

Gesteinsmetamorphose im Bereich der Geotraverse Basel-Chiasso

Autor(en): **Frey, M. / Jäger, E. / Niggli, E.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **56 (1976)**

Heft 3

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-43710>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Gesteinsmetamorphose im Bereich der Geotraverse Basel–Chiasso

Von *M. Frey* (Basel)*), *E. Jäger* und *E. Niggli* (Bern)**)

Abstract

The present knowledge of Alpine and pre-Alpine metamorphism along a cross section through the Central Swiss Alps, which runs approximately parallel to the Gotthard railway, is summarized. The section is well suited to study the Tertiary Lepontine metamorphic event while there exists no clear indication for the early Alpine metamorphic event along this transect. The southward increase of metamorphic grade is documented by some selected mineral zone boundaries and isograds. Geothermal gradients calculated from estimated P-T condition along the geotraverse appear to decrease from 45°C/km to 25°C/km from low to high metamorphic grade. These data conflict with recently described steep isogradic surfaces. A sketch map of a pre-Alpine metamorphic facies distribution is shown and radiometric age results relevant to the pre-Alpine metamorphic history and rock-forming events are compiled.

Die Geotraverse Basel–Chiasso führt mitten durch den von E. Wenk «Lepontin» genannten Bereich der Zentralalpen, der durch einen besonderen tektonischen Stil (Tessiner Gneisdecken) und durch den höchsten Grad der jungen, alpinen Metamorphose (Amphibolitfazies) ausgezeichnet ist. Die Traverse ist daher besonders zum Studium der *mittelteriären* Hauptphase (*lepontine* Phase) der alpinen Gesteinsumwandlung geeignet. Die *frühalpiner* (kretazische) Metamorphose ist wegen der mitteltertiären Überprägung kaum oder nur schwierig nachweisbar. Sicher nachgewiesen sind aber voralpine, paläozoische Gesteinsumwandlungen und die Bildung von voralpinen Graniten, und zwar dies sogar noch im Lepontin.

Es ist zurzeit noch nicht möglich, ein Profil zu zeichnen, das uns etwa über die dreidimensionale Verteilung von Mineralien der Metamorphose orientieren könnte; über allererste Versuche der Bestimmung der räumlichen Lage von Isograden wird weiter unten berichtet. Wir begnügten uns daher, zwei Karten zu zeichnen, die für einen Streifen ungefähr parallel zur Geraden Basel–Chiasso die uns bekannten Daten über die alpine Metamorphose und die vor-

*) Mineralogisch-Petrographisches Institut, Bernoullistrasse 30, CH-4056 Basel.

***) Mineralogisch-Petrographisches Institut, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern.

alpinen Metamorphosen und Granitbildungen wiedergeben sollen. Für die Ausarbeitung der beiden Figuren verwendeten wir ausgiebig die metamorphe Karte der Alpen (ZWART und NIGGLI, 1973).

Die Streifenachse verläuft von Brunnen nach Lugano, also nicht genau in der Traversenachse, sondern entlang der Gotthard-Route.

ALPINE METAMORPHOSE (Fig. 1)

Es zeigten sich mehrere Schwierigkeiten. Einmal sind südlich Erstfeld nur noch schmale Zonen mesozoischer Metasedimente aufgeschlossen, die uns eindeutige Aussagen über den Grad der jungen, alpinen Metamorphose erlauben; die meisten Gesteine gehören zum umgewandelten, voralpinen Grundgebirge. Zweitens sind im Bereich der Geotraverse in der helvetischen Zone nur wenige Literaturangaben zu finden; wir benutzten hier eigene, unpublizierte Daten von M. Frey und A. Breitschmid. Nach den vorhandenen radiometrischen Altersbestimmungen gehören die alpinen Neubildungen im Streifen der Fig. 1 zur mitteltertiären oder/und miozänen Phase; im Lepontin erhielt E. Jäger für die Biotite ausschliesslich Abkühlalter, die ein jüngeres Alter als die Metamorphose selbst ergaben. Für die lepontine Phase nehmen E. Jäger und J. C. Hunziker ein Alter von ca. 35–40 Mio Jahren an. Im Helvetikum dürfte die Metamorphose wenigstens teilweise jünger sein und bis ins Miozän gedauert haben (FREY et al., 1973; J. C. Hunziker, unveröffentlicht).

