

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

Band: 47 (1967)

Heft: 1: Feldspäte

Artikel: Triklinität der Alkalifeldspäte in lepontinischen Gneissen

Autor: Wenk, Hans-Rudolf E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-36937>

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: 27.01.2026

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

Triklinität der Alkalifeldspäte in lepontinischen Gneissen

Von *Hans-Rudolf E. Wenk* (Berkeley) *)

Mit 2 Textfiguren und 1 Tafel

Abstract

The obliquity of alkalifeldspars (measured as angular difference between the powder lines 131 and $1\bar{3}1$) from gneisses of the Ct. Ticino (Switzerland) has been investigated. The data obtained for average K-feldspar fractions of rock specimens vary from strictly monoclinic to maximally triclinic. There are no structurally intermediate feldspars with sharp powder lines.

In the central part of the Ticino region all alkalifeldspars attained monoclinic symmetry during the alpine metamorphism. The temperatures have probably exceeded 500°C , for the rocks were formed in the stability field of the parageneses calcite-forsterite and calcite-diopside. The inversion triclinic \rightarrow monoclinic is likely to depend upon temperature pressure and mineralogical association.

By energy increase due to metamorphism the Al/Si distribution in the crystals became partly ordered on cooling. In the Central Alps this ordering process monocline \rightarrow triclinic is supposed to be influenced mainly by the following factors:

1. An elevated *temperature* still below the inversion triclinic/monoclinic favours the ordering process.
2. *H_2O -pressure*: it is approximately proportional to the tectonic depth: The alkalifeldspars of some tectonically higher gneiss complexes, e. g. Verzasca, Matorello, Cocco, remained monoclinic, whereas they became triclinic in the deeper regions such as Leventina, Antigorio, Verampio.
3. *CO_2 -pressure*: crystals from marbles often show monoclinic symmetry.
4. *Mechanical energy*: induced by *shearing stress*.
5. The triclinization may also be influenced by the *cooling velocity*. Strong temperature/time gradients tend to preserve monoclinic symmetry.

By these processes which were active mainly in the lower and in the marginal parts of the alpine metamorphic belt the feldspars became perfectly ordered.

*) University of California, Dept. of Geology and Geophysics, Berkeley, Calif.

Thus the degree of triclinicity cannot serve as a geothermometer. In the Central Alps it mainly represents an image of the amount of ordering energy.

It does not seem to give information on geochemical equilibria but on the kinetics of the ordering process.

1. EINLEITUNG

Die Feldspäte eignen sich dank ihrer auf pT-Änderungen empfindlichen Struktur vorzüglich, um in Kristallingebieten physikalische Parameter abzubilden. So wurden auf Grund von Laboruntersuchungen schon zahlreiche Zustandsdiagramme aufgestellt, die einerseits die Struktur (BARTH 1959, 1965, HEIER 1957, LAVES 1952), andererseits die chemische Zusammensetzung betreffen (z. B. BARTH 1956, 1962) und die geeignete Grundlagen für geologische Thermometer darstellen sollten. Teilweise trifft dies auch zu: so spiegelt der Anorthitgehalt von Plagioklas in calciumüberschüssiger Paragenese hauptsächlich den Metamorphosegrad wider. In andern Fällen erweist sich die Übertragung von Labordaten auf die natürlichen Verhältnisse hingegen als zweifelhaft, z. B. dort, wo geologische Zeiten zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes erforderlich sind. Die Feldspäte sind gegenüber Druck- und Temperatureinflüssen sehr träge, so dass selbst in der Natur oft nur metastabiles Gleichgewicht vorliegt und die Struktur des Kristalls dem physikalisch-chemischen Zustand der Umgebung nachhinkt. Aus diesem Grunde eignet sich die mineralogische Untersuchung der Feldspäte nicht nur, um eine geologische Region exakter zu beschreiben, sondern sie erlaubt auch bedeutungsvolle Rückschlüsse für die strukturelle Kristallographie, wenn sie in einem Gebiet mit gut bekannten Metamorphose-Verhältnissen vorgenommen wird. Auch statistischen strukturellen Untersuchungen wird mehr Gewicht zukommen, wenn sie nicht an „Feldspäten aus aller Welt“, sondern an geologisch definiertem Material vorgenommen werden.

Das Gebiet der lepontinischen Gneissregion (E. WENK 1956) bot sich als geeignetes Untersuchungsobjekt an, da hier noch im Tertiär starke Gradienten herrschten, welche sich im petrographischen Charakter der Region widerspiegeln. Weite Gebiete bestehen aus Gneissen von granitischer bis quarzdioritischer Zusammensetzung (Kerngneisse von Verampio, Antigorio, Maggia, Leventina, Verzasca), die Randpartien aus Migmatiten, vielfach mit Schollenbildung. Zu Beginn des Jahrhunderts wurde versucht, die geologischen Erscheinungen mit der damals modernen Deckentheorie zu erklären (vgl. ARGAND 1909, 1911, HEIM 1922,

STAUB 1924), wobei aber Widersprüche auftauchten (P. NIGGLI et al. 1935). Schon PREISWERK (1907, 1924), GRUBENMANN (1910) und GUTZWILLER (1912, 1914) massen der Injektion granitoiden Materials eine besondere Bedeutung bei. Eine breitangelegte Untersuchung des Leventina-Gneisses durch CASASOPRA (1939) bestätigte das Vorkommen migmatitischer Bildungen in diesem Kerngneiss, dieser Autor führte sie aber auf prätriadische Vorgänge zurück. Erst die Anwendung gefügeanalytischer Methoden brachte weitere Fortschritte und sichere Daten: E. WENK (1943, 1953, 1955) zeigte anhand seiner Strukturkarte der Tessiner Alpen, dass die Lineationen und die Kristallisation im ganzen Gebiet jung sind und weitgehend unabhängig von den Strukturen der Überschiebungsdecken; die Untersuchung der Korngefüge (z. B. TROMMSDORFF 1964, TROMMSDORFF et al. 1965, E. WENK 1943, H.-R. WENK 1965) lieferte weitere Argumente für die alpine Rekristallisation der meisten Gesteine.

