

Article

Fehlbau in Quarzkristallen aus Tektoniten

Wenk, Hans-Rudolf

in: Contributions to mineralogy and petrology 12 |

Contributions to mineralogy and petrology 1

10 Pages (63 - 72)



Nutzungsbedingungen

DigiZeitschriften e.V. gewährt ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht kommerziellen Gebrauch bestimmt. Das Copyright bleibt bei den Herausgebern oder sonstigen Rechteinhabern. Als Nutzer sind Sie nicht dazu berechtigt, eine Lizenz zu übertragen, zu transferieren oder an Dritte weiter zu geben.

Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen:

Sie müssen auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten; und Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgend einer Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen; es sei denn, es liegt Ihnen eine schriftliche Genehmigung von DigiZeitschriften e.V. und vom Herausgeber oder sonstigen Rechteinhaber vor.

Mit dem Gebrauch von DigiZeitschriften e.V. und der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

DigiZeitschriften e.V. grants the non-exclusive, non-transferable, personal and restricted right of using this document. This document is intended for the personal, non-commercial use. The copyright belongs to the publisher or to other copyright holders. You do not have the right to transfer a licence or to give it to a third party.

Use does not represent a transfer of the copyright of this document, and the following restrictions apply:

You must abide by all notices of copyright or other legal protection for all copies taken from this document; and You may not change this document in any way, nor may you duplicate, exhibit, display, distribute or use this document for public or commercial reasons unless you have the written permission of DigiZeitschriften e.V. and the publisher or other copyright holders.

By using DigiZeitschriften e.V. and this document you agree to the conditions of use.

Kontakt / Contact

[DigiZeitschriften e.V.](#)

Papendiek 14

37073 Goettingen

Email: info@digizeitschriften.de

Fehlbau in Quarzkristallen aus Tektoniten

HANS-RUDOLF WENK

Eingegangen am 1. Oktober 1965

Abstract. Quartz single-crystals from metamorphic tectonites — quartz-lenses in gneisses from the Lepontine Alps (Co. Ticino, Switzerland) and from Madras charnockites — have been examined for structural defects by means of X-rays, polarizing microscope, and electron microscope.

Even smallest parts of microscopically uniform quartz crystals proved to consist of many tiny, slightly inclined domains which rotate somewhat freely round the c-axis, the main element of orientation.

Some hypothetic conclusions have been drawn with regard to the mechanism of orientation in recrystallization fabrics:

In a stress field the subindividuals move into a new position of equilibrium by internal rotation. During continuous small stress-changes the unity of the grain is maintained while strong anisotropies of stress may bring about autonomy of the domains. It is by rotation of the elements, not by translation, that the new thermodynamical state of orientation is attained. Interlocking of grains is a proof of the rotation of the domains.

The splitting up into domains may result from fissuring or undulation, but in all probability stress inhomogeneities during crystallization are mainly responsible for it.

In Fig. 14 the author has attempted to give a model for the exact description of the fabric symmetry that conveys a simple theoretical example not only of point-symmetry but also of space-group properties.

The fabric of quartz consists of a system built up by discrete elements repeated periodically in a three-dimensional space in the three orders of magnitude of superindividual, grain and single-crystal domain. In a statistical way — not in the exact sense of modern crystallography — the classical definition of the crystal (e.g. P. NIGGLI, 1920, p. 6) applies to the quartz fabric as well.

Im Rahmen einer Gefügeuntersuchung an Quarzlinsen der Lepontinischen Alpen wurden Quarz-Einkristalle mit der Röntgen-Gefügekamera (vgl. WENK, 1965a und b) auf Fehlbau geprüft. Es zeigte sich dabei, daß selbst kleinste Bruchstücke ($\sim 0,1$ mm) von mikroskopisch einheitlichen gesteinsbildenden Quarzkristallen (~ 5 mm) aus zahlreichen diskreten, leicht gegeneinander verstellten Domänen bestehen. Im einzelnen unterscheiden sich die Körner in der Anzahl der Domänen und in deren Richtungsschwankung, die gewöhnlich 5 — 15° beträgt (vgl. Abb. 1). Wie im Korngefüge ist auch im Domänengefüge die c-Achse stärker fixiert als die a-Achsen: eine Tendenz zur Drehfreiheit der a-Achsen ist also schon in dieser Größenordnung zu beobachten. Die Achse der Externrotation des Kristalls (SANDER, 1950) stimmt angenähert mit der Richtung der c-Achse überein (Abb. 1). Bei einer stark rekristallisierten Probe (A. Drosina) liegen die Pole von (1011) auf einem fast geschlossenen Kleinkreis (Abb. 2). Da die c-Achsen angenähert parallel sind, ist die Auslöschung im Polarisationsmikroskop ziemlich einheitlich.