Die Fig. 1 zeigt das schon von manchen Autoren konstatierte ausserordentlich einfache Bild der Anordnung der Zonen der alpinen Metamorphose, wobei wir uns bemühten, nur gut belegte Grenzen (Isograden beziehungsweise Zonengrenzen) zu verwenden: Von Norden nach Süden nimmt der Grad der Metamorphose langsam zu, die Zonen legen sich in konzentrischen Streifen um den hochgradigen Kern im Lepontin. An der Insubrischen Verwerfung ist indessen ein starker Metamorphosesprung vorhanden: Auf die Amphibolitfazies folgt direkt der alpin unmetamorphe Bereich der Südalpen.

Von Brunnen bis wenig südlich Flüelen befinden wir uns nach den Illit-Kristallinitäten noch im *unmetamorphen Bereich*: für tonige Sedimente ist Kaolinit typisch. Auffällig ist ein vereinzelt Stilpnomelan-Vorkommen, gebunden an das Auftreten von Riebeckit. Der Nordrand der sich südlich anschliessenden *Anchizone* ist mit Hilfe der Illit-Kristallinitäten in tonig-mergeligen Sedimenten definiert. Die geschätzten P-T-Bedingungen sind übernommen aus der Arbeit von FREY (1975) und gelten zunächst für den Glarner Querschnitt. Innerhalb der Anchizone ist Pyrophyllit wichtig; ferner treten im Taveyannaz-Sandstein Pumpellyit (neben Prehnit und Epidot) auf (MARTINI und VUAGNAT, 1965). Stilpnomelan ist häufig. Die Südgrenze der Anchizone konnte nicht an Hand der Illit-Kristallinität festgelegt werden, da sie mitten im voralpinen

