

# Notizen zur Geschichte der Erforschung der Metamorphosen in den Zentralalpen

Autor(en): **Niggli, Ernst**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **66 (1986)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-50877>

## **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.

## **Notizen zur Geschichte der Erforschung der Metamorphosen in den Zentralalpen**

von *Ernst Niggli*<sup>1</sup>

### **Abstract**

The existence of post-Triassic folding in the Central Alps has been generally accepted since the beginning of the 19th century. Much discussion, however, went on until about 1920 regarding the intensity and extent of post-Triassic, so called "Alpine metamorphism". Many geologists believed that Alpine metamorphism did not produce "true crystalline schists". Modern petrologists interpret Alpine metamorphism as a polyphase event, often related to rock-deformation.

Since 1959, the application of radiometric methods to date rocks and minerals has confirmed many of the views held by petrographers on the degree and extent of Alpine metamorphism in the Central Alps. Such data provided evidence for a Cretaceous phase of Alpine metamorphism as well as permitting the detailed history of uplift and cooling of the Alpine body to be unraveled.

Some of the more recent controversies of Alpine petrography are briefly discussed (thermal doming versus tectonic burial, the extent of Alpine anatexis, etc.).

*Keywords:* metamorphism, history, Central Alps.

Die Aufgabe, eine Geschichte der Erforschung der Metamorphosen der Zentralalpen zu schreiben, erwies sich als weit komplexer und schwieriger, als der Autor zuerst dachte. Die nachstehend erläuterten «Streiflichter» sind als vorläufige Notizen zu betrachten. Eingegangen werden soll auf Modelle, Paradigmen und Kontroversen, sowie auch auf ungelöste Widersprüche. Auf drei Standortbestimmungen aus den letzten 70 Jahren sei besonders hingewiesen: Zunächst auf die magistrale Behandlung des Themas durch ALBERT HEIM in seinem Werk «Geologie der Schweiz» (1922), dann auf den Artikel von PAUL NIGGLI (1950) und schliesslich auf die Übersicht von E. WENK (1975).

Unbestritten war seit Beginn des 19. Jahrhunderts die Existenz einer jungen, posttriadischen Faltung in den Alpen; auch junge Deformationen an Gesteinen

---

<sup>1</sup> Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Bern, Baltzerstrasse 1, CH-3012 Bern.

wurden mehrfach beschrieben. Über Gesteinsumwandlungen und Metamorphosen in den Alpen dagegen gingen die Meinungen auseinander.

Schon seit 1814 war zwar die Existenz von mesozoischen Fossilien in den doch deutlich umgewandelten Bündnerschiefern des südlichen Gotthardmassivs bekannt (Funde von J. Charpentier und Lardy, siehe COLLET, 1935). T. G. BONNEY war aber noch 1885 der Meinung, dass kristalline Schiefer wohl fast immer archaisch seien. Er schrieb (BONNEY, 1888, S. 11):

“Lastly, we see that mineral change appears to have taken place more readily in the later Archaean times than it ever did afterwards. It seems then a legitimate induction that in Archaean times favourable to mineral change and molecular movement—in short to metamorphism, were general, which in later ages have become rare and local, so that, as a rule, these gneisses and schists represent the foundation stones of the earth’s crust.”

Als Albert Heim in London Bonney einen Granat-Zoisitglimmerschiefer mit einem Belemniten aus den Schweizer Alpen zeigte, war Bonney immer noch skeptisch, weil er es schwierig zu verstehen fand, dass ein Belemnit seine Form bewahrt haben könnte, obschon «molecular changes of such importance» stattgefunden hätten (gemeint ist die Kristallisation von Granat und Zoisit), «echte» kristalline Gesteine seien doch wohl auch in den Alpen vormesozoische Gesteine. So hielt er den liasischen Marmor der Urserenzone bei Andermatt nicht für jurassisch, sondern für älter (BONNEY, 1890). ALBERT HEIM (1891) glaubte zwar an eine Metamorphose der Bündnerschiefer; er schrieb aber noch 1922 (S. 854), dass posttriadische Metamorphosen aus mesozoischen und tertiären Gesteinen – zwar zonenweise auch hochkristalline schiefrige Gesteine –, aber im grossen ganzen keine echten «kristallinen Schiefer» zu schaffen vermocht hätten. Er war, im gleichen Werk auf S. 861, auch der Meinung, dass diese hochgradige Metamorphose der Bündnerschiefer, wie z. T. auch der ihnen anliegenden älteren Gesteine, nicht als Regionalmetamorphose zu bezeichnen sei, weil sie «nicht regional, sondern faltungszonal ausgebreitet ist».

