsweise der Schieferung folgen[2]). Subtile Studien an Calcitgefügen

[1]) Mineralogisch-petrographisches Institut, Bernoullianum, Basel.

[2]) Zwillingslamellen nach $\{01\bar{1}2\}$-Calcit wurden bereits 1898 von MÜGGE mechanisch erzeugt und beschrieben.

durch SANDER und SCHMIDEGG (1926), FELKEL (1929), SANDER (1930), führten in der Folge zu einer eindeutigen Kennzeichnung verschiedener Calcitgefügetypen[3]). Diese wurden besonders durch TURNER (1949, S. 612ff.; 1953 und andernorts) und andere amerikanische Autoren neu interpretiert. Verschiedene behauptete (ROBERTSON, 1951) oder vorsichtig postulierte (zum Beispiel TURNER, 1949, S. 614; FAIRBAIRN, 1949, S. 137) Vorstellungen von Gleitmechanismen wichen schliesslich einer durch das Experiment beeinflussten, von TURNER formulierten Auffassung, die gegenüber der SANDERschen „more generalized" ist und „lacks the sharp detail of classic hypothesis" (TURNER, 1963, S. 410). Zunächst auf dem Vergleich von Diagrammen einzelner kristallographischer Richtungen aufgebaute Vorstellungen, zusammen mit den aus Experimenten gewonnenen Erkenntnissen führten TURNER zu seiner neuen Regelungshypothese, in der Zwillingsschiebung in $\{01\bar{1}2\}$ = e sowie Translation auf $\{10\bar{1}1\}$ = r und $\{02\bar{2}1\}$ = f als wichtige intragranulare Gleitungen berücksichtigt werden (vgl. TURNER, 1963, S. 343ff.). Diese neue Hypothese ist aber, was die Korngefüge von Calcit anbelangt, mit statistisch unzureichenden Diagrammen vorläufig nicht befriedigend belegt.

Die experimentelle Verformung von Calcitgefügen (z. B. KNOPF, 1949; HANDIN und GRIGGS, 1951; TURNER und CH'IH, 1951) führten zunächst zu der Ansicht, dass auch Translation nach $\{01\bar{1}2\}$ zusammen mit Zwillingsschiebung in derselben Ebene als wichtige Korndeformation auftrete. In einer späteren Arbeit, in der Calciteinkristalle experimentell verformt wurden, revidierten TURNER, GRIGGS und HEARD (1954) diese Ansicht; neben Zwillingsschiebung in e wurden die bereits erwähnten Translationsmechanismen nach r und nach f beobachtet. Zwillingsschiebung auf $\{01\bar{1}2\}$ von Calcit ist kristallgeometrisch durch PABST (1955) diskutiert.

In der vorliegenden Studie kommt das übliche Verfahren der Calcitgefügeanalyse zur Anwendung, wobei durch Einmessung von $[n_\alpha]$ sowie der sichtbaren e-Lamellen auch die Drehlage um [0001] der einzelnen Körner bestimmt wurde. Daneben wurden Sammeldiagramme verschiedener Arten von Ebenenpolen und von Kanten angefertigt und untereinander verglichen.

Ein quantitativer Vergleich dieser Diagramme untereinander ist natürlich nicht ohne weiteres möglich, da die jeweils kristallographisch

[3]) FELKEL, 1929, S. 79: „Ob Flächen anderer kristallographischer Lage als e, ohne sichtbare Lamellen an der Translation wirksamen Anteil nehmen, kann auf Grund der Diagramme wenigstens für einen Teil der Fälle mit Sicherheit ausgeschlossen werden."

gleichwertigen Richtungen (Ebenenpole oder Kanten) untereinander Winkel bilden, die ungleich den entsprechenden Winkeln anderer gleichwertiger Richtungen sind. Somit liegen auch die mittelbaren Häufungen verschiedener kristallographischer Richtungen auf der Lagenkugel verschieden weit auseinander.

Aus den Diagrammen, den Verteilungsanalysen und aus dem Studium sichtbarer e-Lamellen und der Intergranulare ergaben sich eine Reihe von Argumenten, die eindeutig zu dem Schluss führen, dass die untersuchte Gefügeregelung durch intragranulare Teilbewegungen parallel Ebenen $\{01\bar{1}2\}$ = e der Calcite entstand, wobei hier zunächst keine Aussage über die Art der Teilbewegung in e, — Zwillingsschiebung oder Translation, oder beides[4]) gemacht sein soll.

Gefügeuntersuchungen

Im Val Prato, einem östlichen Seitental der oberen Maggia, stehen unterhalb der Monti di San Carlo am nördlichen Bachufer Biotitschiefer an, die mit zentimeterdicken Calcitmarmorbändern wechsellagern und die zur sogenannten Pertusio-Zone gehören (Koord. 696.05/138.55, vgl. BUCHMANN, 1953). Die Marmorbänder zeichnen sich durch grosse Reinheit aus, und vorläufige Messungen zeigten, dass sie sehr gut geregelt sind. Gefügekoordinaten ergeben sich makroskopisch durch ein deutliches s, das eine gut ausgeprägte Lineation b = B zeigt. (Die B-Achsen in diesem Gebiet streichen etwa N10W und fallen ca. 10—20° S; vgl. auch WENK, 1955). Späte Inhomogenitäten, wie Rupturen und Fugen, fehlen im untersuchten Handstück. Im Dünnschliffbild ist besonders in den Schnitten $\perp$s das auffälligste Merkmal der Calcite ihr Reichtum an feinen, nicht mehr als Zwillinge zu identifizierenden Lamellen //e, welche bevorzugt parallel oder spitzwinklig zu s verlaufen. Alle Merkmale liessen das Gestein für eine Gefügeanalyse mit genauerer Untersuchung der e-Lamellen geeignet erscheinen.

Die Gefügeuntersuchungen wurden an einem Schnitt (ab) und an einem Schnitt (hk0) durchgeführt. Der Schnitt $\perp$s wurde mit Absicht nach (hk0) und nicht nach (ac) des Gefüges gewählt, um eine Überbetonung des (ac)-Gürtels der e-Lamellenpole durch Schnitteffekt zu verringern. In jedem Korn waren durchschnittlich zwei e messbar: von

---

[4]) Rein theoretisch wäre noch als weitere Möglichkeit Translation nur in solchen e-Flächen, die als Zwillingsebenen funktionieren, denkbar.

533 gemessenen Körnern im Schnitt (hk0) zeigten 119 ein System, 403 zwei Systeme und 11 Körner drei Systeme sichtbarer e-Lamellen.

