

Hinweise für kompressive Tektonik während der Ablagerung von oberpaläozoischen Sedimenten und Vulkaniten im Aarmassiv

Autor(en): **Schenker, Franz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **53 (1987)**

Heft 124

PDF erstellt am: **06.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-210912>

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.

Hinweise für kompressive Tektonik während der Ablagerung von oberpaläozoischen Sedimenten und Vulkaniten im Aarmassiv

von Franz SCHENKER*

mit 5 Figuren und 6 Abbildungen

Zusammenfassung

Oberpaläozoische Metasedimente (grobkörniger Fächerdetritus, Lahare und feinkörnige lakustrine Sedimente) und mit ihnen wechsellagernde Vulkanite (saure Tuffe, Ignimbrite) sind im Aarmassiv entlang verschiedener schmaler Zonen aufgeschlossen. Die Vulkanite weisen neben räumlich-zeitlichen auch genetische Gemeinsamkeiten mit variszischen Intrusivkörpern auf. Aufgrund geochemischer Untersuchungen kann geschlossen werden, dass die Vulkanite und Plutone hier durch Krustenaufschmelzung infolge kompressiver Tektonik entstanden sind. Damit ist auch für die Sedimente eine Ablagerung in kompressiv entstandenen Becken zu postulieren; in Dilatationsbecken müssten grundsätzlich andersartige magmatische Gesteinsserien zu erwarten sein.

Abstract

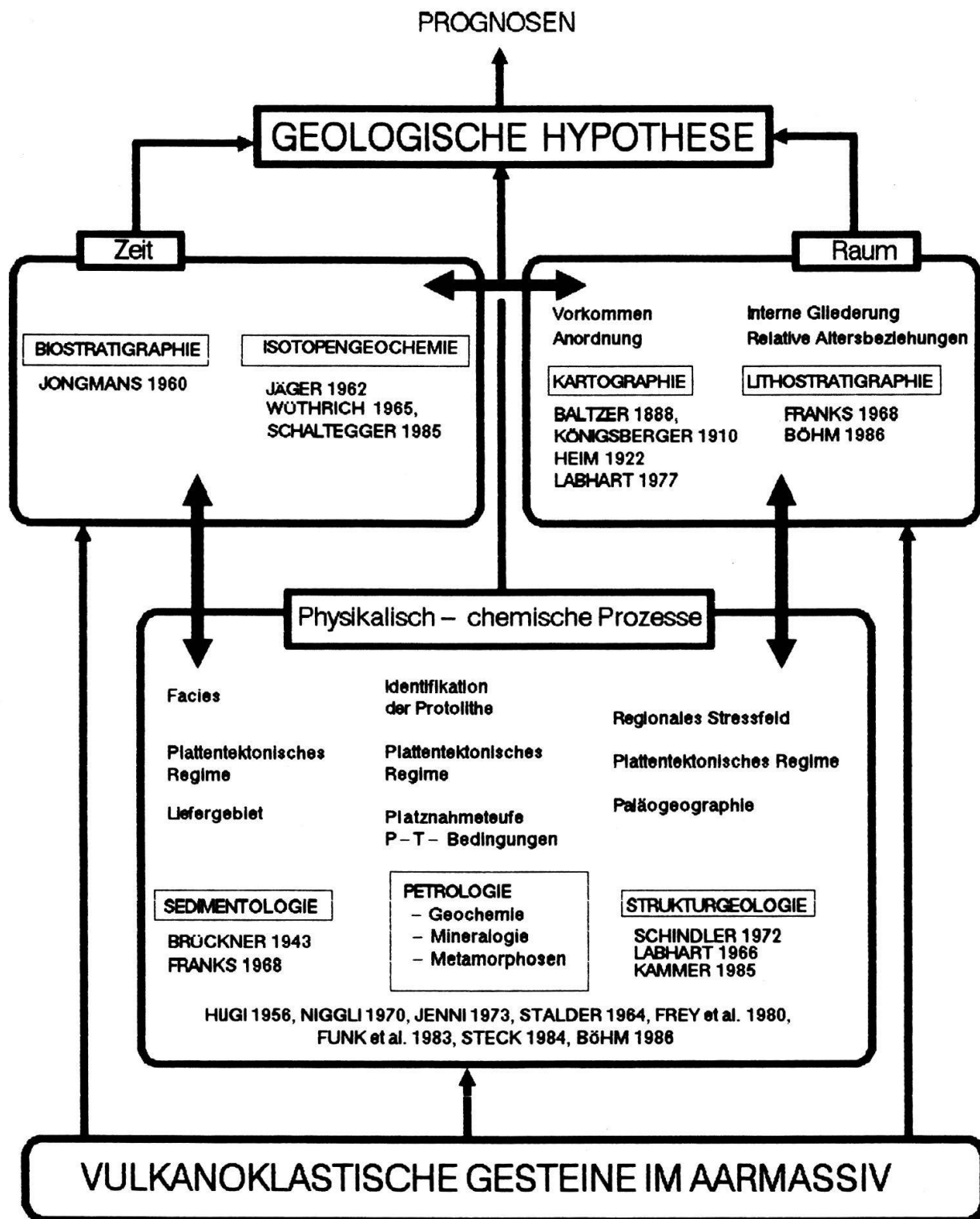
Coarse-grained alluvial deposits, Lahars and lacustrine sediments are interbedded with felsic volcanic tuffs and ignimbrites within several narrow zones in the pretriassic crystalline basement of the Aar-Massif. Beneath a close association in time and space, these volcanic rocks and some variscian plutones manifest a common magmatic origin. Geochemical analysis points to the generation of the magmas by crustal melting, implying convergent continental plate-boundaries. It is postulated therefore, that the epiclastic rocks had sedimentated in basins within a compressive tectonic regime, too. Volcanic rocks erupted in continental rift basins have to be expected to belong to quite different magmatic rock-series.