Für den modernen Alpenpetrographen gibt es selbstverständlich regionale, alpine, posttriadische konstruktive Metamorphosen, die mit Dislokationen und Deformationen verknüpft sind; man kann sie auch nicht von einer «Tiefenmetamorphose» (A. HEIM, 1922), welche «echte Gneise» schafft, scharf abgrenzen. Die alpinen Metamorphosen sind keine nur «destruktiven» Gesteinsumwandlungen, sie haben sowohl Sedimente wie auch Gneise und Granite erfasst und zu echten, metamorphen Gesteinen gemacht.

Grosse Verwirrung haben in den Alpen die Begriffe «Kristallin» und «Altkristallin» gestiftet. Sie sollten nicht mehr verwendet werden, ebensowenig wie der Terminus «kristalline Schiefer». Mit Recht hat E. WENK (1975) darauf hingewiesen, dass im Lepontin nicht von «Altkristallin» gesprochen werden dürfe, da ja Mineralbestand und Gefüge zum grössten Teil alpines, d. h. posttriadisches Alter hätten. Dies gilt auch für metamorphosierte paläozoische Granite

sowie für mehrfach metamorphosierte Gneise des ehemaligen varistischen Grundgebirges. In den Alpen ist eben neues «Grundgebirge» geschaffen worden (E. WENK, 1975); es liegen nicht mehr unmetamorphe Sedimente auf einem älteren «kristallinen» Grundgebirge. Abgesehen von all diesen Überlegungen hat das Wort «kristallin» auch eine andere, eine Hauptbedeutung, nämlich die folgende: «Kristallstruktur besitzend».

Im folgenden sei auf einige Forschungen der letzten 40 Jahre eingegangen, die unser Verständnis der alpinen (= alpidischen) Metamorphose wesentlich erweitert und sicherer gemacht haben. Dabei sollen auch Kontroversen, die z. T. auch heute noch bestehen, nicht verschwiegen werden.

Als in den späten fünfziger und in den sechziger Jahren die ersten isotopengeologischen Altersbestimmungen an Gesteinen der Zentralalpen publiziert wurden (JÄGER und FAUL, 1959, dann JÄGER et al., 1967) bestätigten sich manche Voraussagen der Alpen-Petrographen über das Ausmass der alpinen Metamorphose (siehe z. B. E. NIGGLI in: J. Cadisch und E. NIGGLI, 1953).

Die Region hoher alpiner Metamorphose, wie sie aus petrographischen Untersuchungen bestimmt worden war, deckt sich mit der Region junger (tertiärer) Alterswerte, welche an Biotiten gemessen wurden. Ebenso klar bestätigte sich die Vermutung, dass in den ostalpinen Decken altes, voralpines Grundgebirge vorhanden ist (mit voralpinen Biotit-Alterswerten); auch die insubrischen Gneise brachten voralpine Mineral-Alterswerte.

Der Bavenogranit war in seinem Alter recht umstritten gewesen; die isotopengeologischen Altersbestimmungen entschieden die Frage zugunsten eines spätpaläozoischen Alters. Aber auch ganz neue Erkenntnisse wurden erarbeitet: Die Rb-Sr- und K-Ar-Alterswerte an alpinen Biotiten zeigten eine beträchtliche Variation von 10 bis 26 Mio. Jahren, wobei aber eine regelmässige regionale Anordnung ersichtlich war: die ältesten alpinen Biotite fanden sich im Bergell, die jüngsten im Simplongebiet (JÄGER et al., 1967). In der gesamten Arbeit wurden die Rb-Sr-Alter an Biotiten als Abkühlalter interpretiert und mit der Hebungs- und Abkühlungsgeschichte des Alpengebirges in Zusammenhang gebracht. Es sei hier aber mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass es KRUMMENACHER (1961) war, der als erster klar die Möglichkeit von Abkühlaltern postuliert hat, und zwar zunächst für seine K-Ar-Daten an Glimmern des Himalayas. Er hat auch nicht verfehlt, schon darauf hinzuweisen, dass auch die Alterswerte an alpinen Glimmern von E. Jäger und H. Faul Abkühlalter sein könnten. Er hat auch auf den Zusammenhang zwischen Abkühlaltern und Hebung/Erosion hingewiesen.