Die Symmetrie des Quarzkornes wurde aus Laue-Aufnahmen ermittelt und erwies sich im Fall einer Probe von Lodrino als trigonal. Die Röntgendiagramme dieser „Kristallaggregate“ sind allerdings undeutlich: In Abb. 3 und 4 sind Aufnahmen einer Tektonitprobe (Lodrino) und eines Kluftquarzes (P. Cristallina) einander gegenübergestellt.

Die Domänenstruktur des Quarzkorns gibt Hinweise auf den Regelungsmechanismus. Früher (WENK, 1965a) wurde gezeigt, daß bei der Rekristallisationsregelung von Quarz die c-Achsenrichtung hauptsächliches Regelungselement ist.

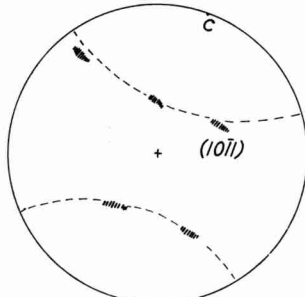


Abb. 1

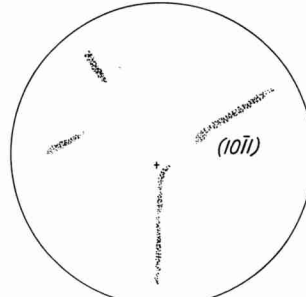


Abb. 2

Abb. 1. Stereogr. Projektion eines Röntgendiagramms der Fläche $(10\bar{1}1)$ von Quarz. Quarzlinse in Leventina-gneiß, Lodrino (Gef 15)¹

Abb. 2. Stereogr. Projektion eines Röntgendiagramms der Fläche $(10\bar{1}1)$ von Quarzlage in Bündnerschiefer, A. DROSINA (Gef 7)

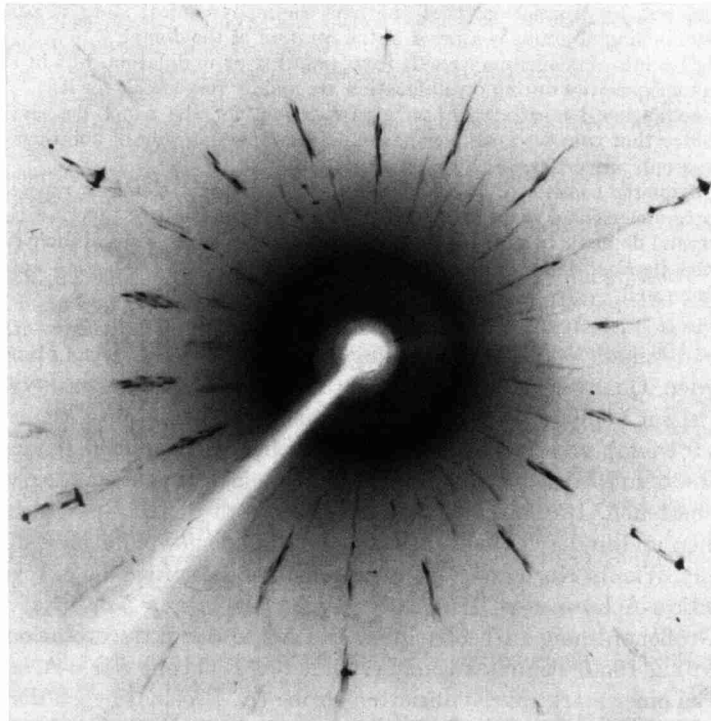


Abb. 3. Laue-Aufnahme eines tektonischen Quarzkristalls (Lodrino, Gef 15). Trigonale Symmetrie

Die c-Achsenrichtung der Domäne paßt sich bei Streß-Beanspruchung an den Spannungszustand an (vgl. KAMB, 1958). Bei Streßänderung erfolgt das Umkappen der Subindividuen in die neue Gleichgewichtslage vermutlich gemeinsam.

¹ Die Bezeichnung der Proben bezieht sich auf WENK (1965a). In diesem Rahmen, in dem prinzipielle Probleme untersucht werden, wird auf genaue Fundortangaben verzichtet.