Einleitung

Im Gebiet der externen Massive und des Alpenvorlandes sind im prätriadischen Grundgebirge verschiedene spätpaläozoische Tröge nachzuweisen (LEMCKE 1961, ZIEGLER 1982, MUELLER et. al 1984). Unterhalb des Molassebeckens, im Schwarzwald, in den Vogesen und im Massiv Central werden sie meistens von jüngeren Sedimenten überlagert (und allein durch Bohrungen quasi eindimensional aufgeschlossen), oder aber die Tröge sind nur unvollständig aufgeschlossen, weil vorwiegend Härtinge (Vulkanite, Granite) von Erosion und Bodenbildung verschont blieben.

* Dr. Franz SCHENKER. GEMAG AG, 6248 Alberswil

Im Aarmassiv sind die oberpaläozoischen Tröge alpidisch gehoben worden und die vulkanoklastischen Formationen sind deshalb recht gut aufgeschlossen. Doch die mit der alpidischen Orogenese verbundene Gesteinsmetamorphose und Tektonik haben die primäre Lithologie der Trogfüllungen stark verändert. Das Ausmass der Veränderungen ist jedoch dank den Erkenntnissen über alpidische Regionalmeta-



FIGUR 1: Schema der Wechselbeziehungen zwischen unterschiedlichen geologischen Methoden und ihren Aussagen, incl. Literaturangeben.

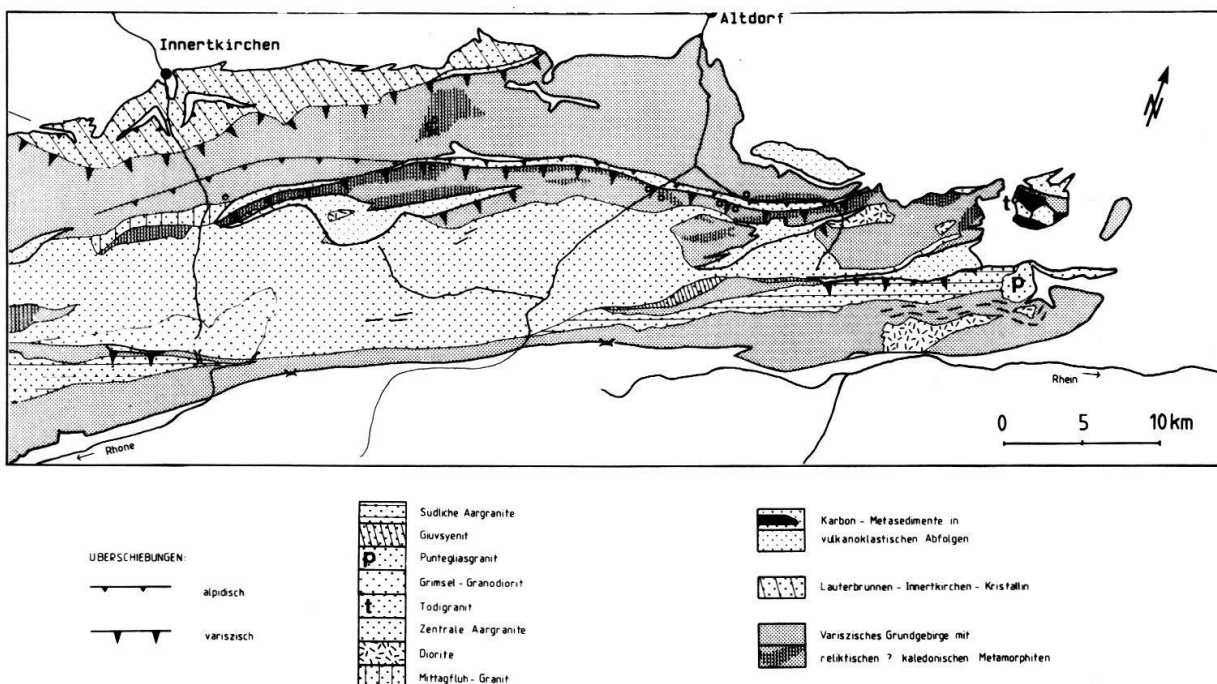
morphose (NIGGLI 1970, FREY et. al. 1980) und Strukturen (LABHART 1966, FUNK et. al. 1982, KAMMER 1985) gut bekannt, sodass eine Rekonstruktion der vortriadi-schen Lagerungsverhältnisse erleichtert wird.