Für viele überraschend kamen die kretazischen Alterswerte an einigen Mineralien und Gesteinen des Wallis, der Sesiazone und Graubündens (HUNZIKER, 1969). Schon früher hatten allerdings mehrere Autoren eine vielphasige alpine Metamorphose angenommen, so besonders klar und deutlich L. VAN DER PLAS (1959). Das einfache Schema (eine kretazische Hochdruck-Metamorphose und

eine tertiäre Phase um 35–37 Mio. Jahre) liess aber einige Probleme ungelöst (siehe z. B. E. NIGGLI, 1960). So deuteten z. B. die mit verschiedenen Methoden erarbeiteten Alterswerte an Mineralien der Gesteine der Bergeller Intrusion auf ein Alter von rund 30 Mio. Jahren, d. h., die Intrusion wäre jünger als die tertiäre Metamorphose. Die Gesteine der östlichen Ausläufer (Melirolo-Tonalit) des Bergeller Körpers sind aber Gneise mit ausgeprägter Paralleltexur. Man ist gezwungen, mindestens am Südrand der Alpen eine «Post-Bergell»-Verschieferungsphase anzunehmen (siehe z. B. VOGLER und VOLL, 1981). Es sei übrigens nicht verschwiegen, dass das schon erwähnte Verbreitungsschema der Mineralalter auch als das Abbild einer von Ost nach West wandernden Metamorphose gedeutet werden könnte; die Alter wären dann Bildungsalter und nicht Abkühlalter.

In der neueren Zeit sind viele Evidenzen aufgezeigt worden, dass transportierte junge, alpine Metamorphose auch in den Alpen vorkommt, so besonders im nördlichen Teil der Zentralalpen. Höher metamorphe Gesteine können auf schwächer metamorphen Gesteinen liegen, wobei es sich aber bei beiden Gesteinsserien um alpin metamorphe Bildungen handelt (siehe z. B. E. NIGGLI, 1973, Glarner Alpen!).

Im gleichen Zeitraum (1958 bis 1970) erschienen viele Arbeiten über die mineralogische Zoneographie der alpinen Metamorphose der Zentralalpen (z. B. E. NIGGLI, 1960; E. und C. NIGGLI, 1965; E. WENK, 1962 und V. TROMMSDORFF, 1966). Paul Niggli schrieb noch 1924 (in GRUBENMANN und P. NIGGLI, 1924, p. 484):

«Um je genauer man eine geologische Einheit petrographisch untersucht, um so variabler wird von Ort zu Ort das Bild. Es ist sicherlich kein Zufall, dass in den petrographisch gut untersuchten Alpen von durchgehenden Zonen, wie sie anderswo noch angenommen werden, keine Rede ist. Es stellt sich bei eingehender Spezialuntersuchung immer eine Gliederung heraus, die sogar Feinheiten im tektonischen Aufbau wiedergibt.»

Die Petrographen waren lange sehr beeindruckt von der enormen tektonischen Komplexität der Alpen und von der Existenz der zahlreichen Decken, Schuppen und Schüppchen. Sie hielten das Aufsuchen einfacher regionaler Verbreitungsschemata nicht für forschungswürdig. Selektive Metamorphose war ferner damals ein beliebtes Schlagwort. E. NIGGLI (1960) versuchte trotzdem, eine Karte der Zonen der alpinen Metamorphose der Zentralalpen zu entwerfen. Der erste, der für eine kleine Region eine solche Karte der Verbreitung alpiner Metamorphose publizierte, war übrigens P. BEARTH (1958). E. Niggli schloss aus seinen Befunden, dass die Hauptphase der alpinen Mineralbildung nach dem Haupt-Zusammenschub des Alpenkörpers stattfand, d. h., dass die junge, alpine Metamorphose im wesentlichen eine Folge tektonischer Versenkung war. Der Grad der Metamorphose widerspiegelt die Tiefe der Versenkung. Diese Hypothese kann auch die Existenz einer eoalpinen Hochdruckme-

tamorphose erklären: bei einer raschen tektonischen Versenkung steigt natürlich zunächst nur der Druck rasch an, während der Temperaturanstieg in den tektonisch tief versenkten Teilen nur sehr langsam erfolgen wird. Offen bleibt die Frage, ob die eoalpine Phase nicht die Folge einer eoalpinen Subduktion sei, die von der Haupt-Deckenbildung abzutrennen ist.

E. WENK (siehe z. B. 1975) glaubt eher an die Existenz eines Wärmedoms, der nach der Hauptphase des Zusammenschubs wirksam war. Die Frage kann im Prinzip durch Schätzungen der P-T-Bedingungen bei der Mineralbildung gelöst werden.