Die späteren mineralparagenetischen Studien (BEARTH 1962, E. NIGGLI 1960, 1965, TROMMSDORFF 1967, E. WENK 1962) bestätigten die Hypothese stark erhöhter Temperatur im Bereich des zentralen Tessins während der Hauptkristallisation¹⁾. Die Untersuchungen wurden stets an *Paragesteinen* und Ophiolithen durchgeführt, ergaben also vor allem Hinweise auf die Wirkungen, weniger auf die Ursachen der Metamorphose. Den aktiven Faktor bilden die *Orthogesteine*²⁾, und um die Hintergründe der lepontinischen Neukristallisation zu erkennen, bedarf es eines genauen Studiums der Gneisse. Isotopen-Altersbestimmungen an Glimmern (Rb/Sr) ergaben 24 Mio. y. im Osten (Bergell) und 12 Mio. y. im Westen (Verampio) (JÄGER 1965), was auf von E nach W fortschreitende

¹⁾ Wir benutzen hier die in der regionalen Literatur gebräuchliche Interpretation der Zonen von Anatexis und Migmatitbildung, Indexmineralien, An-Gehalte von Plagioklas als Isothermen, würden aber vorschlagen, dafür vorsichtig eine neue, integrale Größe, etwa die „metamorphe Reaktivität“ einzuführen, die neben der Temperatur auch Druck, Stress, Migrationsfähigkeit, Zustand der Intergranularen — alles wichtige, physikalisch noch nicht sicher fassbare Elemente der Metamorphose — berücksichtigt. Damit müsste wenigstens vorläufig die Vorstellung vom Wärmedom (E. WENK, 1948, 1962) aufgegeben werden, wodurch die Deutung verschiedener Erscheinungen (z. B. der überkippten und sehr steilen Isograde, mancher Altersdaten und der von der Granitisation weitgehend unabhängigen Klüftung im Bergeller Massiv) erleichtert würde. An die Stelle des Wärmedoms würde eine alpine „Kulmination erhöhter Reaktivität“ treten. Die Begriffe Temperatur und Wärme seien also in dieser Arbeit nicht als physikalisch exakte Größen, sondern in diesem allgemeineren Sinn aufzufassen.

²⁾ Unter Orthogesteinen seien hier nicht Intrusivgesteine verstanden, sondern ganz allgemein Phasen erhöhter Mobilität: Kerngneisse, Anatexite, Migmatite, Injektionsgneisse.

Erosion zurückgeführt wurde (JÄGER 1965), aber auch als relative Wanderung des Wärmeherdes von E nach W oder mit der Form eines unterliegenden Batholithen, des „Wärmereservoirs“ gedeutet werden kann, wobei letztere Auffassungen durch die sehr steilen, z. T. überkippten Isograde im Simplongebiet bestärkt wird (E. WENK 1966). U/Pb-Bestimmungen an Zirkonen (GRÜNENFELDER et al. 1964) ergaben Mischalter mit einem grossen Anteil an jungen Kristallen. Jedenfalls ist das Gestein im Miocaen durch und durch rekristallisiert und neu gebildet worden. Relikte von älteren Stadien sind selten. An dieser Stelle seien vor allem kristallographische Kriterien für die physikalisch-chemischen Parameter während der Gebirgsbildung gesucht.

Der Chemismus der Gneisse ist ähnlich. Die mineralogische Zusammensetzung ist Quarz, Biotit, ± Muskowit, Plagioklas (An 0—40%), ± Alkalifeldspat mit wechselnden Mengenverhältnissen; untergeordnet finden sich stellenweise Titanit, Zirkon, Hornblende und Pyroxen. Biotit erwies sich für pT-Bedingungen als unempfindlicher Indikator (E. WENK et al. 1964). Bei Quarz wurde bislang das Spurengleichgewicht Si/Al, H nur in den heterogenen Kluftquarzen geprüft (BAMBAUER et al. 1962); es dürfte bei den Gesteinsquarzen zu sehr aufschlussreichen Ergebnissen führen. Wir wählten die Koexistenz Alkalifeldspat-Plagioklas, welche von BARTH (1956, 1962) als geologisches Thermometer vorgeschlagen wurde, bisher indessen wenig Anwendung fand (z. B. HEIER 1962). Gleichzeitig mit der chemischen Zusammensetzung wird die Struktur der Feldspatphasen untersucht. Zunächst geben wir eine Übersicht über die Triklinitäten der Alkalifeldspäte, ermittelt aus Pulverdiagrammen, weiterhin sind an demselben Material auch Einkristalluntersuchungen und optische Messungen vorgesehen.

2. DIE TRIKLINITÄT DER ALKALIFELDSPÄTE

Der Abstand der Pulverlinien $131/\bar{1}\bar{3}1$ wurde als Obliquität, Triklinizität oder Triklinität in die Feldspatforschung eingeführt (vgl. GOLDSMITH et al. 1954). Die Triklinität beschreibt die Struktur des Feldspats, vor allem den Gitterwinkel γ , und charakterisiert die monokline oder trikline Symmetrie des Kristalls. Diese Angabe erweist sich in der Praxis als tauglicher Indikator, der leicht zu bestimmen ist und die Struktur in einer für die empirische Forschung zweckmässigen Form wiedergibt.

Mikroklin (der trikline Kalifeldspat) wandelt sich beim Erhitzen über ca. 500°C in eine monokline Phase (Sanidin) um. Dies wurde von BARTH

(1934) als Übergang von geordneter Al/Si-Verteilung (Mikroklin) zu statistischer (Sanidin) gedeutet. Der Mechanismus des Ordnungsprozesses ist noch nicht geklärt; es stehen sich die Auffassungen der Physiko-Chemiker, der Struktur-Kristallographen und der Mineralogen gegenüber. Die verschiedenen Theorien und Nomenklaturen sind für uns im Hinblick auf die geologische Interpretation von Bedeutung und seien deshalb kurz rekapituliert.

a) *Verzwilligungstheorie von LAVES.* LAVES (1950, 1952) und GOLDSMITH et al. (1954) unterscheiden die zwei Phasen Sanidin (monoklin) und Mikroklin (triklin). Mikroklin ist generell aus Sanidin entstanden durch nachträgliche Gitterverzwilligung. Orthoklas, der morphologisch, optisch und röntgenographisch (bezüglich des Grundgitters) monokline Alkalifeldspat, zeichnet sich nach LAVES durch submikroskopische Zwillingssdomänen aus und ist demnach kein Einkristall, sondern ein Domänengefüge. Ein derartiges Aggregat von triklinen Zellen könnte nun — im gesamten betrachtet — monokline Symmetrie zeigen.

b) *Strukturänderung beim Ordnungsvorgang.* Die Strukturbestimmungen an Alkalifeldspäten (TAYLOR 1933, COLE et al. 1949, BAYLEY et al. 1955, BROWN et al. 1964, vgl. dazu TAYLOR 1962) zeigen, dass der Al/Si-Ordnungsgrad die Zellabmessungen beeinflusst. TAYLOR unterscheidet zwei monokline Phasen, Sanidin und Orthoklas, die sich durch abweichende Al/Si-Ordnung unterscheiden. Bei stärkerer Ordnung wird das Gitter triklin.

c) *Die petrologische Nomenklatur.* Die mineralogische Nomenklatur, die auf empirischen Betrachtungen an natürlichem Material beruht, stimmt im wesentlichen mit TAYLORS Gebrauch der Feldspatnamen überein. Sie ist auch für unsere Arbeit die zweckmäßigste: Wir verwenden Namen, ohne damit detaillierte Angaben über die Struktur zu machen. *Sanidin* ist ein vulkanischer, gläserner Kalifeldspat mit streng monokliner Symmetrie und optischem Achsenwinkel $2V_\alpha = 0—50^\circ$ (vgl. DEER et al. 1963). Mit *Orthoklas* bezeichnen wir den meist trüben monoklinen Kalifeldspat aus Metamorphiten und Plutoniten, der sich durch mittleren bis grossen Achsenwinkel auszeichnet ($2V_\alpha = 40—100^\circ$). *Mikroklin* ist der trikline Kalifeldspat mit Gitterwinkel γ je nach Ordnungsgrad zwischen $87,7^\circ$ und nahezu 90° .