Die am Schluss dieser Arbeit formulierte Hypothese stützt sich in wesentlichen Teilen auf die stratigraphischen Untersuchungen von FRANKS 1968 und auf die strukturellen von KAMMER 1985. In der Grundlage zum vorliegenden Artikel (SCHENKER 1986) wurden diese z. T. erweitert und mit geochemischen und mineralogischen Methoden ergänzt. Die gegenseitigen Verknüpfungen von unterschiedli-chen Methoden und ihren Aussagemöglichkeiten sind zusammen mit Literaturhinweisen in *Figur 1* dargestellt. Aus den verschiedenen Arbeiten ergeben sich Aussagen über physikalisch- chemische Prozesse, welche sich in einem definier-ten räumlichen und zeitlichen Rahmen innerhalb eines Lithosphären-teils mit einiger Wahrscheinlichkeit abgespielt haben dürften. Die geologische Rekonstruktion ba-siert auf dem Prinzip des Aktualismus und dem Modell der Plattentektonik.

Architektur

In der petro- tektonischen Übersichtskarte *Figur 2* wurde vor allem die Erkenntnis verarbeitet, dass die früher oft als Intrusivgänge und -stöcke interpretierten «Quarz-porphyre» subaerisch abgelagerte Vulkanite sind, und dass sie deshalb als tektonische und stratigraphische Leithorizonte im Grundgebirge von Bedeutung sind. Die prätria-dischen Gesteine des Aarmassivs können mit abnehmendem Alter in drei Einheiten ge-gliedert werden.

Auf dem *vorvariszischen Grundgebirge* («Schieferhülle» resp. «Altkristallin») wurden die oberpaläozoischen Sedimente abgelagert, und es bildete, neben den oberpaläozoischen Trögen, den hauptsächlichen Intrusionsraum für die variszischen



FIGUR 2: Östliches Aarmassiv: Ausschnitt aus der «Petro- Tectonic Sketch- Map of Aar- and Gotthard Crystalline Complexes» von F. SCHENKER un R. OBERHÄNSLI 1985, unpubl. Als Grundlage diente die Karte von T. LABHART 1977.

Plutonite. Bei fehlenden variszischen und alpidischen Metamorphose- und Deformationserscheinungen besteht das Grundgebirge aus migmatischen Gneisen und Amphiboliten. Die reliktsch erhaltenen Mineralparagenesen Granat- Sillimanit (SCHALTEGGER 1984) und Olivin -Tremolit- Talk dürften auf kaledonische oder ältere Ereignisse zurückzuführen sein. Zum Grundgebirge gehören auch die weitverbreiteten Glimmerschiefer und Gneise. Es handelt sich hier sowohl um deformierte und retrograd umgewandelte katazonale Gneise wie auch um epimetamorphe Metasedimente früh- oder vorvariszischen Alters (HÜGI 1956).