Sämtliche gemessenen c-Achsen und e-Lamellen der Gefügeschnitte (hk0) und (ab) sind in D 1 bis D 4 dargestellt. Die Diagramme der c-Achsen sind durch Rotation um 90° direkt ineinander überführbar. D 4 ist ein in die Lage des (hk0)-Schnittes rotiertes, im Schnitt (ab) gemessenes Diagramm der e-Lamellen, welches deutlich zeigt, dass nahezu alle sichtbaren e bereits bei der Messung im Schnitte (hk0) erfasst wurden, da in einem Kegel von 40° Öffnung um die Normale der Diagramme D 2 und D 4 fast keine Pole sichtbarer e-Lamellen liegen. Das Streichen bis 70° zur Schliffebene geneigter e lässt sich unter dem U-Tisch noch messen, ihr Fallen ist dann mit hinreichender Genauigkeit konstruierbar, wenn in demselben Korn noch ein zweites System von e-Lamellen gut messbar ist. Nach der Interpretation der SANDER-Schule (SANDER, 1926, 1930, 1959 und andernorts; FELKEL, 1929) bedeuten die Diagramme: In der Mehrzahl der Körner läuft ein System von e-Lamellen parallel s, ein Zustand, der durch intragranulare Gleitung parallel e und Zwillingsschiebung in e (vgl. SANDER, 1930, S. 202) sowie mit diesen Gleitungen verbundener Internrotation der Gleitebenen $\{01\bar{1}2\}$ erreicht wurde. Die c-Achsen der Calcite liegen auf einem Kleinkreis mit Radius 26° um das Maximum der e-Lamellenpole, mit einer Häufung in der Schnittgeraden dieses Kleinkreises mit (ac), woraus resultiert, dass die kurze Diagonale in e, die als Gleitgerade bei der Zwillingsschiebung fungiert, in der Gefügegleitrichtung a liegen muss. Den Zusammenhang zwischen den Häufungen von c und e zeigt das Diagramm D 5. Für die zwei Hauptmaxima der e-Lamellen sind die zugehörigen c-Achsen mit unterschiedlichen Signaturen dargestellt.

Diagramm D 1: 533 [0001]-Achsen von Calcit, Gefügeschnitt (hk0) 7-6-5-4-3-2-1-0; 0%. Eingetragen Horizont (Hor) mit Himmelsrichtungen Ost und Süd (untere Halbkugel!!).

Diagramm D 2: 958 Pole von sichtbaren e-Lamellensystemen. Gefügeschnitt wie D 1. (5-4)-3-2-1, 5-1; <1%.

Diagramm D 3: 130 [0001]-Achsen von Calcit, Gefügeschnitt (ab). Kleinkreis: r = 26°; (12-11)-8,5-6,5-3-0; 0%.

Diagramm D 4: 204 Pole von sichtbaren e-Lamellensystemen, gemessen im Schnitt (ab), rotiert in die Lage von D 1 und D 2. Kleinkreise mit r = 20°: der Einmessung von e nicht zugängliche Bereiche in D 2 (zentral) und in D 4 (randlich). Vgl. Text. (6-5)-4-3-2-0; 0%.

Diagramm D 5: 2 Hauptmaxima von D 2 mit den zugehörigen c-Achsen von Körnern, die mit einem e an diesen Maxima beteiligt sind. Kleinkreise mit Radius 26° um die Zentren der e-Maxima.

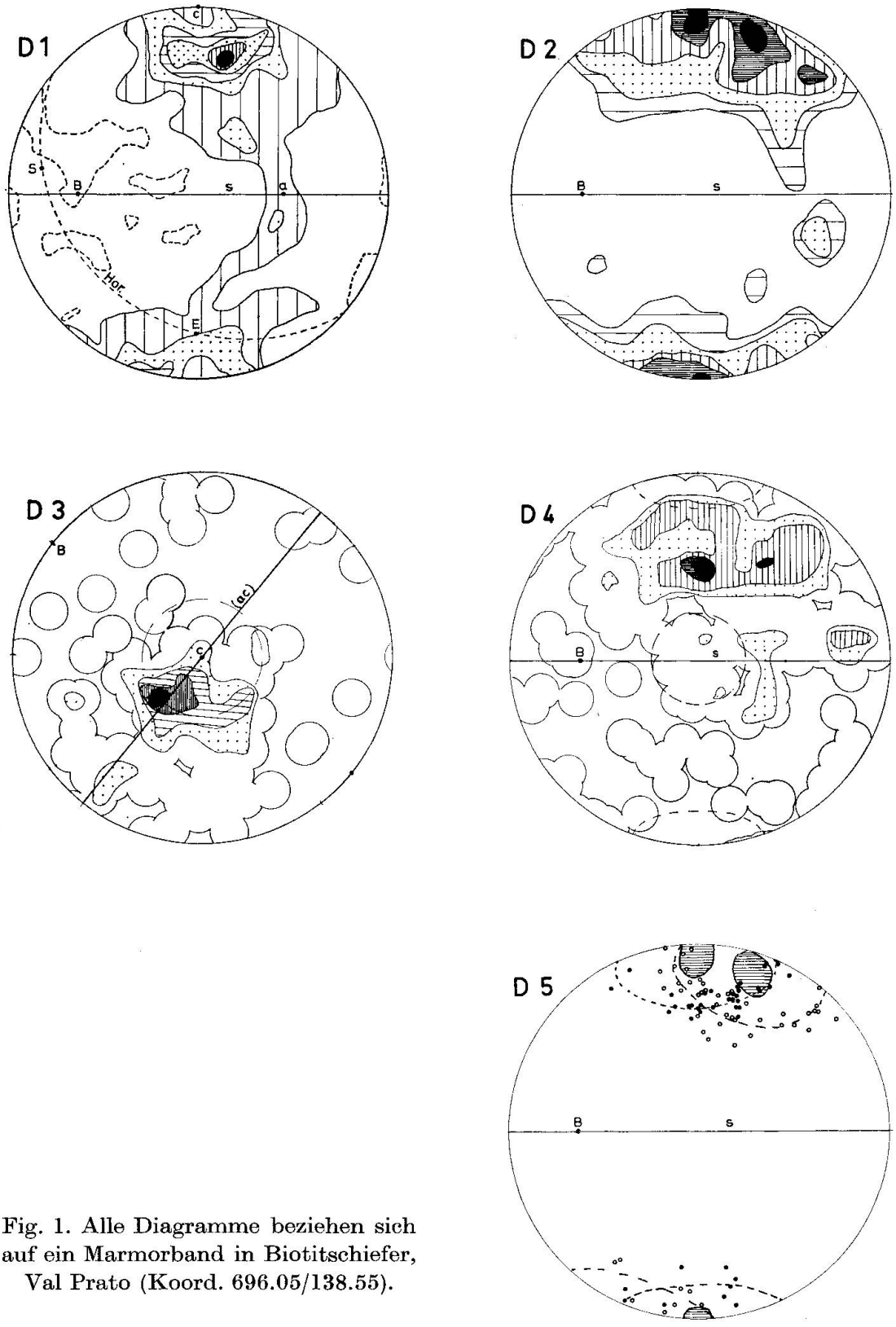
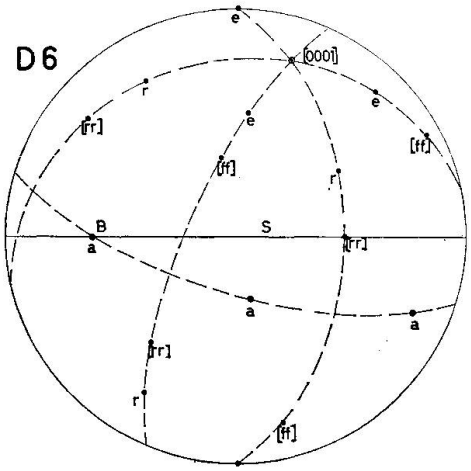
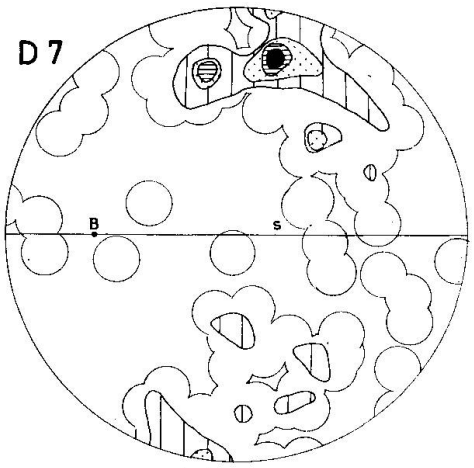
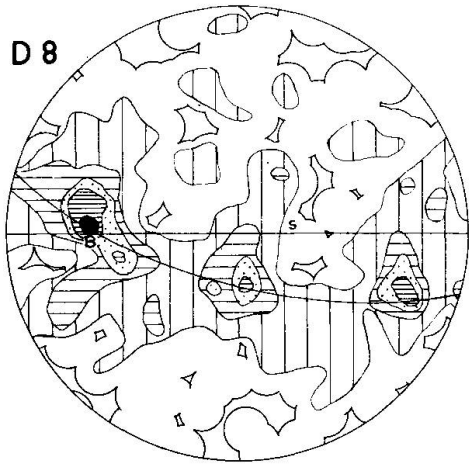
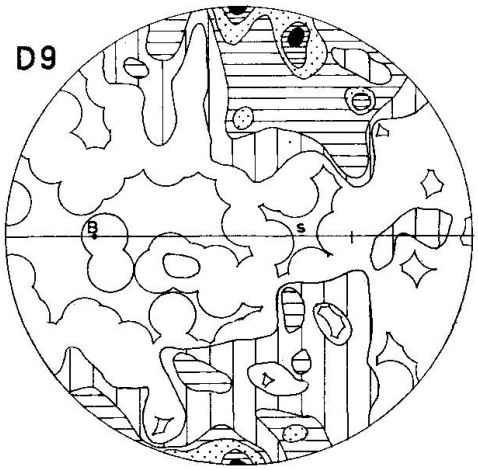