Dadurch sind nur geringe Kräfte notwendig; der Vorgang kann mit dem Umklappen von Calcit-Kristallen in die Druckzwillingsstellung oder mit der polysynthetischen Verzwilligung unter Deformation bei Feldspäten (vgl. LAVES, 1960) verglichen werden. Die einzelnen Domänen werden bei der Rotation nur um kleinste Beträge gegeneinander verschoben. Der neue thermodynamische Gleichgewichts-

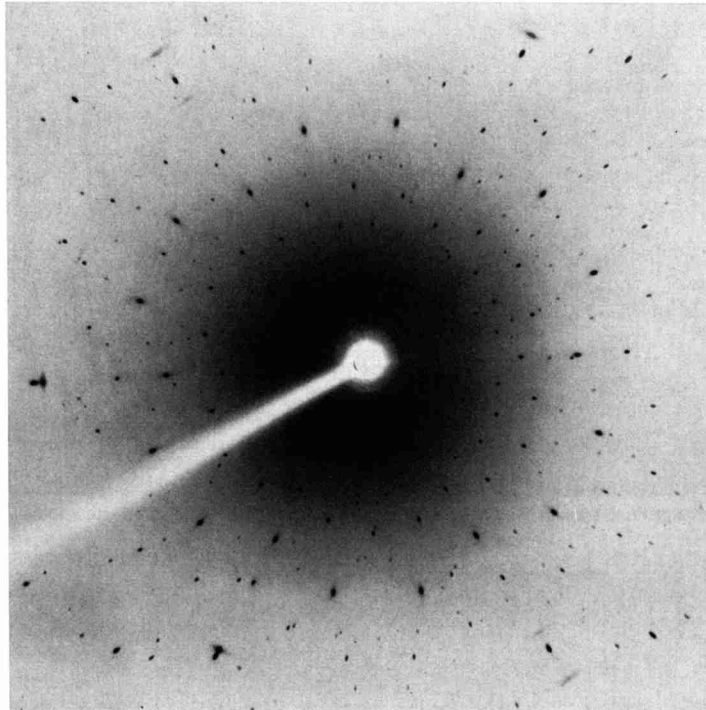


Abb. 4. Laue-Aufnahme eines Kluftquarzes, zum Vergleich (Pizzo Cristallina). Hexagonale Symmetrie durch Verzwilligung

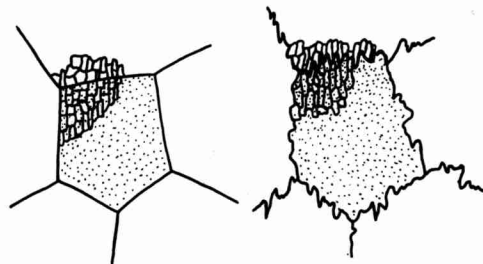


Abb. 5. Verzahnung der Körner bei Rotation der Domänen

zustand wird durch eine *Rotation* der Bauelemente, nicht durch *Translation* erreicht. *Korn*teile (Domänen) haben unmittelbaren Kontakt; sie „wissen“ nicht nur um das Streifeld, in dem sie sich befinden, sondern auch um ihre Nachbar-domäne im Gegensatz zum *Korn*, das sich, was Nachbarwinkelstatistiken zeigten (WENK, 1965a), wie ein Einsprengling in einem fremden Medium verhält. Als rennende Substanz muß dort die Intergranulare — ein Substanzfilm von bisher unbekannter Zusammensetzung — wirken. Bei langsamen Spannungsänderungen

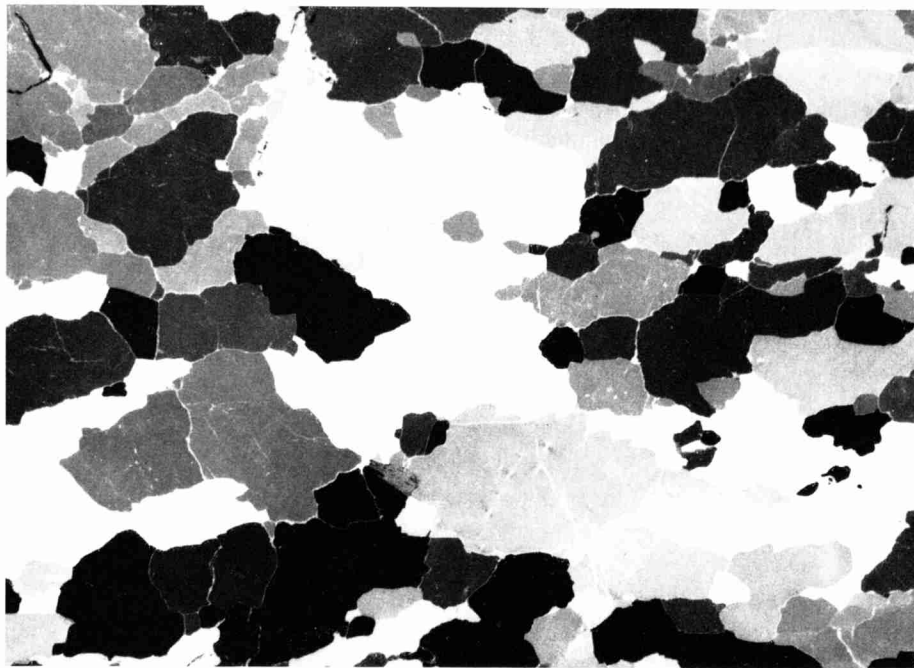


Abb. 6. Quarzgefüge einer Linse in Bacoschiefer, Osso, V. Devero (Gef 64). Vergrößerung 15 ×