Die Triklinität — gleichgültig, welche Ansicht über die Struktur man vertritt — als petrologischen Indikator zu verwenden, ist nicht neu (vgl.

z. B. BORDET et al. 1965, DIETRICH 1961, 1962, GUITARD et al. 1960, MARFUNIN 1962, RAO 1960, SMITHSON 1962). DIETRICH (1962) konnte empirisch verschiedenen Gesteinen typische Triklinitäten zuordnen, ohne damit allerdings die physiko-chemischen Ursachen des Ordnungsvorgangs zu deuten. Wir hoffen mit unserer Untersuchung, die sich auf ein eng begrenztes, gut bekanntes Gebiet beschränkt und nur ähnliche Paragenesen betrachtet, wenigstens einige Hinweise geben zu können.

3. DIE PROBEN

Die untersuchten Gesteine wurden im Gebiet des Lepontins und in seinem Rahmen gesammelt. Ein genaues Fundortverzeichnis soll später, zusammen mit den chemischen Daten publiziert werden. Die ungefähren Lokalitäten können Tafel I entnommen werden.

Ein guter Teil der Proben stammt aus der petrographischen Sammlung der Universität Basel (A. Günthert, J. Hunziker, A. Spicher, E. Wenk); zur Verfügung stand ebenfalls das Belegmaterial der Originalproben, an welchen physikalische Konstanten bestimmt wurden (H.-R. WENK 1967). Insgesamt wurden rund 300 Alkalifeldspäte, zum Teil als Einkristalle, grösstenteils jedoch als Kornfraktionen untersucht.

Die Fundorte (vgl. Tafel I) sind teilweise lokal gehäuft (z. B. V. Verzasca, Maggia-Lappen), was ermöglichte, über einige bezüglich der Triklinität besonders interessante Gebiete statistische Aussagen machen zu können. Das Probenraster soll später über das ganze Lepontin verfeinert werden, obwohl dadurch das allgemeine Bild kaum wesentlich verändert werden dürfte. In Aussicht steht auch eine Detailuntersuchung des Gebietes Leventina-Verzasca, welche im Zusammenhang mit Kartierungsarbeiten durchgeführt wird.

Die hier bearbeiteten Ausgangsproben stammen ausnahmslos aus Gneissen, vorwiegend aus granitischen bis quarzdioritischen Kerngneissen, da Paragesteine und basische Typen (Ausnahme Cocco-Hornblendegranodiorit) nur sehr untergeordnet Alkalifeldspat führen. Das chemische System ist überall ähnlich. Wir schliessen damit Einflüsse des chemischen Milieus auf den Ordnungsmechanismus im speziellen Fall weitgehend aus. Bei den Mineralien der Kerngneisse (vielleicht abgesehen von Migmatiten) darf eine bessere Annäherung an chemisches Gleichgewicht des gesamten Systems, nicht unbedingt der Einzelkomponenten, angenommen werden, als bei den sehr grossen Kristallen der heterogenen Pegmatite. Das Material liegt in verschiedener Form vor:

a) *Einkristalle.* Waren grössere, gut ausgebildete Kristalle mit Spaltflächen erhältlich, so wurden diese direkt untersucht. Die Proben stammen vorwiegend aus pegmatoiden Mobilisaten, Pegmatiten, z. T. aus Porphyroblasten von Augengneissen und Graniten. Besonders im letzteren Fall waren die Feldspäte stark perthitisch, teilweise konnten Alkalifeldspat und Plagioklas im Pulverdiagramm nicht sicher auseinandergehalten werden. Ausserdem erwiesen sich die Feldspäte als sehr heterogen. Um gültige Aussagen zu machen, müssen statistisch mehrere Stellen an demselben Kristall und im Handstückbereich geprüft werden.

b) *Kornfraktionen.* Einen viel besseren und für ein Gestein statistisch signifikanten Querschnitt geben Kornfraktionen. Der Arbeitsaufwand für eine Mineralseparation ist dabei geringer als das Herstellen zahlreicher Röntgenaufnahmen von Einkristallen. Eine einzige Pulveraufnahme genügt. Sie liefert bei der Verwendung von 20—50 Körnern einen repräsentativen Durchschnitt für das ganze Gestein.

Zum technischen Vorgehen: ca. 5 cm³ einer homogenen Gesteinspartie werden gemahlen und die Fraktion 0,2—0,5 mm ausgesiebt (vgl. auch WÜTHRICH 1965). Auf dem Magnetscheider werden die mafitischen Gemengteile (hauptsächlich Biotit, Muskowit, Hornblende) abgetrennt, übrig bleibt eine praktisch reine Quarz-Feldspatanreicherung. Durch Schweretrennung (Acetylentetrabromid + Dimethylsulfoxid) wird in Quarz + Plagioklas und Alkalifeldspat geschieden, was in den meisten Fällen quantitativ gelingt. Vorläufig wurde darauf verzichtet, die Quarz-Plagioklasfraktion auf dem Schütteltisch weiter aufzuspalten. Bei den kleinen benötigten Probenmengen erweist sich hier das Trennen unter dem Binokular als rationeller.

Aus Pulveraufnahmen (Guinier-Kamera, System Jagodzinski, Cu- und Fe-Strahlung) wurde als Mass der Triklinität der Abstand der Linien 131/131 gemessen. Als Eichsubstanz, welche aber beim Auswerten nicht verwendet zu werden brauchte, war jeweils Si beigemischt. Wie später diskutiert wird, wechselt die Triklinität von monoklin bis maximal triklin bei stark wechselndem Linienprofil.

4. ERGEBNISSE

Stellt man die Messresultate regional dar, so ergibt sich eine erstaunlich regelhafte Verteilung, die zwar überall ab und zu von Ausnahmen durchbrochen wird (dies im Gegensatz zu den mineralparagenetischen Verteilungsanalysen). Im allgemeinen sind charakteristische Triklinitäten an bestimmte tektonische Einheiten gebunden. Dies ermöglicht, besonders den zentralen Teil des Lepontins auf Grund physikalisch-

chemischer Daten zu gliedern. Das Gebiet ist nach den bisherigen petrologischen Unterlagen bezüglich der physikalischen und mineralogischen Abbildungen stets sehr einheitlich gewesen. Am übersichtlichsten ist eine Gruppierung der Messwerte nach dem geologischen Bau; in einem schematischen Längsprofil durch das Lepontin soll dabei speziell die Beziehung zu den tektonischen Einheiten zum Ausdruck kommen (vgl. Tafel I):