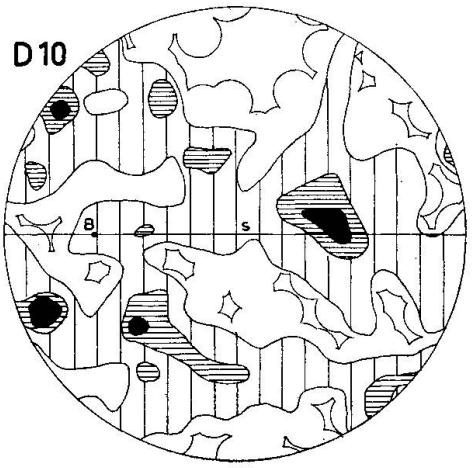
Fig. 1. Alle Diagramme beziehen sich auf ein Marmorband in Biotitschiefer, Val Prato (Koord. 696.05/138.55).

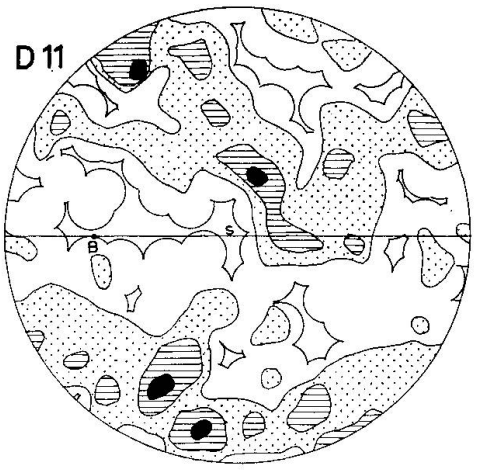

D 6
e
[0001]
r
e
e
[r]
[r]
[r]
B
a
S
[r]
a
a
[r]
r
[r]


D 7
B
s


D 8
s
B


D 9
B
s


D 10
B
s


D 11
s
B

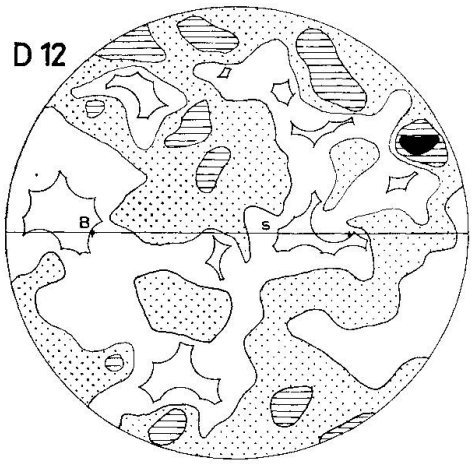


Fig. 2.

Diagramm D 6: Beispiel eines Calcites, der ein e in s eingeregelt hat sowie die kurze Diagonale in e = [rr] in a des Gefüges. e = $\{01\bar{1}2\}$; r = $\{10\bar{1}1\}$; f = $\{02\bar{2}1\}$. [ff] und [rr] = Schnittkanten von je zwei dieser Flächen (siehe auch Text).
Diagramm D 7: 100 [0001] von den Körnern Nr. 1—100 aus Diagramm D 1; ohne Auslese.
Diagramm D 8: ebenso 300 a-Achsen. 5-4-3-2-1-0; 0%.
Diagramm D 9: ebenso 300 Pole von e-Lamellen. 5-4-3-2-1-0; 0%.
Diagramm D 10: ebenso 300 Kanten [rr]. 3-2-1-0; 0%.
Diagramm D 11: ebenso 300 Pole von r. 3-2-1-0, 0%.
Diagramm D 12: ebenso 300 Kanten [ff]. 3-2-1-0; 0%.

Um eine genaue Übersicht der Calcitregel im vorliegenden Beispiel zu erhalten, wurden von den ersten 100 eingemessenen Körnern, ohne Auslese die Diagramme D 7 bis D 12 angefertigt. Ein quantitativer Vergleich der Häufungen dieser Diagramme ist aus den oben bereits diskutierten Gründen mangels einer mathematischen Lösung nicht auf exakte Weise möglich; es kann aber aus den auftretenden Häufungen in diesem Beispiel eine mittlere Vorzugsdrehlage der Calcite abgelesen werden.

Folgende Punkte sind beachtenswert:

1. Weder r $\{10\bar{1}1\}$ noch die nach TURNER, GRIGGS u. a. als Gleitgerade in r funktionierende kurze Diagonale f : f (f = $\{02\bar{2}1\}$) zeigen Häufungen, die mit einer Regelung des Gefüges unter Beteiligung von Translation nach r parallel f : f vereinbar sind[5]) (Diagramme D 11, D 12).

2. Die a-Achsen der Calcite sind deutlich mittelbar eingeregelt und zeigen drei Maxima im Abstand 60° auf einem Gürtel, der parallel (h0l)

[5]) Es gibt auch m. W. bisher keinen gutuntersuchten Fall eines natürlichen Calcitgefüges, in dem die im Experiment an Einkristallen beobachtete Translation nach r in statistisch wirksamem Masse belegt ist. Eine Verallgemeinerung der r-Translation als "extensive gliding" (TURNER 1963, S. 344) erscheint demnach für natürliche Calcittektonite zunächst ungerechtfertigt.

des Gefüges 26° schief zu s verläuft. Das markanteste der drei Maxima liegt in B des Gefüges. Zwischen den Maxima der a-Achsen liegen deutliche Minima.