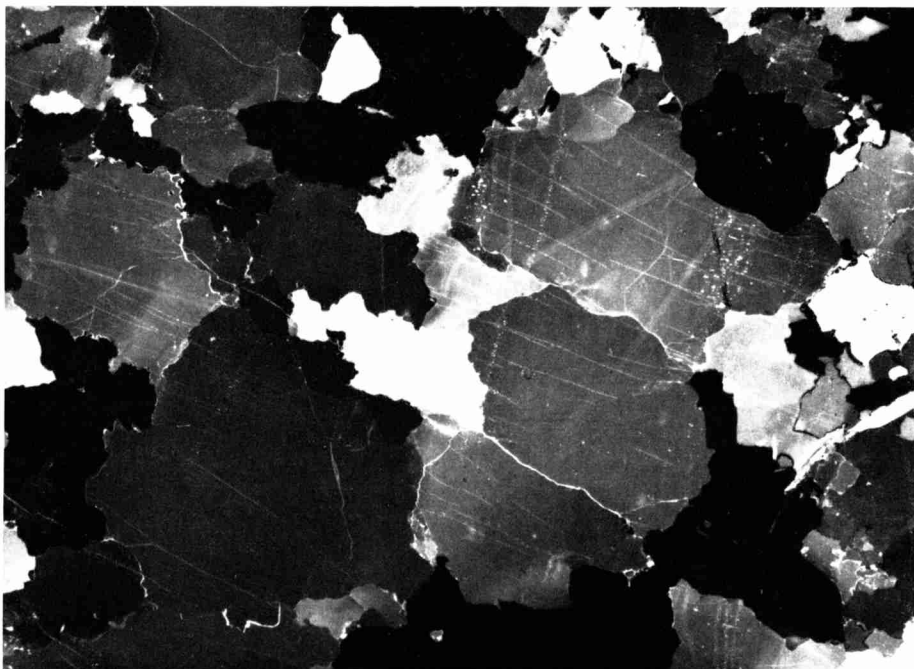


Abb. 7. Quarzgefüge einer Knauer in Glimmerschiefer, Passo Corombe, V. Piora (Gef 19). Vergrößerung 10 ×

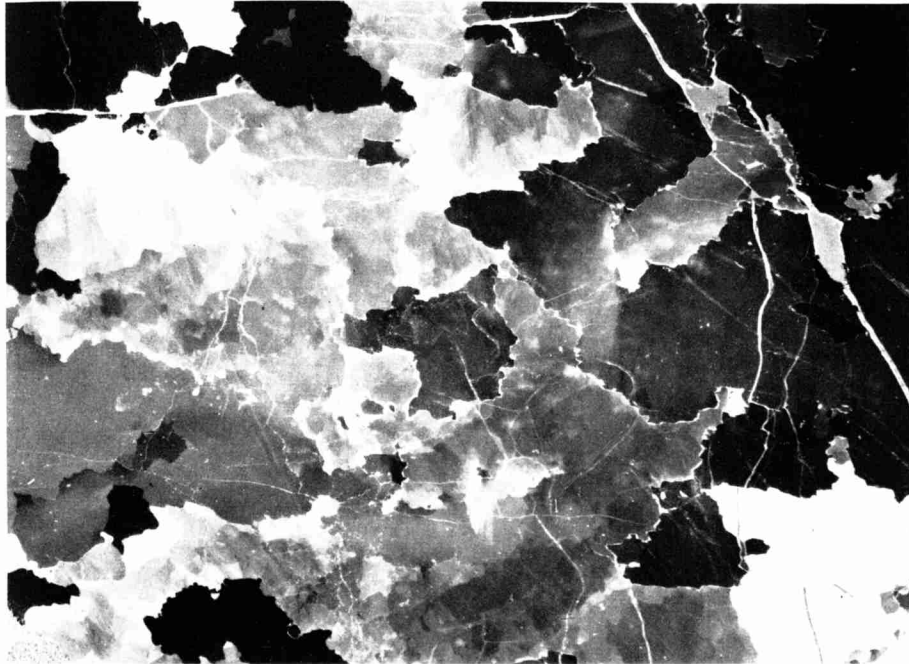


Abb. 8. Quarzgefüge einer Knauer in Injektionsgneiß, Pte. Brolla, V. Maggia (Gef 53). Vergrößerung 10 ×