Kontrovers ist ferner das Ausmass der alpinen Migmatit-Bildung im heute aufgeschlossenen Bereich. Unbestritten ist, dass die alpine Metamorphose den Grad der Amphibolitfazies erreicht hat. E. WENK (1975) ist der Meinung, dass Aufschmelzungsphänomene im heute aufgeschlossenen Teil der Alpen recht häufig sind: P. NIGGLI (1950) und E. NIGGLI (1953) sind da eher skeptisch. Auch das Alter der Bildung der granitischen und quarzdioritischen Körper von Matorello, Alpigia und Cocco ist umstritten; sind es alpine, z. T. noch vergneiste Intrusionen oder alpinmetamorphe alte Intrusiva? Die Altersbestimmungen an Zirkonen sprechen für voralpines Alter. E. WENK (z. B. 1975) spricht gerne von «alpinen Gneisen». Heute sind wohl alle Petrographen der Meinung, dass die von E. Wenk so apostrophierten Gesteine tatsächlich alpin fast vollständig umkristallisiert sind (oft mit Ausnahme der Zirkone), d. h. also in diesem Sinne alpine Gneise sind. Das Ausmass eventueller alpiner Granitisierungsphänomene ist aber sehr umstritten.

E. WENK (1962) hat 1956 den Begriff «lepontinische Gneissregion» geprägt. es ist also das «Lepontin» eine Region, die durch eine hohe alpine Metamorphose und eine typische Art der Gesteinsdeformation charakterisiert ist. Leider verwenden nun viele andere das Adjektiv «lepontinisch» oder lepontisch» auch in Begriffen wie «lepontische Metamorphosephase» und meinen damit alle Phänomene der tertiären Metamorphose der Alpen, auch weit ausserhalb der lepontinischen Gneissregion. Der Autor des vorliegenden Referates hält dies nicht für richtig. Das Lepontin ist als Region mit typischen petrographischen Charakteristiken definiert und nicht als Metamorphose-Phase. Im übrigen sei darauf hingewiesen, dass auch in der lepontinischen Gneissregion eoalpine Mineralrelikte vorkommen.

Die Vielphasigkeit der alpinen Metamorphose erschwert natürlich heute das Erstellen von Karten der Zoneographie der alpinen Metamorphose. Es muss notwendigerweise zwischen Mineralien der eoalpinen, kretazischen Phase und der tertiären Metamorphosephasen unterschieden werden. Im gleichen Gestein können Relikte aller Phasen vorhanden sein.

E. WENK (siehe z. B. 1975) hat schon in den dreissiger Jahren die Wichtigkeit strukturgeologischer Untersuchungen erkannt; einige grundlegende Erkenntnisse verdanken wir natürlich ALBERT HEIM (1922). Es ist heute selbstverständ-



lich geworden, sowohl das Gefüge wie den Mineralbestand metamorpher Gesteine eingehend zu untersuchen und die Phasen der Deformation der Gesteine mit den Phasen der Mineralbildung zu korrelieren.

Auf die neueren Forschungen über Gesteinsdeformationen in den Alpen (z. B. von G. VOLL und Mitarbeitern und von J. RAMSAY und Mitarbeitern) sei hier nicht eingegangen. Bedeutende Impulse geben der Forschung heute Arbeiten auf dem Gebiete der Erforschung der Fluid-Einschüsse, z. B. von H. A. STALDER, J. MULLIS, I. MERCOLLI und anderen. Die Elektronen-Mikrosonde gibt Einblick in die P-T-Geschichte der Gesteine der Alpen.

Es stehen heute viele moderne Methoden zur Verfügung. Es ist nun meines Erachtens wünschenswert, ja notwendig, dass die Spezialisten der Isotopengeochemie, der Phasenpetrologie, der Fluidforschung, der Strukturgeologie, der Spurengeochemie usw. eng zusammenarbeiten, und zwar, wenn möglich, schon bei der gemeinsamen Probenahme und vor allem bei der abschliessenden gemeinsamen Diskussion der Daten und deren Interpretation, über die Grenzen der Spezialisierung und über die Grenzen der Institute hinaus.

#### Literaturverzeichnis

SMPM = Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.