Alpines Metamorphose-Profil entlang der Schweizerischen Geotraverse

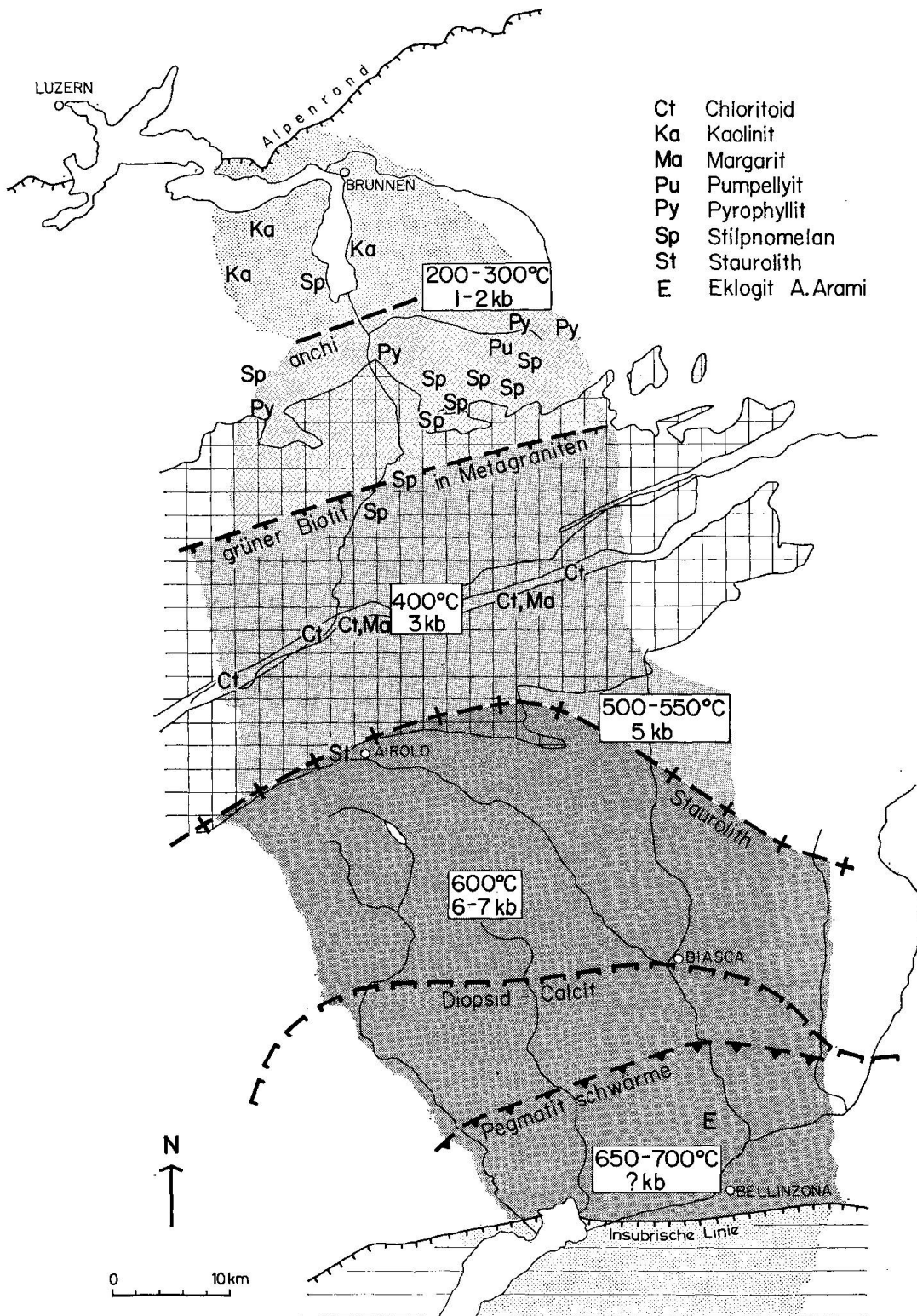


Fig. 1.

Grundgebirge des Aarmassivs liegt. Die Südgrenze des Auftretens von Stilpnomelan ist noch nicht gut bekannt; sie liegt nach JENNI (1973) und eigenen Beobachtungen südlicher als bisher angenommen. Nach STECK und BURRI (1971) kann das erste Auftreten von jungem, grünem Biotit in Graniten als Metamorphose-Indikation verwendet werden. Diese Grenze wurde in unsere Karte übernommen.

Im Bereich der alpinen *Grünschieferfazies* kommen in Metapeliten der Urseren-Zone Chloritoid sowie bei Andermatt und im Tavetsch Margarit vor. Die P-T-Abschätzung für den mittleren Teil der Grünschieferzone (in der Nähe von Andermatt) erfolgte nach Angaben in der Literatur über Temperaturen der Grünschiefermetamorphose und für den Druck nach den Angaben von POTY et al. (1974), welche mit Einschlussstudien an Kluftmineraleinen Druck am Südrand des Aarmassivs von 2,7 kb angeben. Dies ist wahrscheinlich eine untere Grenze für den Druck während der Metamorphose.

Die Grenze des Bereichs mit *Amphibolitfazies* bildet das erste Auftreten von Staurolith. Als eigentliche Isograde ist sie nur im Lukmanier-Gebiet belegt (FOX, 1975). Die P-T-Abschätzung für das Lukmanier-Gebiet ist den Arbeiten von FOX (1975) und FREY (1975) entnommen. Die Temperaturangabe gründet sich auf dem Vorkommen von Staurolith sowie dem Muskovit-Paragonit- und Magnetit-Ilmenit-Thermometer. Die Abschätzung des Druckes erfolgte nach den Angaben von ROSENFELD (in ADAMS et al., 1975) und der Koexistenz von Margarit und Staurolith, welche letztere einen minimalen Druck von 4–5 kb erfordert.

Die P-T-Angaben für das Gebiet von Pizzo Forno-Campo Tencia (südlich Airolo) basieren auf den Daten für die obere Stabilität von Paragonit-Quarz, dem Muskovit-Paragonit-Thermometer und auf Angaben für den Druck von ROSENFELD (1969; Angaben korrigiert für die neuen Isogonen in ADAMS et al., 1975). Innerhalb der Amphibolitfazies sind die Diopsid-Calcit-Isograde nach TROMMSDORFF (1966, 1972) sowie die nördliche Begrenzung des Feldes von Pegmatitschwärmen nach WENK (1970) eingezeichnet. Die Abschätzung bei Bellinzona gründet sich auf Angaben von HEITZMANN (1975) für das Gebiet westlich des Comersees; der Druck ist vorläufig nicht genauer anzugeben – er war möglicherweise kleiner als im Pizzo-Forno-Gebiet.

Es handelt sich im Lepontin um die «medium pressure amphibolite facies»; neben Staurolith ist Disthen verbreitet, im südlichen Teil kommt auch fibrolithischer Sillimanit vor, und in Quarzknuern ist auch Andalusit vorhanden. Die zeitliche Aueinanderfolge ist immer, von alt nach jung, Disthen – Sillimanit – Andalusit (THOMPSON, 1976).

Die alpine Umwandlung der Gesteine der Südalpen (südlich der insubrischen Linie) gehört wieder zum Bereich der Diagenese; das Stadium der Anchimeta-morphose ist dort nicht erreicht worden.