Abb. 9. Quarz-Plagioklasgefüge. Charnockite, Madras, S-Indien (Ind 9). Vergrößerung 15 ×

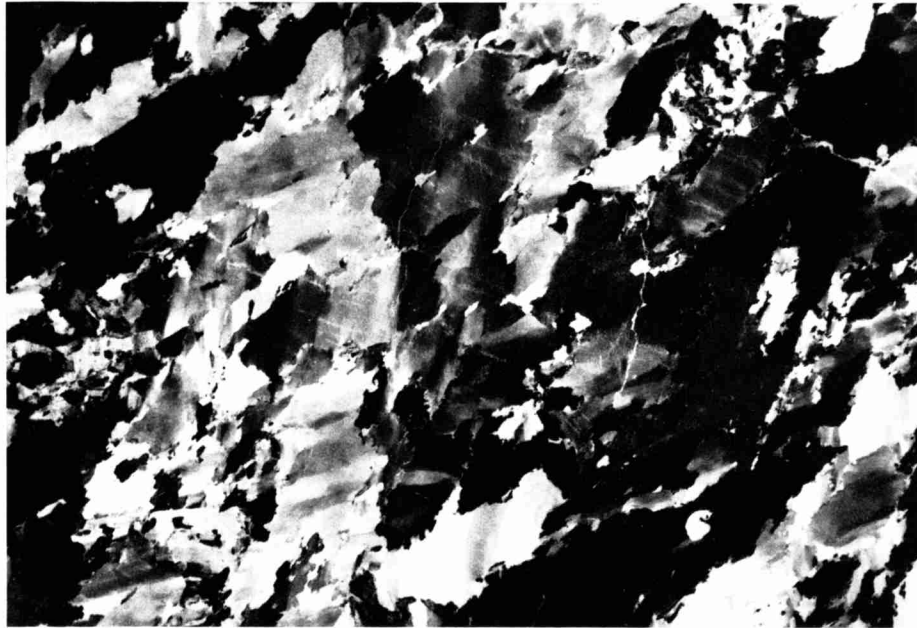


Abb. 10. Quarzgefüge einer Linse in Glimmerschiefer, Cava Mergozzoni ob Candoglia (Gef 25). Vergrößerung 15 ×

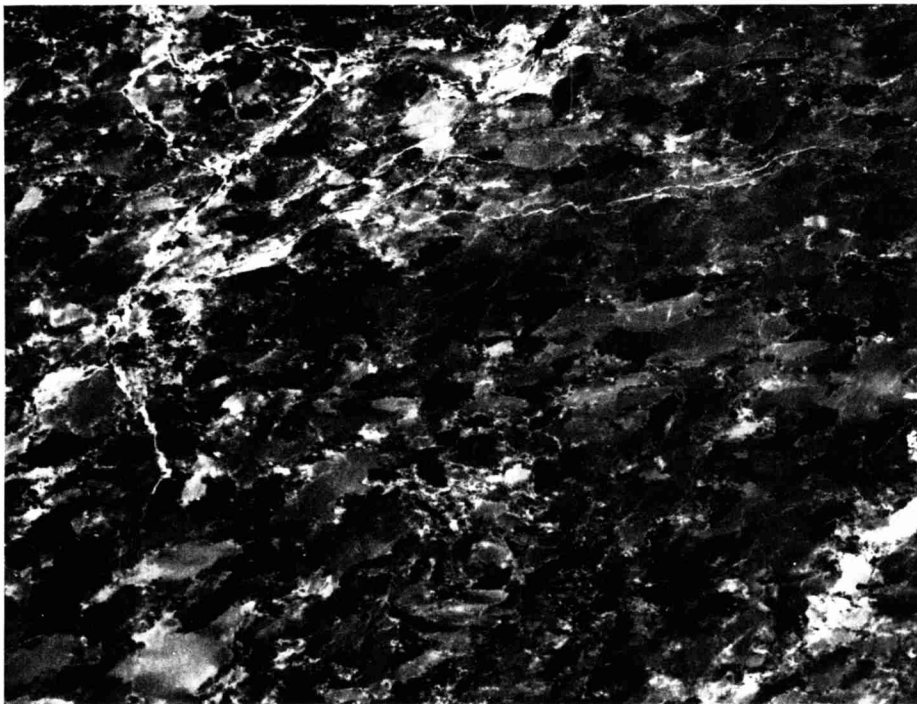


Abb. 11. Quarzgefüge einer Lage in Bündnerschiefer, A. Drosina, Riviera (Gef 7). Vergrößerung 15 ×