- a) *Rahmen der lepontinischen Tiefenzone.* Die alpin nur epimetamorphen, alten Gesteine der höheren penninischen Decken und der Zentralmassive zeigen durchwegs stark trikline Alkalifeldspäte und für Gesteinsfeldspäte ausserordentlich scharfe Linien in Pulverdiagrammen. Keine der allerdings nicht zahlreichen Proben macht davon eine Ausnahme. Quarzite aus Wallis (Weissmies) und Graubünden (Cröt, Avers) weisen die maximalsten und einheitlichsten Mikrokline auf, doch auch die Aare- und Gotthard-Granite (vgl. GRÜNENFELDER et al. 1962), die Rofna-Porphyr (sowohl gneissige als auch massive Varietäten) und die Gesteine der Tambo- und der Adula-Decke führen stark trikline Feldspäte. Ausnahmen finden sich immer in Pegmatiten und hydrothermalen Kluftkristallisaten. Es liegt nahe, die davon abweichenden Feldspatstrukturen im Tessin in Zusammenhang mit den besonderen Metamorphoseverhältnissen des Lepontins zu bringen.
- b) *Paragesteine des Zentrums.* Eine Abhängigkeit der Triklinität von der Art des Ausgangsmaterials war nirgends sicher nachzuweisen: Auch in Paragneissen ist der Alkalifeldspat alpin rekristallisiert. In Übergangszonen, etwa L. Bianco (V. Bavona) und Basodino sind wohl noch Relikte älterer Strukturzustände der Feldspäte erhalten: die Symmetrie schwankt hier zwischen monoklin und maximal triklin. Es ist jedoch schwer zu entscheiden, ob alte, trikline Feldspäte monoklinisiert oder alpine Orthoklase triklinisiert wurden.
- c) *Kerngneisskörper.* Die Triklinität der Alkalifeldspäte aus Kerngneissen ist sehr unterschiedlich. So sind die Feldspäte des Antigorio-Gneisses durchwegs stark triklin (im Vergleich zu den Rahmengesteinen sind die Pulverlinien aber immer etwas diffus), ebenso der Verampio- und der Leventina-Gneiss, wenn auch hier die Triklinität häufiger variiert. In Kornfraktionen schwankt die Triklinität in diesen Fällen immer zwischen monoklin und maximal triklin: intermediäre Stadien mit relativ scharfen Linien wurden nie beobachtet; diese konnten lediglich bei Einkristallen festgestellt werden und müssten bei guter Statistik verwischt sein. Während die Gneisse der tieferen Stockwerke Mikroklin

führen, wurde überraschenderweise in den Kerngneissen der Simano-Decke (z. B. Verzasca-Gneiss) nur monokliner Alkalifeldspat angetroffen.

d) *Injectiengneisse der „Wurzelzone“* (GUTZWILLER 1912). Sowohl im Centovalli, als auch im Gebiet Locarno-Gordemo-Bellinzona sind die Feldspäte vorwiegend triklin. Untersucht wurden allerdings häufig Ein-kristalle aus Mobilisaten; bei Verwendung von Feldspatfraktionen der Gesteine dürfte die Streuung stärker sein.

e) *Maggia-Lappen* (vgl. PREISWERK 1918, GÜNTHER 1954). Besonders gründlich wurden die Gesteine des Maggia-Lappens untersucht. Schon die ersten Messungen wiesen auf ein weiteres „monoklines Zentrum“ hin, welches recht isoliert im triklinen Raum liegt. Der Metamorphosegrad dort ist nicht extrem hoch. Die Paragenese Tremolit-Calcit deutet darauf, dass die Temperatur von 500°C kaum wesentlich überschritten wurde. Im Gebiet zwischen V. Bavona und L. Sambuco sind die meisten Proben monoklin mit schwach diffusen Reflexen. Bei Übergangsreihen im Streichen von Biotit-Zweifeldspat-Paragneiss über verschiedene Mischgneissstufen bis in granitischen Matorello-Gneiss hinein konnte nie eine statistisch signifikante Änderung der Triklinität festgestellt werden, ebensowenig an diskordanten Schollenkontakten. Die stärksten Streuungen im Triklinitätsgrad wiesen quarzreiche Zweiglimmergneisse der Hülle auf. Eine teilweise Monoklinisierung von früher stärker triklinem Material ist hier wahrscheinlich. Der Matorello-Gneiss gehört gleich wie die Cocco- und Ruscada-Gesteine, die bezüglich der Triklinität dasselbe Verhalten zeigen, zu den jungen alpinen Kernkörpern.

f) *Bergell*. Die strukturellen Eigenschaften der grossen porphyroblastischen Feldspäte des Bergeller Granits und des Augengneisses des V. Bodengo (BLATTNER 1965) schwanken im Bereich Kristall, Handstück und Aufschluss, so dass Gesetzmässigkeiten nur durch eine aufwendige Statistik belegt werden könnten. Die grossen Kalifeldspäte scheinen schon auf Grund ihres Vorkommens nicht unmittelbar mit der Hauptkristallisation in Zusammenhang zu stehen. Eine getrennte Untersuchung der „gesteinsbildenden“ kleinen Alkalifeldspäte wurde noch nicht durchgeführt. Immerhin sind auch die feinkörnigeren Tonalite (Masino) und die Granite vom Typ Novate uneinheitlich. Die Feldspäte aus den jungen granitischen und tonalitischen Gesteinen des Bergells befanden sich offenbar im Ungleichgewicht.

g) *Pegmatite*. Zum Vergleich wurden einige Feldspäte und Feldspatfraktionen aus alpinen Pegmatiten untersucht, wobei sich durchwegs

sehr starke Schwankungen auch in kleinsten Bereichen ergaben, stärker selbst als bei den sehr inhomogenen Augengneissen und den Gesteinen des Bergeller Massivs. Die Messdaten sind aus diesem Grund nicht in Tafel I aufgenommen.

h) *Adulare*. Zum weiteren Vergleich wurden einige Kluftfeldspäte aus dem Tessin miteinbezogen. Diese waren häufig sehr homogen und fast durchwegs monoklin (vgl. dazu auch NISSEN 1966) und stehen offensichtlich in keinerlei Zusammenhang zu den Gesteinsfeldspäten.

Zusammengefasst zeigen die Alkalifeldspäte aus dem Untersuchungsgebiet eine breite Variation in der Trikinität, wobei aber statistisch in einer Probe nur maximal trikline, monokline oder gemischte Phasen auftreten. Ab und zu begegnet man Proben, die von monoklin bis mittelstark triklin variieren, nie aber solchen, die zwischen zwei verschiedenen Trikinitätsgraden schwanken.

5. DISKUSSION

Ungewöhnlich an den oben beschriebenen Ergebnissen ist das häufige Auftreten von monoklinem Alkalifeldspat in regionalmetamorphen Gneissen, die zur Amphibolitfazies zu stellen sind. Unter diesen pT-Bedingungen ist offenbar der „Orthoklaszustand“ ein metastabiler oder stabiler Zustand des Kalifeldspats. Bei den Alkalifeldspäten mit variablen Trikinitäten (random disorder, CHRISTIE 1962) scheint es sich im Gegensatz dazu um instabile Übergangszustände zu handeln. Die Trikinität gibt uns demnach ein Mass für das Gleichgewicht eines Gesteins. Für strukturelle Untersuchungen wird man deshalb zweckmäßig Proben von einheitlichem Trikinitätsgrad auswählen und keine grossen Kristalle (etwa aus Pegmatiten und Graniten), da sie gegenüber den kleineren Gesteinsfeldspäten immer grosse Bereiche mit stark trikliner Symmetrie zeigen.