Berechnet man aus unseren P-T-Abschätzungen den mittleren geothermi-

schen Gradienten zur Zeit des Höhepunktes der alpinen Metamorphose, so erhält man für die nördliche Grenze der Anchizone ca. $45^{\circ}\text{C}/\text{km}$, für Andermatt ca. $37^{\circ}\text{C}/\text{km}$, für das Lukmanier-Gebiet ca. $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ und für das Pizzo-Forno-Gebiet ca. $25\text{--}30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Dies gilt natürlich nur, wenn der Druck als rein lithostatisch betrachtet wird. Zudem ist die Angabe für den Beginn der Anchizone mit grossen Unsicherheiten behaftet; für eine Gesteinsdichte von $2,7\text{ gr}/\text{cm}^3$ erhält man Extremwerte für den geothermischen Gradienten von $27\text{--}81^{\circ}\text{C}/\text{km}$! Trotzdem darf das Resultat als überraschend bezeichnet werden: Der Gradient scheint grösser in den niedriggradigen Aussenbereichen und kleiner im hochgradigen Zentralbereich zu sein, wo man das Wärmezentrum annehmen möchte!

Gerne wären wir über die räumliche Lage von Isograden orientiert. Für unseren Streifen und seine nähere Umgebung existieren zurzeit in der Literatur nur zwei solche Versuche. Fox (1975) erhielt aus der Intersektion einer Isograden (erster Biotit in sehr aluminiumreichen Metapeliten an der Basis des Lias) mit der Topographie einen Minimalwert von 35° für das heutige nördliche Einfallen dieser Grenzfläche im Lukmanier-Gebiet. THOMPSON (1976) erhielt für das mittlere Misox für den Höhepunkt der tertiären Metamorphose Winkel von $50\text{--}70^{\circ}$ zwischen einer wohl horizontalen isobaren Fläche und einer isothermalen Fläche (Staurolith-Isograde), also auch hier ein heutiges steiles Einfallen nach Norden, da die paläoisobare Fläche auch heute praktisch horizontal ist. Hierzu ist allerdings zu bemerken, dass die Paläoisobare der Mineralogie der Quarzknauer-Bildungen entnommen ist, die vielleicht jünger sind als die Entstehung der gesteinsbildenden Mineralien.

Die Ergebnisse (steile Isograden) stehen in einem schwer zu erklärenden Widerspruch zu den in Fig. 1 enthaltenen und im Text diskutierten P-T-Abschätzungen an verschiedenen Stellen unseres Streifens. Falls der geothermische Gradient tatsächlich im Norden grösser gewesen ist als im Süden, so folgt daraus, dass die Isothermen im grossen gesehen zur Zeit des Höhepunktes der Metamorphose schwach nach Süden (und nicht etwa nach Norden) einfielen, und dass sie heute, nach der postmetamorphen grossräumigen Verbiegung (im Gefolge der Hebung der Alpen) nur um weniger als 20° gekippt sein können und also *generell* mit noch weniger als 20° nach Norden einfallen sollten. Wir wissen noch keine plausible Erklärung für diese sich widersprechenden Daten; allerdings gilt es zu bedenken, dass die tertiäre Metamorphose mehrphasig war und entlang der Geotraverse wahrscheinlich nicht gleichzeitig stattfand, vgl. S. 650. Weitere Untersuchungen über die räumliche Lage von Isograden sind dringend notwendig.

Ein weiteres Problem harret noch der Lösung. Im Lepontin kommen an vielen Stellen Migmatite vor. WENK (1970) und andere Autoren nahmen an, dass, vor allem im südlichen Teil, die Migmatite alpines Alter hätten. Es gibt aber ohne Zweifel auch im Lepontin noch gut erhaltene voralpine Migmatit-

bildungen. Zur Unterscheidung sind Altersbestimmungen mit Isotopenmethoden notwendig.

Es stellt sich die Frage, ob im dargestellten Streifen ausser der mitteltertiären alpinen Metamorphose-Phase und einer eventuellen jungtertiären Phase nicht auch schon eoalpine, kretazische Gesteinsumwandlungen wirksam gewesen sind. Die starke Überprägung durch die tertiäre Phase im Lepontin erschwert das Suchen nach eventuellen Relikten. Vielleicht sind der Eklogit und der Granatperidotit der Alpe Arami (und weitere ähnliche Vorkommen in der Cima-Lunga-Serie) Zeugen einer druckbetonten frühalpiner Metamorphose. Es fehlen hier aber noch eindeutige Argumente für eine solche zeitliche Einstufung.

VORALPINE METAMORPHOSE UND GESTEINSBILDUNG (Fig. 2)

Die Ermittlung des voralpinen Metamorphosegrades in den Zentralmassiven und des Penninikums wird durch die alpine Überprägung erschwert oder sogar verunmöglicht. Das vorgranitische Altkristallin des Aar-, Gotthard- und Tavetscher Zwischenmassivs zeigt eine Amphibolitfazies unbestimmten Druckes. Einzig im östlichen Aarmassiv erlaubt das lokale Auftreten von Andalusit (EUGSTER, 1951) eine Zuordnung zur Niederdruck-Amphibolitfazies. Erwähnenswert sind die Relikte einer kaledonischen Granulitfazies im nordöstlichen Gotthardmassiv (ARNOLD, 1970a). Dieses Beispiel zeigt, dass unter günstigen Bedingungen hochmetamorphe Überreste sogar nach einer zweimaligen Überprägung (herzynische Amphibolitfazies gefolgt von einer alpinen Grünschieferfazies) erhalten geblieben sein können.