3. Die Kanten r : r Calcit haben ihr Hauptmaximum in a des Gefüges. An dieser Häufung sind aber weniger r : r beteiligt als a-Achsen an dem Maximum in B des Gefüges. Dies bedeutet, dass auch bei e-Flächen in (h0l)-Lage eine a-Achse in diesem e (a liegt in e senkrecht zur Kante r : r) in B des Gefüges mittelbar eingeregelt ist, r : r in diesem e unmittelbar in der Schnittgeraden (h0l) : (ac) des Gefüges liegt. Dieses Kriterium tauchte auch noch bei den zu besprechenden Verteilungsanalysen auf. Fertigt man eine Projektion eines Calcites an, der mit einem e in s des Gefüges, und mit der in diesem e liegenden Geraden r : r in der Gefügegleitrichtung a liegt, so ergibt sich die Projektion D6. Dort wo die übrigen kristallographischen Daten in der Projektion D6 liegen, wären in den jeweiligen Teildiagrammen D7 bis D12 mittelbare Häufungen zu erwarten. Tatsächlich treten diese Häufungen auch auf, was beweist, dass ein Grossteil der Körner bereits die oben angegebene Orientierung innehat. Weitere Häufungen, die sich aus der Überlagerung der einzelnen dargestellten mittelbar geregelten Vektoren, infolge Streuung der unmittelbar geregelten e ergeben, sind deutlich, treten aber im Falle dieses hochgradig geregelten Gefüges gegenüber eindeutig identifizierbaren Häufungen zurück.

Auf die gute Übereinstimmung der Diagramme D7 bis D9 mit experimentell erzeugten Gefügebildern von Calcit (vgl. Turner, Griggs, Clark, Dixon, 1956) sei hier bereits hingewiesen. Nach Turner (1963, S. 353, sowie Fig. 9—15) stellt ein derartiges Gefügebild von Calcit eine Art Endzustand eines durch axiale Kompression verformten Gefüges dar. In unserem Beispiel ist dieser Zustand für einen grossen Teil der Körner bereits erreicht. Neben diesem stabilen Orientierungszustand mit einem e parallel s, scheinen aber für andere Arten von Beanspruchung noch weitere stabile Endzustände der Calcitorientierung zu herrschen (vgl. Felkel, 1929; Sander, 1930), bei denen z. B. zwei e im Gleichgewicht liegen. Diese Frage interessiert aber nicht im Rahmen dieser Arbeit, deren Beispiel der ersten Art von Orientierung besser entspricht.

Über offene und geschlossene Systeme von e-Lamellen

Dass die sichtbaren e-Lamellen eine sehr späte Phase der Deformation widerspiegeln, wird von Turner (1949, S. 593; 1953 und andernorts)

immer wieder betont. B. SANDER hatte dieser Tatsache bereits 1930 Rechnung getragen (S. 205):

„Für die Deutung von Calcitgefügen, wie von anderen Gefügen, welche auf Korntranslation rückführbar sind, ist zu beachten, dass bei direkter Einmessung der Translationsflächen (also z. B. e des Calcits) nur die als Fugen sichtbaren, bei späten Prägungsakten betätigten Flächen sichtbar sind, und also eingemessen werden."

Die genaue Untersuchung der vorhandenen e liefert aber in vielen Fällen wertvolle Beiträge für das Verständnis des Gesamtgefüges, ganz abgesehen davon, dass durch ihre Einmessung die Körner in ihrer Drehlage um [0001] fixierbar sind. In der vorliegenden Studie wurde besonderes Augenmerk auf die im Falle intragranularer Verformung so wichtigen Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den einzelnen Körnern gerichtet. Schon in der Einleitung wurde kurz erwähnt, dass im Dünnschliffbild auffällig viele e-Lamellen von Nachbarkörnern an Korngrenzen ineinandermünden. Stellt man im U-Tisch zwei derartige Systeme scharf ein (System 1 parallel NS und neigen um h; System 2 anschliessend durch kippen um k), so verläuft auch die gemeinsame Grenze der benachbarten Körner parallel zur Schnittgeraden, die die ineinandermündenden e miteinander bilden. Man kann diesen Fall als *geschlossenes System* von e-Lamellen in bezug auf zwei Körner bezeichnen. Als *offene Systeme* von e wären demnach die Fälle zu bezeichnen, in denen die e-Lamellen benachbarter Körner nicht ineinandermünden. In den meisten beobachteten Fällen bilden je eine Schar von e zweier Nachbarkörner miteinander ein geschlossenes System. In diesem Fall hat die gemeinsame Grenzebene der Körner Lagefreiheit um die Schnittgerade der beiden e-Systeme. In den seltener beobachteten Fällen, in denen je zwei Scharen von e zweier Nachbarkörner miteinander geschlossene Systeme bilden, müssen beide Schnittgerade in der Grenzebene liegen — diese hat keine Lagefreiheit.

Für das Gesamtgefüge ergaben sich aus 213 kontrollierbaren Fällen von parallel oder bis 30° schief zu s verlaufenden e, 77% mit je einem, 4% mit je zwei und 19% ohne geschlossene Systeme von e-Lamellen. *Demnach ist der Verlauf der Intergranulare weitgehend von e abhängig.* Dies zeigt die intergranulare Stufung der Körner nach e (vgl. FELKEL, 1929), die in unserem Beispiel häufig zu beobachten ist. *Weiter resultiert aus der Beobachtung der geschlossenen e-Lamellensysteme, dass die entscheidenden intragranularen Ebenen, nach denen sich das Gefüge verformte, die e der Körner sein müssen, egal ob es sich nun um einen Translations- oder Zwillingsschiebungsmechanismus handelt.* Dabei spielt es keine Rolle, dass

die sichtbaren e-Lamellen späte Inhomogenitäten darstellen; dass sie geschlossene Systeme bilden — die sich teilweise durch den ganzen Schliff parallel s verfolgen lassen —, bedingt eine vorhergehende Verformung des Gefüges nach diesen e, die sicher nicht von Anfang an geschlossene Systeme bildeten.