Abb. 12. Quarzgefüge einer Linse in Glimmerschiefer, Steinbruch Castione, Riviera (Gef 17). Vergrößerung $10\times$. Man beachte die starke Undulation, die Kluftrisse und die schief zur Undulation verlaufenden Deformationslamellen (besonders gut sichtbar im Korn rechts unten)

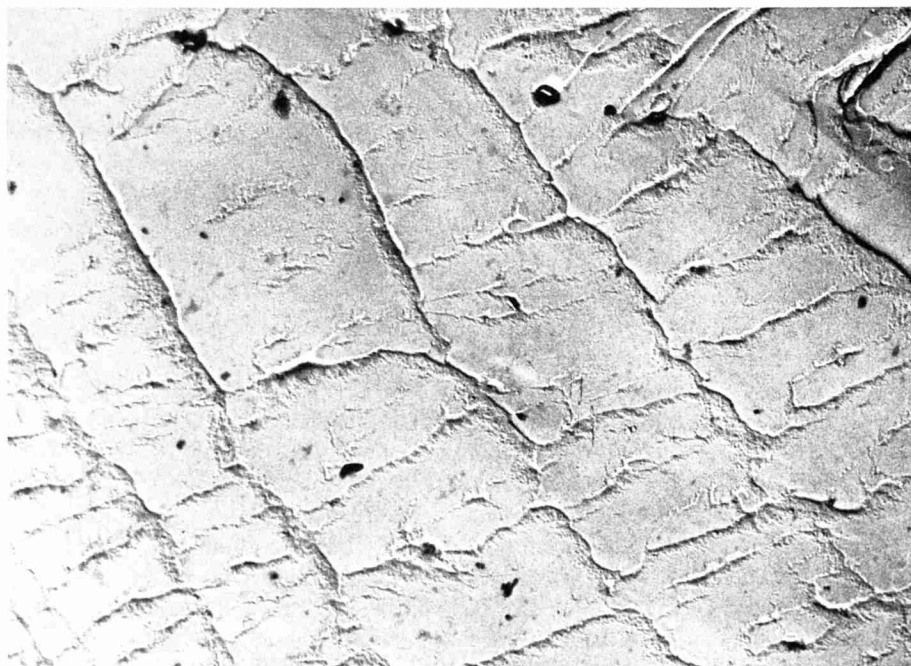


Abb. 13. Elektronenmikroskopische Aufnahme des Lackabdruckes einer Bruchfläche von Quarz, Lodrino Riviera (Gef 15). Vergrößerung ca. $15000\times$

bleibt die Korneinheit erhalten. Parallelkristallisation ist wachstumsenergetisch besonders günstig; bei Rekristallisation wird im allgemeinen eine Kornvergrößerung angestrebt (TURNER and WEISS, 1963, p. 365), da der Einkristall dem energieärmsten Zustand entspricht. Andererseits wirken dieser Tendenz die tektonischen Spannungen entgegen, so daß zwischen parallelkristallisierten Domänen und verschieden orientierten Körnern ein statistischer Gleichgewichtszustand entsteht. Starke Streßanisotropien können das Korn aufspalten, wobei einzelne Domänen selbständig werden (z.B. Quarz A. Drosina). Die Internrotation der Domänen in einem Gestein äußert sich in der Verzahnung der Körner (Abb. 5).

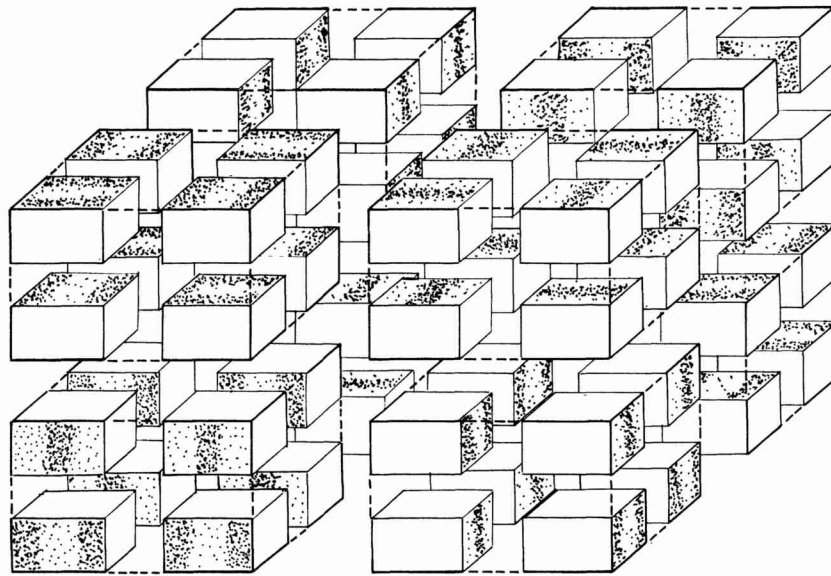


Fig. 14. Theoretisches Modell eines „Drei-Größenordnungs-Raumgefüges“ (zur Projektion der c-Achsen vgl. Abb. 15)