Im zentralen Lepontin hat die tertiäre alpine Metamorphose eventuelle Spuren einer früheren Metamorphose weitgehend verwischt. Aus diesem Grunde wurde in der metamorphen Fazieskarte der Alpen (ZWART und NIGGLI, 1973) der ganze Bereich innerhalb der tertiären Staurolithzone vereinfacht als monometamorph ausgeschieden. Ausserhalb des zentralen Lepontins zeigen die penninischen Decken zum Teil eindeutige Spuren voralpiner Gesteinsumwandlungen. In Fig. 2 wurde deshalb (wiederum vereinfacht) angenommen, dass zumindest alle prämesozoischen Paragesteinsserien zwischen Gotthardmassiv und Insubrischer Linie eine voralpine Metamorphose in Amphibolitfazies unbestimmten Druckes erlitten haben. Wie weit dies auch für die Orthogneise zutrifft, werden zukünftige Altersbestimmungen zeigen müssen.

Der südalpine Bereich weist teilweise eine Amphibolitfazies mittleren Druckes, teilweise eine Grünschieferfazies unbestimmten Druckes auf.

Entlang unseres Profils wurden aus der Literatur alle Altersbestimmungen zusammengestellt, die mit einiger Sicherheit interpretiert werden können. Die Rb-Sr-Gesamtgesteins-Isochronen für den Rotondo- und den Zentralen Aare-

Voralpine Metamorphose und Gesteinsbildung entlang der Schweizerischen Geotraverse