Die Existenz von monoklinen und maximal triklinen Kristallfraktionen und solchen mit starker Streuung und das Fehlen von solchen mit intermediärer Trikinität führt zu folgenden Überlegungen: Wird einem monoklinen Kalifeldspat eine gewisse Schwellenenergie zugeführt, so beginnt der Ordnungsprozess. Nur bei genügend langer Zufuhr verläuft dieser Vorgang vollständig, sonst ist Al/Si bloss in einem Teil der Kristalle einer Gesteinsprobe geordnet (Fig. 1). Das häufige Auftreten von „random disorder“ weist darauf hin, dass im Lepontin diese Energie-

schwelle nur teilweise und oft nur kurzfristig erreicht wurde. Für den Ordnungsvorgang ist Energiezufuhr bei *mässiger* Temperatur notwendig. Bei *höherer* Temperatur (ca. 500°C, vgl. GOLDSMITH et al. 1954), d. h. wenn der triklin-monoklin-Umwandlungspunkt überschritten wird, entsteht wieder monokliner Kalifeldspat. Eine genetische Abfolge monoklin → triklin kann in den Gneissen des zentralen Lepontins in den meisten Fällen vermutet werden. Die monokline primäre Wachstumsphase der Feldspäte in Plutoniten und Metamorphiten ist dabei eher Orthoklas als Sanidin, der noch nirgends in kristallinen Schiefern als metamorphes Mineral nachgewiesen wurde. Der „Sanidin-Zustand“ wird vermutlich unter den vorliegenden Bedingungen während des Wachstums sehr rasch durchlaufen, so dass ein völlig ungeordneter Zustand praktisch nie besteht.

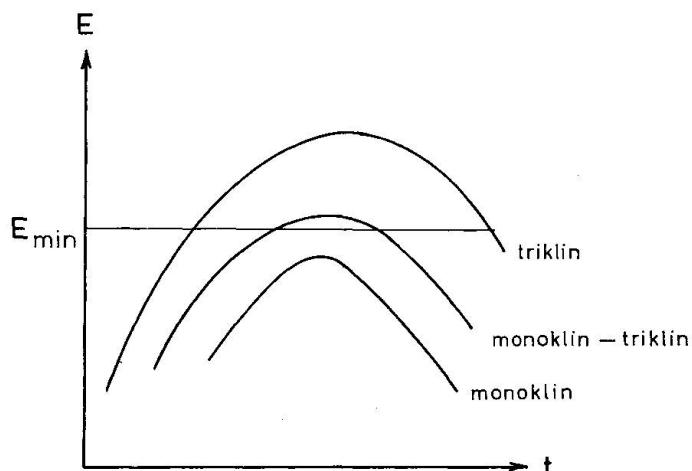


Fig. 1. Schematisches Diagramm zur Deutung der Triklinisierung von monoklinen Feldspäten in einem durch die Metamorphose bedingten Energiefeld. (E = Ordnungsenergie, E_{\min} = Schwellenenergie, t = Zeit).

Der Mechanismus des Ordnungsvorgangs ist schwer zu deuten. Die vorliegenden Untersuchungen geben jedoch Hinweise auf die *Art der notwendigen Energie*. Diese decken sich teilweise mit den Vermutungen von SMITHSON (1962).

a) *Mechanische Energie* ("shearing stress"). Mechanische Beanspruchung fördert die Triklinisierung. Alkalifeldspäte aus Mylonitzonen sind meist maximal triklin. Die Untersuchung der Alkalifeldspäte in leptonitischen Marmoren (E. WENK et al. 1966) ergab, dass die sonst *monoklinen* Kalifeldspäte in tektonisch stärker beanspruchten Zonen optisch sichtbare Kreuzgitter-Verzwilligung in bestimmten Domänen aufwei-

sen, die eindeutig auf den Einfluss von Scherung zurückgeführt werden kann. Zur gleichen Beobachtung an zerscherten Graniten kamen auch BORDET et al. (1965).

b) *Hydrostatischer Druck.* Monokline Feldspäte treten im zentralen Lepontin nur in relativ hohem mesothermalem Niveau auf (Simano, Maggia-Lappen), während sie in tieferen Bereichen triklines Verhalten zeigen, obgleich auch dort ursprünglich monokline Symmetrie angenommen werden muss³⁾. Der hydrostatische Druck ist in trockenen Systemen, wie sie die Gneisse darstellen, in regionalmetamorphen Gebieten in erster Näherung proportional zum H₂O-Druck, und möglicherweise ist dieser primär für die Triklinisierung verantwortlich.

c) *Chemisches Milieu.* Da alle Proben aus Gneissen stammen, können keine festen Aussagen über den Einfluss der chemischen Umgebung auf die Triklinisierung gemacht werden. Immerhin steht fest, dass in karbonatischem Milieu der Ordnungsvorgang sehr reduziert ist: Kalifeldspäte aus Marmoren sind oft monoklin, solche aus direkt angrenzenden Gneissen maximal triklin.

d) *Abkühlungsgeschwindigkeit.* Monokline Alkalifeldspäte entstehen oberhalb ca. 500°C als *stabile* Phasen und *metastabil* bei hydrothermalen Verhältnissen (Adular). Die Entstehung im Ungleichgewicht ist bei den lang getemperten Gneissen unwahrscheinlich. Von Einfluss auf den Trikinitätsgrad sind jedoch nicht nur die energetischen Verhältnisse, sondern auch die Zeit, während der die Energiezufuhr anhält, wobei bei mittleren Temperaturen der Ordnungsvorgang rascher verlaufen dürfte als bei sehr tiefen (z. B. Adular und autogene Sanidine). Wichtiger als Zeit- oder Temperaturverhältnisse allein ist bei metamorphen Vorgängen der Temperatur/Zeit-Gradient (dT/dt); er entspricht der Abkühlungsgeschwindigkeit. Die Gneisse der Simanodecke und besonders die des Maggia-Lappens standen in Kontakt mit dem kühlen Dach, während im tektonisch tiefen Niveau (Leventina, Antigorio, Verampio) die Temperaturdifferenzen und damit die Abkühlgeschwindigkeiten wesentlich geringer waren. Der infolge rascher Abkühlung erhalten gebliebene „Orthoklas“ könnte bezüglich der Entstehung mit einem abgeschreckten „Sanidin“ verglichen werden. Die schematische Skizze in Fig. 2 veranschaulicht, wie bei relativ rascher Abkühlung eines monoklinen Kristalls sämtliche Trikinitäten als instabile Zustände gebildet werden können.

³⁾ Davon ausgenommen sind natürlich die alpin nicht triklinisierten Kalifeldspäte der Rahmengesteine.