- BEARTH, P. (1958): Über einen Wechsel der Mineralfazies in der Wurzelzone des Penninikums. SMPM 38, 363-373.
- BONNEY, T. G. (1888): The foundation stones of the earth's crust, an evening discourse. British Association, London.
- BONNEY, T. G. (1890): On the cristalline schists and their relation to the mesozoic rocks in the Lepontine Alps. Quart. J. of the Geol. Soc., London.
- CADISCH, J. und NIGGLI, E. (1953): Geologie der Schweizer Alpen, 2. Auflage. Wepf, Basel.
- COLLET, L. W. (1935): The structure of the Alps. Second edition. Arnold, London.
- ESCHER, B. G. (1911): Über die prätriasische Faltung in den Westalpen mit besonderer Untersuchung des Carbons an der Nordseite des Tödi (Bifertengrätli). Amsterdam.
- FREY, M. (1969): Die Metamorphose des Keupers vom Tafeljura bis zum Lukmanier-Gebiet. Beitr. geol. Karte Schweiz, N. F. 137, 160 S.
- FREY, M., HUNZIKER, J. C., FRANK, W., BOCQUET, J., DAL RIAZ, G. V., JÄGER, E. und NIGGLI, E. (1974): Alpine metamorphism of the Alps. SMPM, 54, 247-290.
- GRUBENMANN, U. und NIGGLI, P. (1924): Die Gesteinsmetamorphose. Band I, Borntraeger, Berlin.
- HEIM, ALBERT (1891): Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein. Beitr. z. Geol. K. der Schweiz, 25.
- HEIM, ALBERT (1922): Geologie der Schweiz, Bd. II. Chr. H. Tauchnitz, Leipzig.
- HUNZIKER, J. C. (1969): Rb-Sr-Altersbestimmungen aus den Walliser Alpen, Hellglimmer und Gesamtgesteinsalterswerte. Eclogae geol. Helv. 62, 527-542.
- HUNZIKER, J. C. (1974): Rb-Sr and K-Ar Age determination and the Alpine tectonic history of the Western Alps. Memorie degli Istituti di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova, Vol. XXXI.

- JÄGER, E. (1973): Die alpine Orogenese im Lichte der radiometrischen Altersbestimmung. *Eclogae geol. Helv.* 66, 11–21.
- JÄGER, E. and FAUL, H. (1959): Age measurements on some granites and gneisses from the Alps. *Bull. Geol. Soc. of America*, 70, 1553–1557.
- JÄGER, E., GEISS, J., NIGGLI, E., STRECKEISEN, A., WENK, E. und WÜTHRICH, H. (1961): Rb-Sr-Alter an Gesteinsglimmern. *SMPM*, 41, 255–272.
- JÄGER, E., NIGGLI, E. und WENK, E. (1967): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Glimmern der Zentralalpen. *Beitr. Geol. K. d. Schweiz, Neue Folge*, 134.
- KRUMMENACHER, D. (1961): Déterminations d'âge isotopique faites sur quelques roches de l'Himalaya du Népal par la méthode potassium-argon. *SMPM*, 41, 273–284.
- NIGGLI, E. (1960): Mineralzonen der alpinen Metamorphose in den Schweizer Alpen. *Int. geol. Congr. Copenhagen. Rep. 21st Sess. Norden* 13, 132–138.
- NIGGLI, E. (1970): Alpine Metamorphose und alpine Gebirgsbildung. *Fortschr. Miner.* 47, 16–26.
- NIGGLI, E., general coordinator (1973): Metamorphic map of the Alps, 1:1 000 000. Sheet 17, Metamorphic map of Europe. Sub-Commission for the Cartography of the metamorphic belts of the World. UNESCO, Paris.
- NIGGLI, E. und NIGGLI, C. (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, PAUL (1950): Probleme der alpinen Gesteinsmetamorphose. *SMPM* 30, p. 500–538.
- PLAS, L. VAN DER (1959): Petrology of the Northern Adula region, Switzerland (with particular reference to the glaucophane-bearing rocks). *Leidse Geol. Meded.* 24/2, 415–602.
- TROMMSDORFF, V. (1966): Progressive Metamorphose kieseliger Karbonatgesteine in den Zentralalpen zwischen Bernina und Simplon. *SMPM* 46, 431–460.
- TRÜMPY, R. und NIGGLI, E. (1980): Central Alps. In: *Colloque C5: Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. 26<sup>e</sup> Congrès Géologique International.*
- VOGLER, W.S. und VOLL, G. (1981): Deformation and metamorphism at the south margin of the Alps, East of Bellinzona, Switzerland. *Geol. Rdsch.* 70, 1232–1262.
- WENK, E. (1962): Plagioklas als Indexmaterial in den Zentralalpen. *SMPM* 42, 139–153.
- WENK, E. (1956): Die lepontinische Gneissregion und die jungen Granite der Valle della Mera. *Eclogae geol. Helv.* 49, 251–265.
- WENK, E. (1975): Zur alpinen Metamorphose. *SMPM* 55, 116–125.

Manuskript erhalten 11. August 1986, angenommen 20. August 1986.