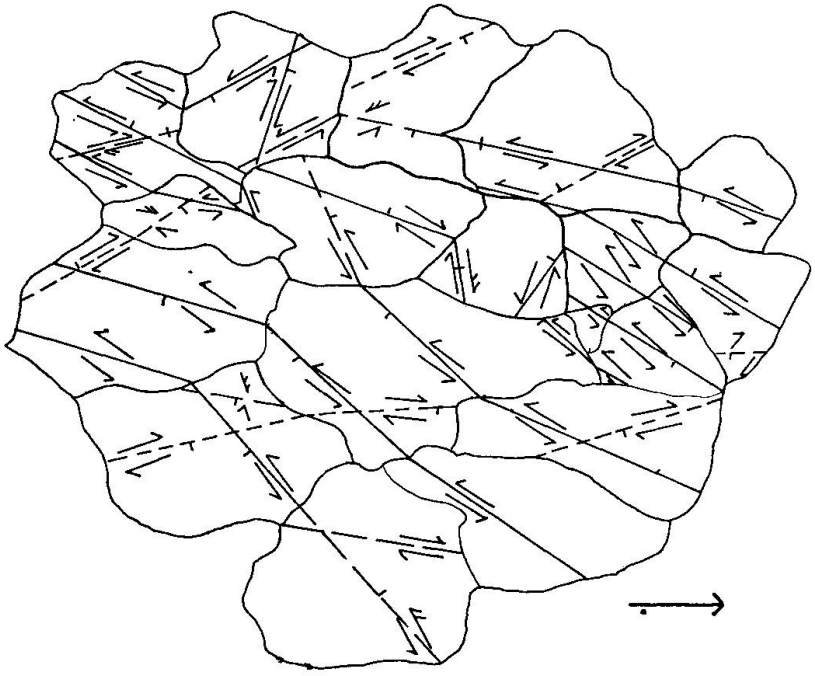


Fig. 3. Beispiel von geschlossenen (ineinander mündende Gerade) und offenen Systemen von e-Lamellen aus einem Bereich des Schliffes (hk0). Erklärung siehe Text.

Fig. 4 zeigt eine Dünnschliffphotographie (Negativ) mit geschlossenen Systemen von e-Lamellen. Es handelt sich um einen Bereich aus dem für Verteilungsanalysen ausgewählten (hk0)-Schnitt durch das Gefüge. Die genaue Untersuchung derartiger Bereiche ergab: Sowohl unverbogene als auch die seltenen verbogenen e bilden miteinander geschlossene Systeme. Die Lage der gemeinsamen Grenze und der Winkel zwischen den c-Achsen der Nachbarkörner mit geschlossenen e-Systemen wechselt. Zwillingsschiebung innerhalb der e eines geschlossenen Systems ergäbe stets den gleichen Relativsinn der Verschiebung. Verschiedene geschlossene Systeme können verschiedenen Relativsinn der Zwillingsgleitung ergeben. Diese Beobachtung wurde mittels der Verteilungsanalysen genauer verfolgt. Fig. 3 enthält die schematische Darstellung eines Bereiches des hk0-Schnittes D 1 und D 2. An Korngrenzen ineinandermündende Gerade stellen geschlossene Systeme von e dar. Die Pfeile

markieren die Relativverschiebung für den Fall von Zwillingsgleitung in diesen e. Sämtliche sichtbaren e des Bereiches sind in der Abbildung schematisch dargestellt. Ausgezogene Gerade bedeuten, dass die Häufigkeitsziffer des e (spacing index, siehe TURNER, 1963, S. 346) über 50/mm liegt, gestrichelte Linien wurden für Lamellen mit einer Häufigkeitsziffer von unter 50/mm verwendet.

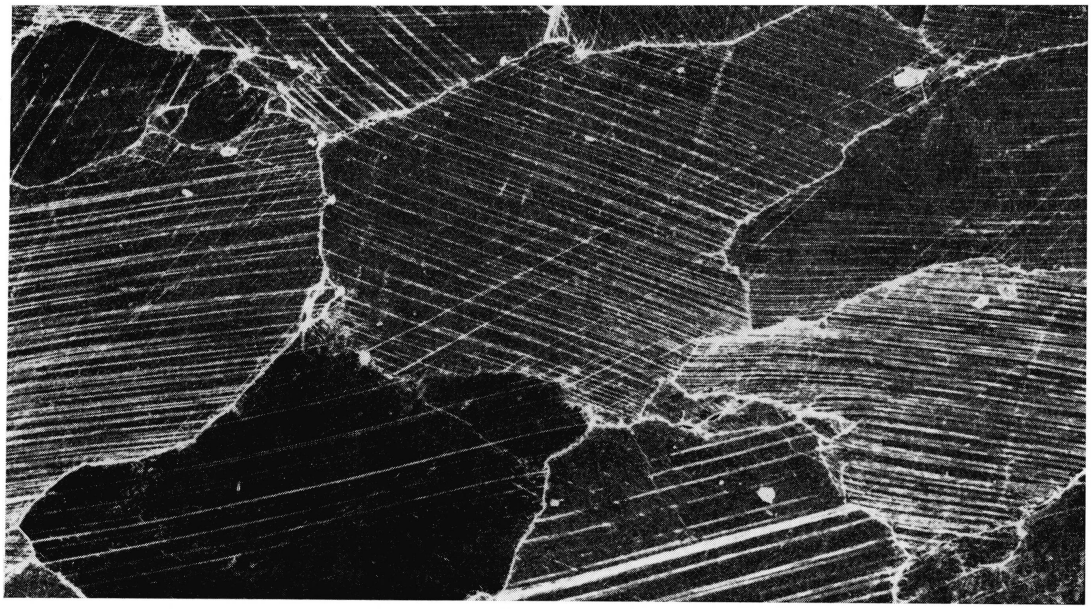
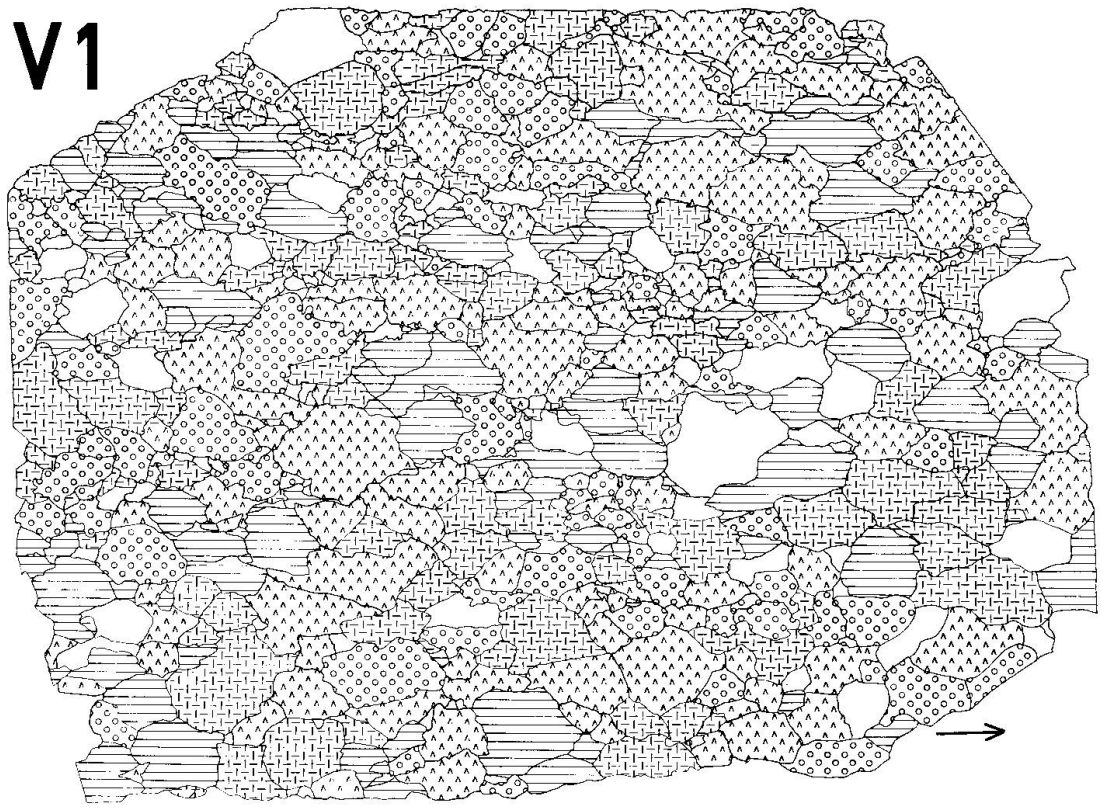