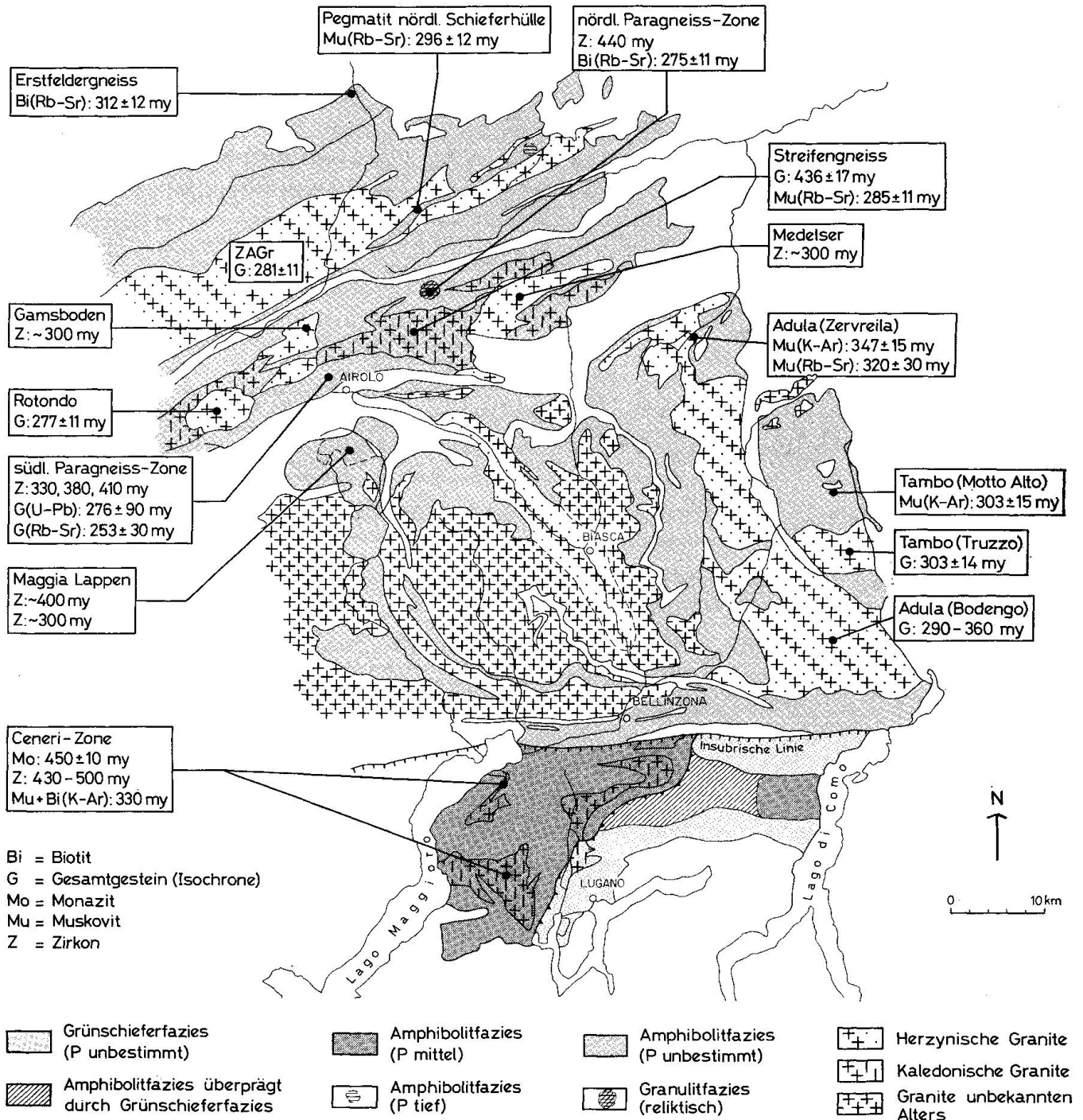


Fig. 2.

granit wurden aus den Analysendaten neu berechnet, und zwar nach der Methode von BROOKS et al. (1972), mit einer Fehlerangabe von $\pm 2 \sigma$.

Alle Rb-Sr- und K-Ar-Alter wurden auf die neuen, von der IUGS-Subcommission on Geochronology (in Vorbereitung) neu empfohlenen Halbwertszeiten umgerechnet; hier ergeben sich Änderungen von mehreren Prozenten.

Die U-Pb-Alter, bei denen diese Änderungen nur 0,8% (^{238}U - ^{206}Pb), beziehungsweise 1,3% (^{235}U - ^{207}Pb) betragen, wurden nicht umgerechnet; die U-Pb-Altersangaben würden also nur weit innerhalb des angegebenen Fehlers ändern.

Die Besprechung der Altersdaten erfolgt von Norden nach Süden.

Aarmassiv (WÜTHRICH, 1965). Der Biotitalterswert (312 ± 12 my, Rb-Sr) des *Erstfeldergneises* datiert das Ende (Abkühlung) der herzynischen Metamorphose. Der *Zentrale Aaregranit* (ZAgr in Fig. 2) wurde während herzynischer Zeit gebildet (281 ± 11 my). Der Alterswert ist allerdings nicht gut belegt, handelt es sich doch um eine 4-Punkt-Isochrone mit 3 verschiedenen Gesteinstypen (2 Zentrale Aaregranite, 1 Aplit, 1 Mittagfluhgranit). Der Muskovit eines *Pegmatites der nördlichen Schieferhülle* ergab einen Alterswert (296 ± 12 my, Rb-Sr), welcher entweder als Bildungsalter (im Zusammenhang mit der Entstehung des Zentralen Aaregranites) oder als Metamorphosealter gedeutet werden kann.

Gotthardmassiv. Zirkone aus der nördlichen *Paragneis-Zone* des nordöstlichen Gotthardmassivs erlebten nach GRAUERT und ARNOLD (1968) vor etwa 440 my einen Bleiverlust. Dieses Ergebnis wird einer hochgradigen Metamorphose (Granulitfazies) und Anatexis während der kaledonischen Orogenese zugeordnet. Ein Biotit konnte in einer ultrabasischen Scholle seinen voralpinen Alterswert bewahren (275 ± 11 my, Rb-Sr) und datiert wahrscheinlich das Ende der herzynischen Metamorphose (ARNOLD und JÄGER, 1965); eine leichte alpine Verjüngung kann allerdings nicht ausgeschlossen werden. Vom *Streifengneis* belegt eine Gesamtgesteins-Isochrone (436 ± 18 my, Rb-Sr) eine chemische Bildung während kaledonischer Zeit (ARNOLD, 1970b). Ein Muskovit eines Streifengneises aus dem Unteralpental besitzt einen Rb-Sr-Alterswert von 285 ± 11 my und datiert das Ende der herzynischen Metamorphose (ARNOLD, 1970b). Herzynische Zirkonalter vom *Gamsboden- und Medelser-Granitgneis* weisen auf eine Granitbildung vor etwa 300 my hin; ein herzynisches Geschehen wird auch für den *Fibbia-Granitgneis* wahrscheinlich gemacht (GRÜNENFELDER, 1962). Beim *Rotondogranit* handelt es sich um die jüngste herzynische Granitbildung im Gotthardmassiv (Rb-Sr-Gesamtgesteins-Isochrone von 277 ± 11 my; JÄGER und NIGGLI, 1964). Die Untersuchungen von NUNES und STEIGER (1974) an Zirkonen und Gesamtgesteinen der *südlichen Paragneis-Zone* belegen, dass die Giubineserie, der Soresciagneis und möglicherweise auch die Pratoserie eine kaledonische Metamorphose erlitten haben. Alle drei Gesteinsserien wurden auch zu herzynischer Zeit metamorph überprägt.