Während des Temperaturmaximums waren alle Alkalifeldspäte des zentralen Lepontins monoklin. Die Triklinisierung wird nach obigen Überlegungen durch zwei verschiedene Vorgänge beeinflusst: von der Abkühlungsgeschwindigkeit einerseits und der Ordnungsenergie andererseits. Ist Δ die Triklinität, so berechnet sich diese als Funktion des Temperatur/Zeit-Gradienten dT/dt und der Ordnungsenergie E , welche ihrerseits vorwiegend eine Funktion von Temperatur, H_2O -Druck, CO_2 -Druck und der mechanischen Energie sein dürfte:

$$\Delta = \frac{dT}{dt} K, \quad K = f(E) = f(E_{\text{mech}}, T, p_{H_2O}, p_{CO_2}),$$

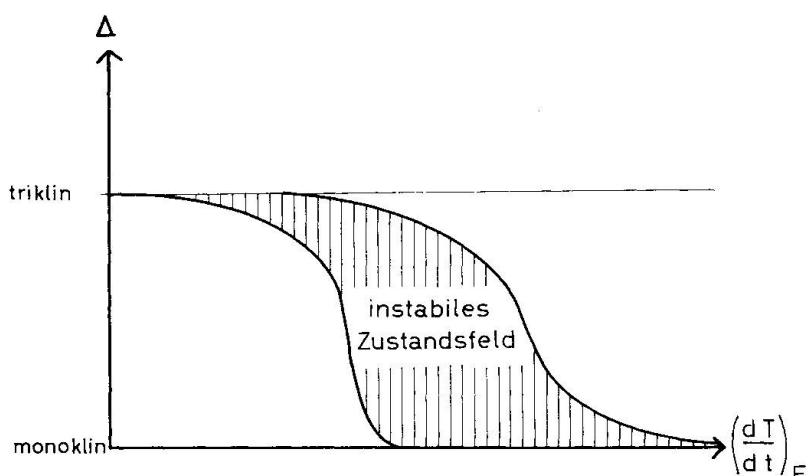


Fig. 2. Schematische Darstellung der Triklinitätsverteilung von Feldspäten in metamorphen Gesteinen als Funktion der Abkühlungsgeschwindigkeit. (Δ = Triklinität, dT/dt = Abkühlungsgeschwindigkeit.)

Die Triklinität ist demnach kein einfaches Thermometer, sondern eine komplizierte Abbildung physiko-chemischer Verhältnisse. Zwei verschiedene Phänomene — Monoklinisation und Triklinisation — beide beeinflusst durch das mineralogische und chemische Milieu und den physikalischen Zustand, kennzeichnen die Triklinität der Alkalifeldspäte im Lepontin. Im zentralen Lepontin lag das Temperaturmaximum oberhalb 500°C. Diese Temperaturen sind im gesamten Stabilitätsbereich der Diopsid und Forsterit führenden Paragenesen in Marmoren anzunehmen (METZ et al. 1965, WINKLER 1965), wenn diese Experimente auf die natürliche Umgebung übertragen werden dürfen. Die Druckabhängigkeit der triklin-monoklin-Umwandlung ist aber noch zu wenig untersucht, als dass schon genaue Temperaturangaben darüber gemacht werden könnten. Alpin monokline Feldspäte sind wohl bereits im Bereich der Tremolit-Calcit-Paragenese

möglich. Auch im Maggia-Lappen muss aber mit der Kristallisation von warmem Material in hohem Niveau gerechnet werden. In Tafel I ist das Gebiet der alpinen Monoklinisation im zentralen Lepontin versuchsweise abgegrenzt. Der Triklinitätsgrad bildet hier hauptsächlich die Höhe des Ord-nungsenergieniveaus ab. Im Rahmen des Lepontins, im Gebiet der rein triklinen Feldspäte, wurde während der alpinen Metamorphose die Temperatur von 500°C nicht überschritten, die Feldspäte konnten sich unter dem Einfluss der Metamorphose-Energie vollständig ordnen (vgl. WÜTHRICH 1965). Die ausserordentlich stark streuenden Triklinitäten in den Bergeller Feldspat-Porphyroblasten sind ein Hinweis für deren metasomatische Entstehung: es werden hier keine Tp-Verhältnisse abgebildet.

Die Resultate der strukturellen Untersuchung stimmen recht gut mit dem geologisch-tektonischen Befund überein und werden vielleicht erlauben, zur Klärung des komplexen geologischen Baues des Lepontins einfache physikalische Parameter beizuziehen. Dazu bildet die Charakterisierung der Gesteine mit exakten Strukturdaten einen ersten Schritt. Mit der regionalen Verfolgung der Triklinität der Alkalifeldspäte wurde erstmals in der Erforschung der Zentralalpen eine Abbildung gefunden, die nicht lediglich die Vorstellung des Wärmedoms bestätigt (und stets mehr oder weniger dieselben Isograde zeigt wie etwa die Verteilung von Anorthitgehalt im Plagioklas der Karbonatgesteine), sondern ein zusätzliches Datum, das zur Beschreibung des physikalisch-chemischen Zustandes der lepontinischen Gneisse beiträgt.

Im folgenden seien einige Erläuterungen zur verwendeten Nomenklatur gegeben: Wir benützten absichtlich meistens die Ausdrücke „monokliner“ oder „trikliner“ Kalifeldspat, um der Kontroverse über den Begriff „Orthoklas“ zu entgehen. Im Hinblick auf diese Arbeit erscheint es gerechtfertigt, zur klassischen Alkalifeldspat-Nomenklatur zurückzukehren: Die Existenz von monoklinen Kristallen mit Orthoklas-eigenschaften in weiter Verbreitung in Gleichgewichtsgesteinen deutet darauf hin, dass Orthoklas einen langzeitig existenzfähigen strukturellen Zustand (Al/Si-Verteilung) verkörpert (vgl. TAYLOR 1962). Inwiefern dieser röntgenographisch und optisch monokline Orthoklaszustand sub-mikroskopische Zwillingsdomänen enthält (LAVES 1950), ist damit unentschieden gelassen.

Verdankungen: Herrn Prof. T. Barth und Herrn Prof. F. Laves danke ich für wertvolle Hinweise und Anregungen, dem Mineralogischen-petrographischen Institut der Universität Basel für zahlreiche Proben aus den Sammlungen (A. Günthert, J. Hunziker, A. Spicher, E. Wenk), Dr. H. U. Nissen für Gesteinsfeldspäte aus der

Wurzelzone und einige Adularproben aus seiner reichhaltigen Sammlung, die als Vergleichsmaterial verwendet werden konnten, der ETH für die Ermöglichung von Röntgenaufnahmen, Herrn Prof. M. Grünenfelder für die Erlaubnis, in seinem Labor einen Teil der Trennarbeiten durchführen zu dürfen.