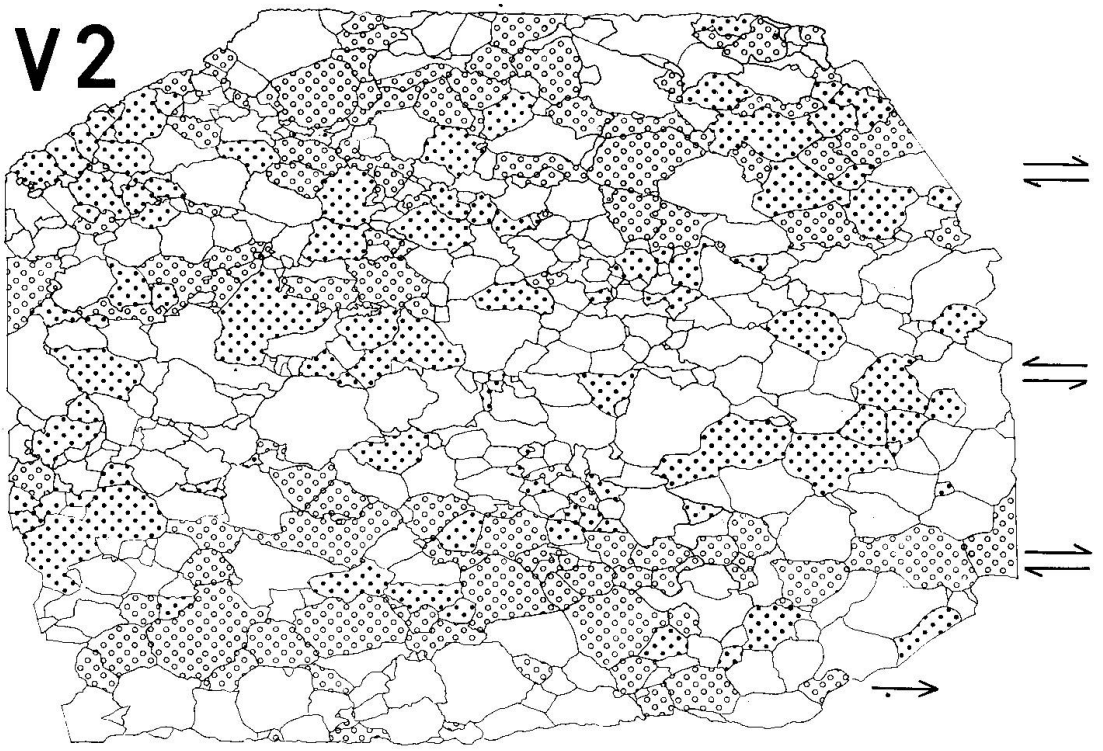
Fig. 4. Ausschnitt aus Fig. 3. Negativphotographie. Siehe auch Text.

Verteilungsanalysen nach verschiedenen Gesichtspunkten wurden von dem hk0-Schnitt durch das Gefüge (D 1, D 2) angefertigt. Die AVA der Calcit[0001]-Achsen nach Maxima (Fig. 5, V 1) ergab Überindividuen der einzelnen Richtungsgruppen. Ausser der Kornlängung parallel s waren aus dieser AVA aber keine eindeutigen Richtungen mit Kornzeilenbau ablesbar. Auf eine gesonderte Wiedergabe der einzelnen Richtungsgruppen wird daher verzichtet. Die Neigung von Calcit zur Ausbildung von Überindividuen — wenn auch bei weitem nicht im gleichen Masse wie bei Quarz — ist in den AVA von SCHÜLLER (1955) und von DIXON (1956; siehe TURNER, GRIGGS, CLARK, DIXON) ebenfalls deutlich.

Aus dem Dünnschliffbild unseres Calcitgefüges ist bereits zu erkennen, dass geschlossene Systeme von e-Lamellen Bahnen parallel s besetzten. Das Verteilungsprinzip, welches diese Bahnen ergibt, wurde gesucht. Es ergaben sich Fig. 5, V 2 und Fig. 5, V 3, die auf folgenden Schemata beruhen:

1. Körner mit einem oder zwei Systemen von sichtbaren e, davon


V1


V2

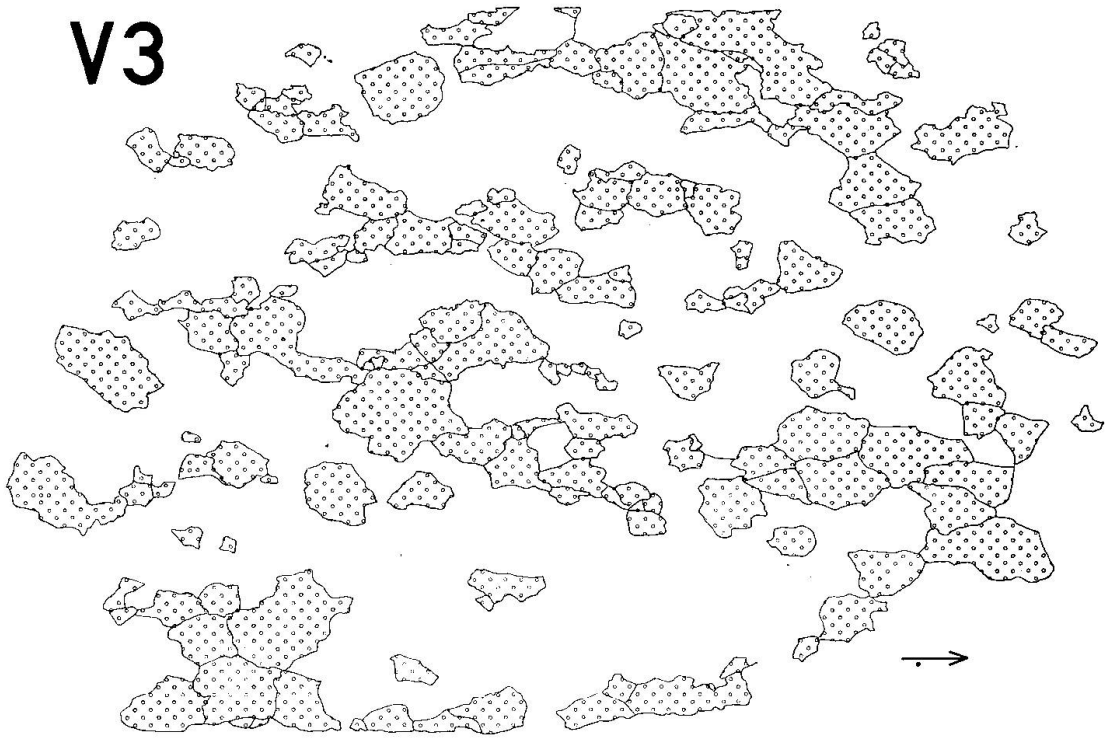


Fig. 5. Verteilungsanalysen V1 bis V3. Verteilungsschlüssel: zu V1 siehe D13; zu V2 und V3 siehe Text.