Penninikum. In der *Adula- und Tambo-Decke* ist eine herzynische Gesteinsbildung nachgewiesen durch Rb-Sr-Gesamtgesteins-Isochronen am Truzzogranit (GULSON, 1973) sowie an intrusiven Migmatitphasen der Valle Bodengo (HÄNNY et al., 1975); vereinzelt herzynische Muskovitalter sind ebenfalls vorhanden (HANSON et al., 1966; JÄGER et al., 1969). Im *Maggia-Lappen* weisen Untersuchungen an Zirkonen von KÖPPEL (in GÜNTHERT et al., 1976) darauf hin, dass hier sowohl eine kaledonische als auch eine herzynische Metamorphose stattgefunden hat. Vorläufige Zirkonalter deuten auf ein kaledonisches Alter eines Granitgneises der *Simano-Decke* und ein herzynisches Alter eines *Leventina-Gneises* (GRÜNENFELDER, in JÄGER et al., 1969).

Südalpen. Altersmässig gut untersucht ist die Ceneri-Zone (McDOWELL, 1970; PIDGEON et al., 1970; KÖPPEL und GRÜNENFELDER, 1971). Durch Zirkon- und Monazitalter ist eine kaledonische Granitbildung, verbunden mit einer Regionalmetamorphose in Amphibolitfazies, belegt. K-Ar-Alter an Glimmern zeigen zudem, dass auch eine herzynische Metamorphose stattgefunden hat. Erwähnenswert ist weiterhin das Minimalalter detritischer Zirkone von Paragneisen mit etwa 2500 my.

Wir danken Herrn A. Breitschmid für die Benützung von unveröffentlichten Resultaten und Herrn H.-H. Klein für die Mithilfe bei der Reinzeichnung der Figuren.

Literatur

- ADAMS, H. G., COHEN, L. H. and ROSENFELD, J. L. (1975): Solid inclusion piezothermometry: II. Geometric basis, calibration for the association quartz-garnet, and application to some pelitic schists. *Amer. Mineralogist* 60, 584–598.
- ARNOLD, A. (1970a): Die Gesteine der Region Nalps-Curnera im nordöstlichen Gotthardmassiv, ihre Metamorphose und ihre Kalksilikatfels-Einschlüsse. *Beitr. geol. Karte Schweiz N.F.* 138.
- (1970b): On the History of the Gotthard Massif (Central Alps, Switzerland). *Eclogae geol. Helv.* 63, 29–30.
- ARNOLD, A. und JÄGER, E. (1965): Rb-Sr Altersbestimmungen an Glimmern im Grenzbereich zwischen voralpinen Alterswerten und alpiner Verjüngung der Biotite. *Eclogae geol. Helv.* 58, 369–390.
- BROOKS, C., HART, S. R. and WENDT, I. (1972): Realistic Use of Two-Error Regression Treatment as Applied to Rb-Sr Data. *Rev. Geophys. Space Phys.* 10, 551–577.
- EUGSTER, H. P. (1951): Petrographische Untersuchungen im Gebiete der Val Russein (Aarmassiv-Ostende). *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 31, 1–131.
- FOX, J. S. (1975): Three-dimensional isograds from the Lukmanier Pass, Switzerland, and their tectonic significance. *Geol. Mag.* 112, 547–564.
- FREY, M. (1975): Progressive Low-Grade Metamorphism of a Black Shale Formation, Central Swiss Alps, with Special Reference to Pyrophyllite and Margarite Bearing Assemblages. *Habilschr. Univ. Bern.*