LITERATUR

SMPM = Schweiz. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

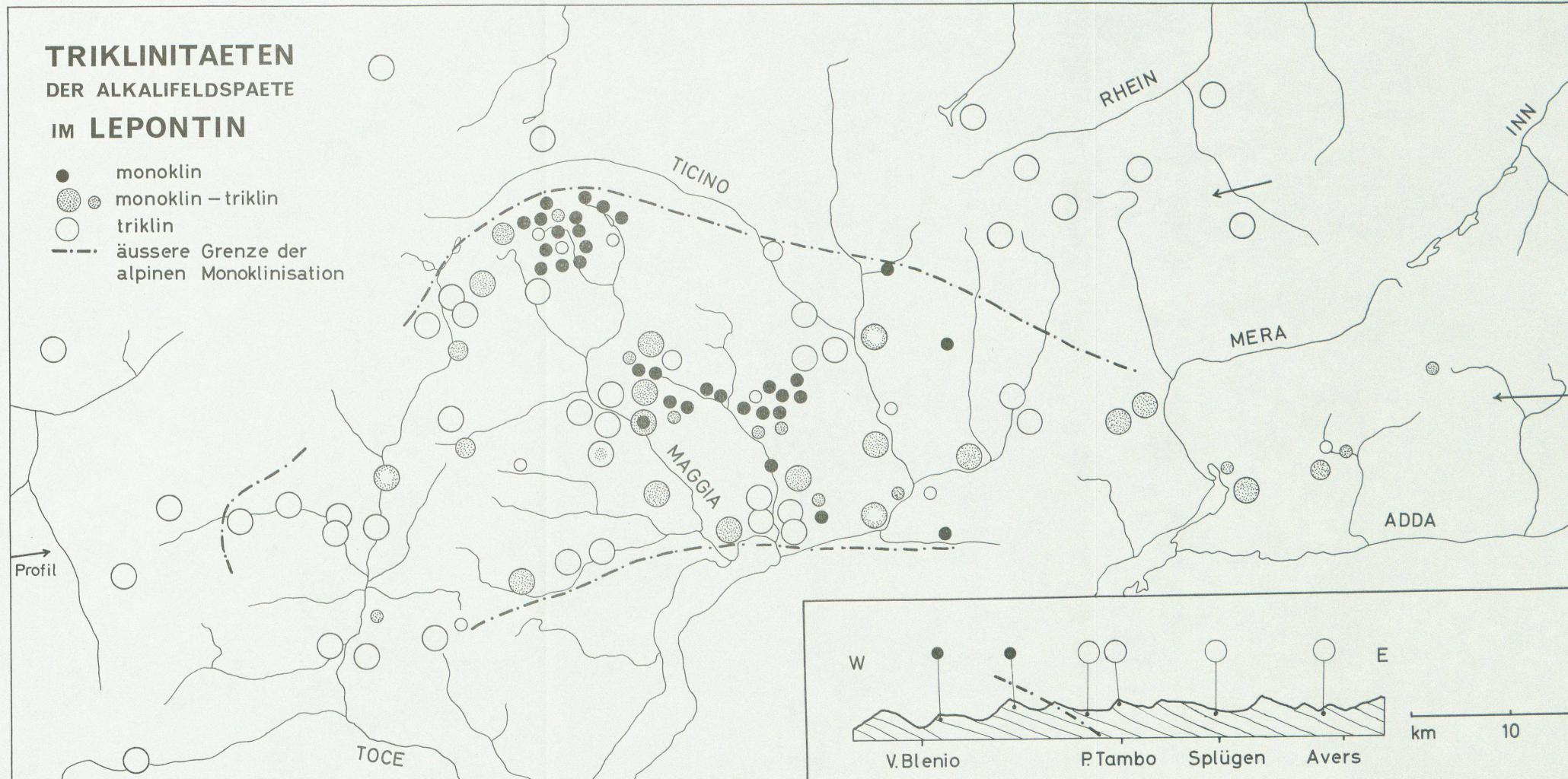
- ARGAND, E. (1909): L'exploration géologique des Alpes Pennines Centrales. Bull. Lab. Géologie, etc. Univ. Lausanne, 14.
- (1911): Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux. Matériaux carte géol. Suisse, 31.
- BAMBAUER, U., BRUNNER, G. O. und LAVES, F. (1962): Wasserstoffgehalte in Quarzen aus Zerrklüften der Schweizer Alpen und die Deutung ihrer regionalen Abhängigkeit. SMPM, 42, 221—236.
- BARTH, T. F. W. (1934): Polymorphic phenomena and crystal structures. Amer. J. Sci., 27, 273—286.
- (1956): Studies in gneiss and granite I and II. Norske Vid.-Akad. Skr., 1.
- (1959): The interrelations of the structural variants of the potash feldspars. Z. Krist., 112, 263—274.
- (1962): The feldspar geologic thermometers. Norsk geol. Tidsskr., 42 (feldspar volume), 330—339.
- (1965): On the Constitution of the Alkali Feldspars. Tschermaks mineral. petrogr. Mitt., 3. F., 10, 14—33.
- BAYLEY, S. W. and TAYLOR, W. H. (1955): The structure of a triclinic potassium feldspar. Acta cryst., 8, 621—632.
- BEARTH, P. (1962): Versuch einer Gliederung alpinmetamorpher Serien in den Westalpen. SMPM 42, 127—137.
- BLATTNER, P. (1965): Ein anatektisches Gneissmassiv zwischen Valle Bodengo und Valle di Livo (Prov. Sondrio und Como). SMPM 45, 973—1072.
- BORDET, P. et CHAURIS, L. (1965): Triclinisme lié à une zone d'écrasement dans les feldspaths potassiques du granite de l'Aber-Ildut (Finistère). Bull. Soc. franç. Minéral. Crist., 88, 527—528.
- BROWN, B. E. and BAYLEY, S. W. (1964): The structure of maximum microcline. Acta cryst., 17, 1391—1400.
- CASASOPRA, S. (1939): Studio petrografico dello Gneiss granitico Leventina (Valle Rivera e Valle Leventina, Canton Ticino). SMPM, 19, 449—710.
- CHRISTIE, O. H. J. (1962): Observations on natural feldspars: Randomly disordered structures and a preliminary suggestion to a plagioclase thermometer. Norsk geol. Tidsskr., 42 (feldspar volume), 383—388.
- COLE, W. F., SØRUM, H. and KENNARD, O. (1949): The crystal structures of orthoclase and sanidinized orthoclase. Acta cryst., 2, 280—287.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. and ZUSSMAN, J. (1963): Rockforming-minerals. London.
- DIETRICH, R. V. (1961): Comments on the "two-feldspar geothermometer" and K-feldspar obliquity. Inst. Lucas Mallada, Cursillos y Conferencias, Fasc., 8, 15—20.