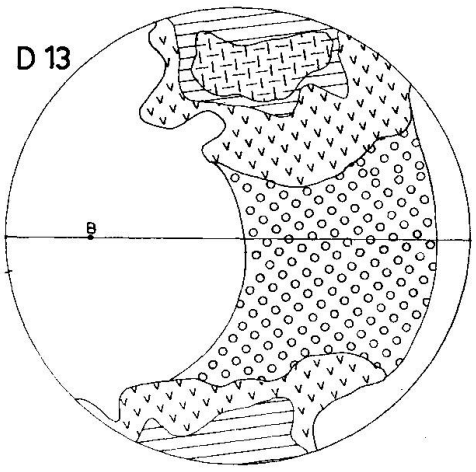


Diagramm D 13: Verteilungsschlüssel zur Verteilungsanalyse V1. Vergleiche Diagramm D 1.

eines in s, oder in (h0l) bis 45° schief zu s; die kurze Diagonale r : r in diesem e liegt parallel a des Gefüges oder [bei (h0l)-Lage von e] in ac. Zwei Fälle lassen sich unterscheiden:

a) [0001] liegt bezogen auf dieses e im gleichen Richtungssinn wie in Fig. 2, D 6.

b) [0001] liegt in bezug auf dieses e gegensinnig zu Fall a.

Eine Verteilungsanalyse nach diesem Schema ergibt Fig. 5, V 2. Körner der Art 1 a sind mit einem Kreisraster, solche der Art 1 b mit einem Punktraster versehen. Beide Arten zeigen Anordnung in Bahnen

parallel s, wobei 1a bevorzugt in den Randbereichen, 1b bevorzugt im Mittelbereich des Marmorbandes auftritt. Die Pfeile am Rande geben den Relativsinn an, nach dem Zwillingsschiebung in den parallel s oder (h0l) verlaufenden e erfolgen könnte. (Dies entspricht einem Transportsinn „Höheres gegen W", beziehungsweise für steilstehendes s: „Östliches nach oben, wie er für die Pertusio-Mulde auch aus Falten ablesbar ist.)

Da Körner der Art 1a wesentlich schärfer geregelt sind, als solche der Art 1b, kann angenommen werden, dass Transporte bevorzugt in den Randbereichen des Marmorbandes stattfanden. Daraus liesse sich ein entgegengesetzter Relativsinn des Transportes für den Mittelbereich des Bandes ableiten, wie es die Doppelpfeile in Fig. 5, V2, andeuten.

2. Körner, die zwei sichtbare Systeme von e-Lamellen in (h0l-Lage, bezogen auf das Gefüge, haben, sind in Fig. 5, V3, zusammengefasst. Auch sie zeigen Neigung zur Anordnung // s, und — soweit kontrollierbar — geschlossene Lamellensysteme untereinander.

Eine Reihe von Körnern gehören sowohl der Verteilungsanalyse V2 wie V3 an, dies ergibt sich aus der Tatsache, dass auch solche Körner berücksichtigt wurden, deren e bis 15° um die angegebene (h0l)-Lage streuen.

Da die Verteilungsanalysen Fig. 5, V2 und Fig. 5, V3, nur auf sichtbaren Systemen von e-Lamellen beruhen, die bekanntlich nur die allerletzte Phase der Deformation widerspiegeln, sind sie nur als beschränkt repräsentativ für das Gesamtgefüge zu betrachten.

Diskussion

Die subtile Untersuchung natürlicher Calcitgefüge ergibt Beispiele, in denen sich, wie hier, recht eindeutig entscheiden lässt, dass e als weitaus wichtigste intragranulare Gleitebene bei der Verformung des Gefüges funktionierte. Die Argumente hierfür ergeben sich aus dem Vergleich von Gefügediagrammen, aus der Beobachtung geschlossener e-Lamellensysteme, aus dem Verlauf und der Stufung der Intergranulare, um nur einige zu nennen. Die Entscheidung über die Art des Verformungsmechanismus ergibt sich jedoch nicht ohne weiteres, und wir sind hier zunächst auf die Ergebnisse der experimentellen Verformungen an Marmoren und Calciteinkristallen angewiesen. Doch können auch mit diesen Ergebnissen nicht bedenkenlos Vergleiche gezogen werden — neben den schwer einzuschätzenden Grössen Druck und Temperatur ist es bei natürlichen Gefügen besonders die Verformungsgeschwindigkeit, die, abgesehen davon, dass sie unbekannt ist, sicher nicht der des Experi-

mentes entspricht. Um so grössere Bedeutung ist der von Sander immer wieder betonten symmetrologischen Betrachtungsweise beizumessen.

Für unser Beispiel geben sich als Anhaltspunkte folgende Daten: Die Deformation wurde im Gebiet der Tessiner Kulmination ganz allgemein von der Kristallisation überdauert. Aus der für das Gebiet unserer Probe charakteristischen Amphibolitfazies (vgl. auch BUCHMANN, 1953) sowie aus der Paragenese Calcit-Plagioklas (WENK, 1963) ergibt sich übereinstimmend, dass während der Metamorphose erhebliche Temperaturen erreicht wurden. TURNER (1960, S. 553) gibt für die Almandin-Amphibolitfazies einen Temperaturbereich zwischen 550° bis 750° bei Drucken zwischen 4 bis 8 kbar an, TRÖGER (1963) einen solchen von 450—700° bei 2—12 kbar für seine Amphibolitfazies. Quarzgefüge aus unserer Gegend zeigen Kreuzgürtelbilder (WENK, 1943), daneben auch schon die für tiefmeso- bis katazonalen Bereiche typischen Granulitgefüge (vgl. TROMMSDORFF und WENK, 1963). Unter hohen Drucken bei 400—600° C erzeugte Calcitgefügebilder — von TURNER (1963) als stabile Orientierung für axiale Pressung beschrieben — sind den unseren sehr ähnlich (vgl. auch TURNER, GRIGGS, CLARK, DIXON, 1956, Diagramme Fig. 9—11). Intergranulare oder intragranulare Rekristallisation mit Bildung von Kleinkörnern, wie sie von GRIGGS, TURNER und HEARD (1960, S. 94ff.) für Temperaturen im Bereich 600° als „most effective" beschrieben wird, ist in unserem Beispiel kaum deutlich. Dies mag mit der im Vergleich zum Experiment viel langsameren Verformungsgeschwindigkeit zusammenhängen (vgl. TURNER, 1963, S. 354; GRIGGS, TURNER und HEARD in GRIGGS und HANDIN, 1960, S. 97, HEARD, 1963) und würde gut mit der Voraussage übereinstimmen, nach welcher syntektonische Rekristallisation in der Natur bei viel niedrigeren Temperaturen als im Experiment ihren Wirkungshöhepunkt hätte. Inwieweit sich dieses Kriterium zoneographisch anwenden lässt, ist Aufgabe im Gange befindlicher Studien.