- FREY, M., HUNZIKER, J. C., ROGGWILLER, P. und SCHINDLER, C. (1973): Progressive niedriggradige Metamorphose glaukonitführender Horizonte in den helvetischen Alpen der Ostschweiz. *Contrib. Mineral. Petrol.* 39, 185–218.
- GRAUERT, B. und ARNOLD, A. (1968): Deutung diskordanter Zirkonalter der Silvretta-decke und des Gotthardmassivs (Schweizer Alpen). *Contrib. Mineral. Petrol.* 20, 34–56.
- GRÜNENFELDER, M. (1962): Mineralalter von Gesteinen aus dem Gotthardmassiv. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 42, 6–7.
- GULSON, B. L. (1973): Age Relations in the Bergell Region of the South-East Swiss Alps: With some Geochemical Comparisons. *Eclogae geol. Helv.* 66, 293–313.
- GÜNTHER, A., STERN, W. B. und SCHWANDER, H. (1976): Isochemische Granitgneisbildung im Maggia-Lappen (Leontin der Zentralalpen). Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 56, 105–143.
- HÄNNY, R., GRAUERT, B. and SOPTRAJANOVA, G. (1975): Paleozoic Migmatites Affected by High-Grade Tertiary Metamorphism in the Central Alps (Valle Bodengo, Italy). *Contrib. Mineral. Petrol.* 51, 173–196.
- HANSON, G. N., ELTAHLAWI, M. R. and WEBER, W. (1966): K-Ar and Rb-Sr ages of pegmatites in the south central Alps. *Earth and planet. Sci. Lett.* 1, 407–413.
- HEITZMANN, P. (1975): Zur Metamorphose und Tektonik im südöstlichen Teil der Leontinischen Alpen (Provincia di Como, Italia). Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 55, 467–522.
- JÄGER, E. und NIGGLI, E. (1964): Rubidium-Strontium-Isotopenanalysen an Mineralien und Gesteinen des Rotondogranites und ihre geologische Interpretation. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 44, 61–81.
- JÄGER, E., HUNZIKER, J. C., GRAUERT, B. and GRÜNENFELDER, M. (1969): Geochronology of Phanerozoic Orogenic Belts. Guide Book, Field Trips, Switzerland. Unveröffentlicht.
- JENNY, J.-P. (1973): Die Vorkommen von Bleiglanz, Kupferkies und Zinkblende des Bristenstocks (Kt. Uri). *Beitr. Geol. Schweiz. geotech. Ser.* 53.
- KÖPPEL, V. and GRÜNENFELDER, M. (1971): A Study of Inherited and Newly Formed Zircons from Paragneisses and Granitised Sediments of the Strona-Ceneri-Zone (Southern Alps). Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 51, 385–409.
- MARTINI, J. et VUAGNAT, M. (1965): Présence du facies à zéolites dans la formation des «grès» de Taveyanne (Alpes franco-suissees). Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 45, 281–293.
- MCDOWELL, F. W. (1970): Potassium-argon ages from the Ceneri zone, Southern Swiss Alps. *Contrib. Mineral. Petrol.* 28, 165–182.
- NUNES, P. D. and STEIGER, R. H. (1974): A U-Pb Zircon, and Rb-Sr and U-Th-Pb Whole-Rock Study of a Polymetamorphic Terrane in the Central Alps, Switzerland. *Contrib. Mineral. Petrol.* 47, 255–280.
- PIDGEON, R. T., KÖPPEL, V. and GRÜNENFELDER, M. (1970): U-Pb isotopic relationships in zircon suites from a para- and orthogneiss from the Ceneri zone, southern Switzerland. *Contrib. Mineral. Petrol.* 26, 1–11.
- POTY, B., STALDER, H. A. and WEISBROD, A. (1974): Fluid inclusion studies in quartz from fissures from Western and Central Alps. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 54, 717–752.
- ROSENFELD J. L. (1969): Stress effects around quartz inclusions in almandine and the piezothermometry of coexisting aluminum silicates. *Amer. J. Sci.* 267, 317–351.
- STECK, A. und BURRI G. (1971): Chemismus und Paragenesen von Granaten aus Granitgneisen der Grünschiefer- und Amphibolitfazies der Zentralalpen. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 51 534–538.

- THOMPSON, P. H. (1976): Isograd Patterns and Pressure-Temperature Distributions During Regional Metamorphism. *Contrib. Mineral. Petrol.* 57, 277–295.
- TROMMSDORFF, V. (1966): Progressive Metamorphose kieseliger Karbonatgesteine in den Zentralalpen zwischen Bernina und Simplon. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 46, 431–460.
- (1972): Change in T-X during Metamorphism of Siliceous Dolomitic Rocks of the Central Alps. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 52, 567–571.
- WENK, E. (1970): Zur Regionalmetamorphose und Ultrametamorphose im Lepontin. *Fortschr. Mineral.* 47, 34–51.
- WÜTHRICH, H. (1965): Rb-Sr-Altersbestimmungen am alpin metamorph überprägten Aarmassiv. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 45, 875–971.
- ZWART, H. J. and NIGGLI, E. (1973): Metamorphic map of the Alps, 1 : 1 000 000. Sub-Commission for the Cartography of the Metamorphic Belts of the World, Sheet 17 of the metamorphic map of Europe. Leiden/UNESCO, Paris.