- (1962): K-feldspar structural states as petrogenetic indicators. *Norsk geol. Tidsskr.*, 42 (feldspar volume), 394—414.
- GOLDSMITH, J. R. and LAVES, F. (1954): The microcline-sanidine stability relations. *Geochim. cosmochim. Acta*, 5, 1—19.
- GRUBENMANN, U. (1910): Über einige tiefe Gneise aus den Schweizer Alpen. *C. R. Congr. géol. internat.* XI, Stockholm 1910, 625—631.
- GRÜNENFELDER, M. und GROEGLER, M. (1964): U/Pb-Zerfallsalter von Zirkonen aus Gesteinen der Alpen. Vortrag, gehalten an der 39. Hauptvers. der Schweiz. mineral. petrogr. Ges. in Zürich (unpubl.).
- GRÜNENFELDER, M. und HAFNER, S. (1962): Über das Alter und die Entstehung des Rotondogranits. *SMPM* 42, 169—207.
- GUITARD, G., RAGUIN, E. et SABATIER, G. (1960); La symétrie des feldspaths potassiques dans les gneiss et les granites des Pyrénées orientales. *Bull. Soc. franç. Minéral. Crist.*, 83, 48—56.
- GÜNTHERT, A. (1954): Beiträge zur Petrographie und Geologie des Maggia-Lappens (NW-Tessin). *SMPM*, 34, 1—159.
- GUTZWILLER, E. (1912): Injektionsgneise aus dem Kanton Tessin. *Eclogae geol. Helv.*, 12, 5—64.
- (1914): Zwei besondere Typen von Injektionsgneisen aus dem Tessin. *Centralbl. Mineral. etc.*, 11, 329—334.
- HEIER, K. S. (1957): Phase relations of potash feldspar in metamorphism. *J. Geol.*, 65, 468—479.
- (1962): Trace elements in feldspars — a review. *Norsk geol. Tidsskr.*, 42 (feldspar volume), 415—454.
- HEIM, A. (1922): Geologie der Schweiz, II, I. Tauchnitz, Leipzig.
- JÄGER, E. (1965): Rb-Sr-age determinations on minerals and rocks from the Alps. Nancy (im Druck).
- JONES, J. B. and TAYLOR, W. H. (1961): The structure of orthoclase. *Acta cryst.*, 14, 443—456.
- LAVES, F. (1950): Lattice and twinning of microcline and other potash feldspars. *J. Geol.*, 58, 548—571.
- (1952): Phase relations of the alkali feldspars. *J. Geol.*, 60, 436—450.
- MARFUNIN, A. S. (1962): Some petrological aspects of order-disorder in feldspars. *Mineral. Mag.*, 33, 298—314.
- METZ, P. und WINKLER, H. G. F. (1965): Die Forsteritbildung bei der Metamorphose quarzführender Dolomite. Vortrag Jahrestagung deutsche mineral. Ges., Hannover.
- NIGGLI, E. (1960): Mineralzonen der alpinen Metamorphose in den Schweizer Alpen. *Rep. Internat. geol. Congr.* 21. Session, Pt. 13, 132—138.
- NIGGLI, E. und NIGGLI, C. R. (1965): Karten der Verbreitung einiger Mineralien der alpidischen Metamorphose in den Schweizer Alpen (Stilpnomelan, Alkali-Amphibol, Chloritoid, Staurolith, Disthen, Sillimanit). *Eclogae geol. Helv.* 58, 335—368.
- NIGGLI, P., PREISWERK, H., GRÜTTER, O., BOSSARD, L. und KÜNDIG, E. (1936): Geologische Beschreibung der Tessiner Alpen zwischen Maggia- und Bleniotal. *Beitr. geol. Karte Schweiz. N.F.*, 71.
- NISSEN, H. U. (1966): Submikroskopische Gefüge in Feldspäten (in Vorbereitung).

- PREISWERK, H. (1907/18): Geologische Beschreibung der Leontinischen Alpen I und II. Beitr. geol. Karte Schweiz., 26.
- (1924): Der Tessinergneis. SMPM, 4, 359—360.
- RAO, S. V. L. (1960): X-ray study of potash feldspar of the contact metamorphic zones at Gjelleråsen, Oslo. Norsk geol. Tidsskr. 40, 1—12.
- SMITHSON, S. B. (1962): Symmetry relations in Alkali feldspars of some amphibolite-facies rocks from the southern Norwegian Precambrian. Norsk geol. Tidsskr., 42 (feldspar volume), 586—599.
- STAUB, R. (1924): Der Bau der Alpen. Versuch einer Synthese. Beitr. geol. Karte Schweiz. N. F., 52.
- TAYLOR, W. H. (1933): The structure of sanidine and other felspars. Z. Krist., 85, 425—442.
- (1962): The structures of the principal felspars. Norsk geol. Tidsskr., 42 (feldspar volume), 1—24.
- TROMMSDORFF, V. (1964): Gefügestudien an Calcitmarmor aus Val Prato (Tessin). SMPM, 44, 595—611.
- (1966): Progressive Metamorphose kieseliger Karbonatgesteine in den Zentralalpen zwischen Bernina und Simplon. SMPM, 46, 431—460.
- TROMMSDORFF, V. und WENK, H. R. (1965): Die Regelung des Dolomites von Crevala (Simplongruppe). Ergebnisse und Probleme. SMPM, 45, 551—569.
- WENK, E. (1943): Ergebnisse und Probleme von Gefügeuntersuchungen im Verzascatal (Tessin). SMPM, 23, 265—295.
- (1948): Ostalpines und penninisches Kristallin. SMPM, 28, 761—771.
- (1953): Prinzipielles zur geologisch-tektonischen Gliederung des Penninikums im zentralen Tessin. Eclogae geol. Helv., 46, 9—21.
- (1955): Eine Strukturkarte der Tessiner Alpen. SMPM, 35, 311—319.
- (1956): Die leontinische Gneissregion und die jungen Granite der Valle della Mera. Eclogae geol. Helv., 49, 251—265.
- (1962): Plagioklas als Indexmineral in den Zentralalpen. SMPM, 42, 139—152.
- (1966): Besonderheiten und Probleme des anatektischen Unterbaues der Alpen. Vortrag, Colloque Etages tectoniques, Neuchâtel.
- WENK, E., SCHWANDER, H., HUNZIKER, J. und STERN, W. (1963): Zur Mineralchemie von Biotit in den Tessiner Alpen. SMPM, 43, 435—463.
- WENK, E., WENK, H.-R. und SCHWANDER, H. (1966): Monokliner Kalifeldspat aus Silikatmarmor von Cevo (Val Masino) und anderen Fundpunkten der südlichen Zentralalpen. SMPM, 46, 413—420.
- WENK, H.-R. (1965): Gefügestudie an Quarzknauern und -lagen der Tessiner Kulmination. SMPM, 45, 467—515.
- (1967): Physical constants of alpine rocks (density, diffusivity, thermal conductivity, specific heat). (In Vorbereitung).
- WINKLER, H. G. F. (1965): Die Genese der metamorphen Gesteine. Springer, Berlin.
- WÜTHRICH, H. (1965): Rb-Sr-Altersbestimmungen am alpin metamorph überprägten Aarmassiv. SMPM, 45, 875—972.

Bemerkung zur Tafel

Mit der Grösse der Kreissignatur wird der Grad der Triklinität zum Ausdruck gebracht. Kleiner Kreis mit Raster bedeutet also: sämtliche Triklinitäten von monoklin bis schwach triklin.



Längsprofil durch die Zentralalpen nach E.WENK 1966