Das Phänomen der Domänenbildung läßt sich teilweise auch im Polarisationsmikroskop feststellen, wobei aber die kleinsten Größenordnungen und besonders die Drehfreiheit der a-Achsen nicht erfaßt werden. Wir verfolgen die fortschreitende Rekristallisation in Quarzgefügen an einer Reihe von ausgewählten Beispielen (Abb. 6—11): Abb. 6 (Osso, V. Devero) zeigt das Dünnschliffbild eines aus sehr einheitlichen Kristallen bestehenden Quarzites; die Korngrenzen sind einfach, das Gefüge relativ feinkörnig. In Abb. 7 (Passo Corombe, V. Piora) ist bereits leichte Undulation sichtbar, die Körner sind etwas verzahnt und durchklüftet. Das Röntgendiagramm zeigt Aufspaltung in Domänen. In Abb. 8 (Pte. Brolla, V. Maggia) ist die Aufteilung weiter fortgeschritten; man erkennt zahlreiche leicht ungleich auslöschende Domänen. Die Körner sind stark verzahnt, neben den gewöhnlichen Großkorngrenzen sind scharfe Kleinkorngrenzen sichtbar. Diese diskreten Teilchen sind von kontinuierlichen Undulationserscheinungen zu unterscheiden. Besonders evident ist der Befund bei Charnockit-Quarzen (Abb. 9): Während die Feldspäte wegen ihrer Struktur bei Spannungen polysynthetisch verzwilligen können und dabei als einheitlicher Kristallkomplex erhalten bleiben, zerbricht der Quarzkristall in Domänen, die keine rationale Beziehung zuein-

ander besitzen. Auf dieser Stufe ist der Kulminationspunkt der reinen Domänenkristallisation erreicht. Hält die Streßbeanspruchung an, so beginnt an den Korngrenzen die Keimrekristallisation, die Bildung neuer Kristalle von der Intergranularen aus (Abb. 10, Candoglia), die schließlich überwiegt und vollständige Erneuerung zur Folge hat (Abb. 11, A. Drosina, V. Leventina).

Die Ursachen der Domänenbildung sind nicht sicher anzugeben. Teilweise mag sekundäre Kornzerkleinerung eines einheitlichen Kristalls durch Zerklüftung, durch Deformationslamellen und Undulation (Abb. 12, Castione) dafür verantwortlich sein, zur Hauptsache sind es aber wohl Spannungsinhomogenitäten während der Kristallisation, die die Domänenbildung bewirken. Sie ist also weitgehend eine primäre Erscheinung, deshalb häufig auch in Linsen mit äußerlich klaren und großen Körnern zu beobachten; sie ist schwach in Scherungsgefügen, wo die internen Spannungen durch Kornzerkleinerung aufgehoben sind.

Domänen können auch mit dem Elektronenmikroskop nachgewiesen werden: Lackabdrücke von Bruchflächen zeigen Mosaikbau mit parallelen, in periodischen Abständen sich wiederholenden Grenzen (Abb. 13, Lodrino).

Das Korngefüge von Quarz kann als Makroeinheit mit statistisch homogenem Fehlbau in mindestens drei Größenordnungen aufgefaßt werden: es besteht aus drei „Subgefügen“, deren Bauelemente sich periodisch wiederholen. Jedes dieser Subgefüge ist aus einer Anzahl Teilchen einer niedrigeren Größenordnung aufgebaut, so daß sich insgesamt die drei Baueinheiten Überindividuum, Korn und Einkristall-Domäne ergeben. Es handelt sich bei der

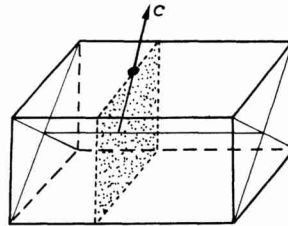


Abb. 15. Projektion der c-Achsenrichtungen in der Elementarzelle niedrigster Größenordnung von Abb. 14. Die Domäne liegt in der punktierten Ebene

Erscheinung nicht um eigentlichen Kristallgitter-, sondern um „Kornfehlbau“. Die Beziehungen der Domänen zu Versetzungen (vgl. CHRISTIE, GRIGGS and CARTER, 1964) und anderen Gitterdefekten wurden noch nicht näher untersucht.