Translation nach r oder f von Calcit ist in unserem Beispiel, wie wohl in den meisten natürlichen Calcitgefügen, nicht nachweisbar. Es erscheint fraglich, ob diese Translationen bei langsamer Verformung in der Natur eine ebenso deutliche Rolle spielen wie in experimentell mit relativ hoher Geschwindigkeit verformten Calciteinkristallen. Jede Theorie, nach der Translation auf r oder f von Calcit in natürlichen Gefügen eine „umfassende" Rolle spielte, ist ebenso spekulativ wie eine Kennzeichnung von Lamellen als „Translationslamellen", bloss wegen ihrer Sichtbarkeit, ohne weiteren triftigen Grund, wie sie von TURNER immer wieder kritisiert wird. Schon die experimentellen Daten zeigen, dass Translation

nach r oder f von Calcit nur mit einem — im Vergleich zur Zwillingsschiebung in e — vielfachen Kraftaufwand erzeugt werden kann und daher nur in $\perp$c gepressten Körnern, bei denen Zwillingsschiebung in e nicht möglich ist, auftreten kann (vgl. TURNER, GRIGGS, HEARD, 1954).

Der Zustand unseres Gefüges ist charakteristisch für eine vorhergegangene hochgradige intragranulare Verformung nach den e-Flächen der Körner, die soweit ging, dass die spät gebildeten, als Inhomogenitäten sichtbaren e-Lamellen von Korn zu Korn geschlossene Systeme bilden konnten. In Übereinstimmung damit steht der Verlauf der Intergranulare. Abgesehen davon, dass es gedanklich Schwierigkeiten macht, diesen Zustand allein durch — in ihrem jeweiligen Ausmass begrenzte — Zwillingsschiebung zu erklären, ergibt das vorliegende Gefüge keinen Anhaltspunkt, welcher Art die Verformung parallel den e der Körner war: Zwillingsschiebung, Translation oder Translation nur auf Ebenen, die zugleich als Zwillingsebenen funktionieren.

Zum Abschluss sei noch vermerkt, dass der Relativsinn des Transportes, wie ihn das vorliegende Gefüge abbildet (wenn man Zwillingsschiebung oder einen gleichsinnigen Mechanismus in e annimmt), mit dem für die Pertusio-Zone charakteristischen Relativsinn übereinstimmt: Höheres gegen W; beziehungsweise bei steilstehendem s: Östlicheres nach oben.

Herrn Professor Wenk danke ich für stetes und förderndes Interesse an dieser Arbeit. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft verdanke ich eine Reisebeihilfe, die mir bei meinen Feldarbeiten im Tessin sehr zugute kommt.

Literatur

B.G.S.A. = Bulletin of the geological Society of America.
S.M.P.M. = Schweiz. Mineralog. und Petrogr. Mitteilungen.

BECKE, F. (1924): Struktur und Klüftung. Fortschr. Mineral. Kristallogr. Petrogr. 9, 655—690.

BORG, I. and TURNER, F. J. (1953): Deformation of Yule marble VI. B.G.S.A., 64, 1343—1352.

BUCHMANN, H. (1953): Geologie und Petrographie des oberen Maggia-Tales zwischen Fusio und Broglio im NW-Tessin. Diss. Basel 1948.

FAIRBAIRN, H. W. (1949): Structural petrology of deformed rocks. 2nd Ed. Cambridge, Mass.

FELKEL, E. (1929): Gefügestudien an Kalktektoniten. Jb. geol. B. Anst. Wien, 79, 33—86.

GRIGGS, D. and MILLER, W. B. (1951): Deformation of Yule marble I. B.G.S.A., 62, 853—862.

GRIGGS, D., TURNER, F. J., BORG, I. and SOSOKA, J. (1951): Deformation of Yule marble IV. B.G.S.A., 62, 1385—1405.

— (1953): Deformation of Yule marble V. B.G.S.A., 64, 1327—1342.
Griggs, D. and Handin, J. W. (1960): Rock Deformation. Geol. Soc. Amer. Mem., 79.
Handin, J. W. and Griggs, D. (1951): Deformation of Yule marble II. B.G.S.A., 62, 863—885.
Heard, H. C. (1963): Effect of large changes in strain rate in the experimental deformation of Yule marble. Journ. Geol. 71, 162—195.
Knopf, E. B. (1949): Fabric changes in Yule marble after deformation in compression I. und II. Amer. J. Sc., Vol. 247, 433—461; 537—569.
Mügge, O. (1898): Über Translationen und verwandte Erscheinungen in Krystallen N. Jb. Mineral., Geol., Pal., I, Abh. 1—159 (insbes. S. 102).
Pabst, A. (1955): Transformation of indices in twin gliding. B.G.S.A., 66, 897—912.
Robertson, E. C. (1951): New mechanical twinning in calcite. B.G.S.A., 62, 1472.
Sander, B. mit Schmidegg, O. (1926): Zur petrographisch-tektonischen Analyse III. Jb. geol. B. Anst. Wien, 76, 323—406.
Sander, B. (1930): Gefügekunde der Gesteine. Wien.
— (1950): Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper, II. Wien/Innsbruck.
Schmidt, W. (1917): Statistische Methoden beim Gefügestudium krystalliner Schiefer. Sitzber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl. I., 126, 515—538.
Schüller, I. (1955): Achsenverteilungsanalyse eines Glimmermarmors. Jb. geol. B. Anst. Wien, XCVIII, 21—31.
Tröger, W. E. (1963): Der geothermische Gradient im pt-Feld der metamorphen Fazies. Beitr. Mineral. und Petrogr., 9, 1—12.
Trommsdorff, V. und Wenk, E. (1963): Diskussion eines Zwillingsgefüges durch Achsenverteilungsanalyse an Quarz eines Tessinergneisses. S.M.P.M., 43, 687—698.
Turner, F. J. (1949): Preferred orientation of calcite in Yule marble. Amer. J. Sc., Vol. 247, 593—621.
Turner, F. J. and Ch'ih, C. S. (1951): Deformation of Yule marble III. B.G.S.A., 62, 887—906.
Turner, F. J. (1953): Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles. Amer. J. Sc., Vol. 251, 276—298.
Turner, F. J., Griggs, D. and Heard, H. (1954): Experimental deformation of calcite crystals. B.G.S.A., 65, 883—933.
Turner, F. J., Griggs, D., Clark, R. H. and Dixon, R. H. (1956): Deformation of Yule marble VII. B.G.S.A., 67, 1259—1293.
Turner, F. J. and Verhoogen, J. (1960): Igneous and metamorphic petrology. New York.
Turner, F. J. and Weiss, L. E. (1963): Structural analysis of metamorphic tectonites. New York.
Wenk, E. (1943): Ergebnisse und Probleme von Gefügeuntersuchungen im Verzascatal. S.M.P.M., 23, 265—294.
— (1955): Eine Strukturkarte der Tessineralpen. S.M.P.M., 35, 311—319.
— (1962): Plagioklas als Indexmineral in den Zentralalpen. Die Paragenese Calcit-Plagioklas. S.M.P.M., 42, 139—152.

Manuskript eingegangen am 10. Juni 1964.