Die Variabilität des Bewegungsbildes in verschiedenen Größenbereichen (Überindividuum, Korn, Domäne) mag für den komplizierten und komplexen Bau der Quarzgefüge in Tektoniten verantwortlich sein. Je nach den äußeren Bedingungen wird bei Regelungen die eine oder die andere Einheit betätigt und die Abbildung¹ der Streßverhältnisse erfolgt in verschiedenen Bereichen. Die *Richtungssymmetrie* der Gefügebausteine ist nur bei einer statistischen Betrachtung des Gesamtkörpers genetisch aussagekräftig. Zur genauen Beschreibung der Gefügesymmetrie sollte nicht nur die Richtungslage von Körnern, sondern auch die *Raumlage* von Überindividuen im Gefüge, von Körnern im Überindividuum und von Domänen im Korn berücksichtigt werden. Analog den Raumgruppen in der Kristallographie wäre in der Gefügekunde eine Einteilung zu finden, welche dem komplexen Charakter des Quarzgefüges gerecht wird und also nicht nur richtungssymmetrische Eigenschaften umfaßt. Das Problem der Behandlung der statistischen Homogenität in verschiedenen Größenbereichen wurde schon von PATERSON and WEISS (1961) angedeutet. Ein einfaches theoretisches Modellbeispiel für ein „Drei-Größenordnungs-Raumgefüge“ ist in Abb. 14 dargestellt. (Die Punkte sollen dabei

¹ Zur Definition von Abbildung siehe WENK (1965).

die Ausstichpunkte der c-Achsen aus dem Quader versinnbildlichen. Zur Art der Projektion vgl. Abb. 15.) Ob sich die vorgeschlagene Untersuchung je praktisch verwirklichen läßt, ist allerdings fraglich, da nicht nur die Richtung der Kristalle, sondern auch deren räumliche Verteilung nur statistisch bestimmt sind, ganz anders als die Atomanordnungen in der Kristallstruktur. Eine dreidimensionale statistische Raumlageuntersuchung bei drei verschiedenen Größenordnungen kann praktisch kaum mehr bewältigt werden. Dennoch wäre die Anwendung von Methoden der Strukturbestimmung und der Gruppentheorie in der Gefügekunde äußerst wertvoll und würde — vorerst theoretisch — eine Systematisierung der verschiedenen Gefügetypen ermöglichen.

Vorliegende Arbeit wurde zur Hauptsache am Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Basel durchgeführt. Für die gewährte Unterstützung sei dem Vorsteher Prof. E. WENK bestens gedankt. Gleichfalls danken wir Prof. F. LAVES (Zürich) für kritische Diskussionen und Herrn W. VILIGER (Vorsteher der Abt. für Elektronenmikroskopie am Anatomischen Institut in Basel) für die EM-Aufnahmen.

Literatur

- CHRISTIE, J. M., D. T. GRIGGS, and N. L. CARTER: Experimental evidence of basal slip in quartz. *J. Geol.* **72**, 734—756 (1964).
- KAMB, W. B.: Theory of preferred orientation developed by recrystallization under stress. *J. Geol.* **67**, 153—170 (1959).
- LAVES, F.: I feldspati e le loro relazioni di fase. *Rend. soc. mineral. ital.* **16**, 96—100 (1960).
- NIGGLI, P.: *Lehrbuch der Mineralogie*. Berlin: Gebrüder Bornträger 1920.
- PATERSON, M. S., and L. E. WEISS: Symmetry concepts in structural analysis of deformed rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.* **72**, 841—882 (1961).
- SANDER, B.: *Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper, Teil 2: Das Korngefüge*. Wien: Springer 1950.
- TURNER, F. J., and L. E. WEISS: *Structural analysis of metamorphic tectonites*. New York: MCGRAW-HILL 1963.
- WENK, H. R.: Gefügestudie an Quarzknuern und -lagen der Tessiner Kulmination. *Schweiz. mineral. petrog. Mitt.* **45**, 467—515 (1965a).
- Eine photographische Röntgen-Gefügeanalyse. *Schweiz. mineral. petrog. Mitt.* **45**, 517—550 (1965b).
- Die geologische Abbildung, *Verh. schweiz. naturforsch. Ges.* **145**, 98—101 (1965).

Dr. H. R. WENK

Institut für Kristallographie und Petrographie der Eidgenössischen Technischen Hochschule
CH 8006 Zürich (Schweiz), Sonneggstr. 5