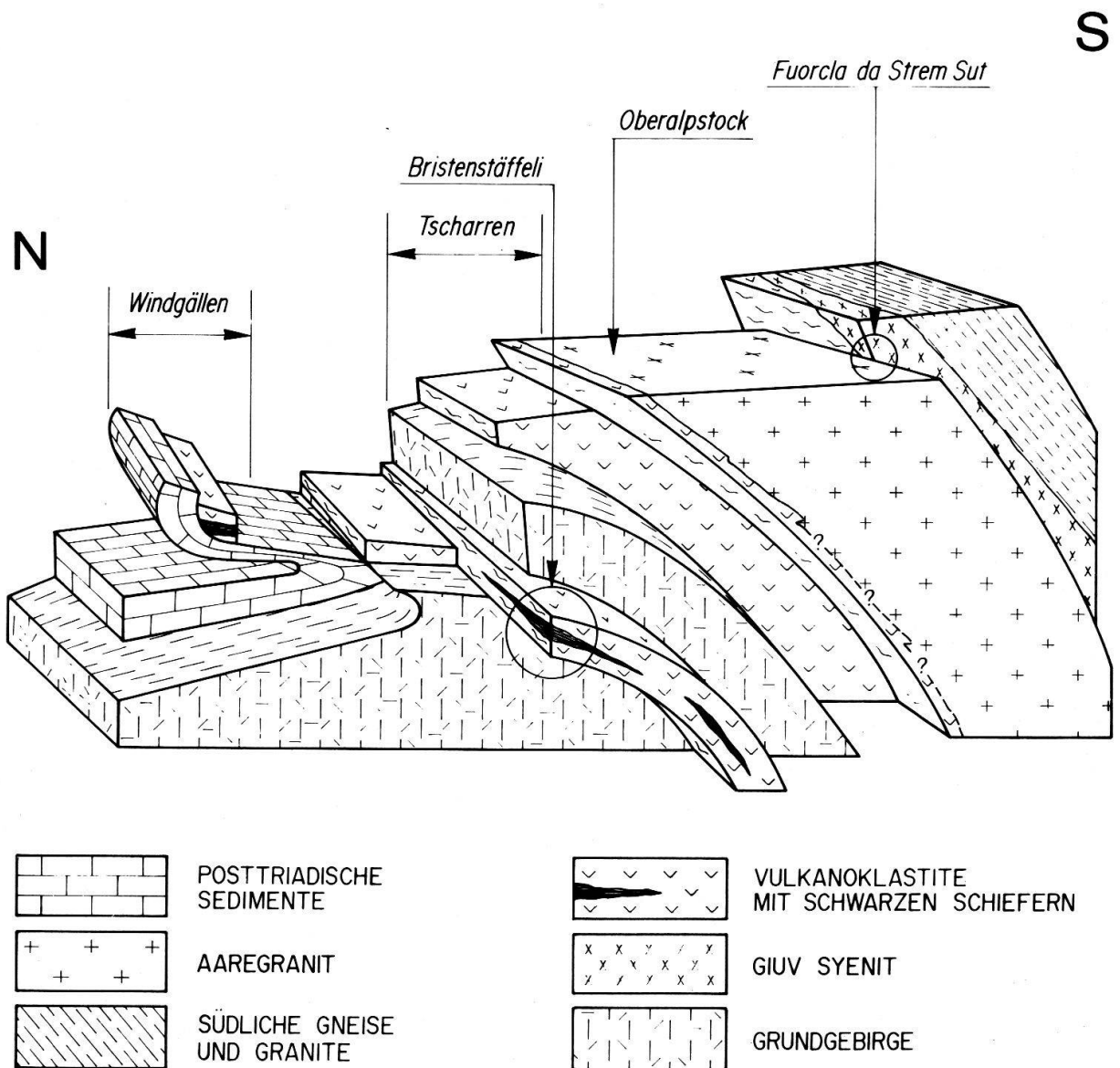
Die *oberpaläozoischen Metasedimente und -vulkanite* unterscheiden sich vom Grundgebirge durch eine Aenderung des Deformationsstils und den generell geringeren Metamorphosegrad (*Abbildung 1*). Sie sind entlang langer, schmaler Zonen angeordnet und bilden im heutigen Aarmassiv tiefreichende Inhomogenitäten. Aufgrund ihrer ähnlichen Lithologie lassen sich für die im Folgenden als Vulkanoklastite benannten oberpaläozoischen Metasedimente und Metavulkanite für räumlich getrennte Vorkommen lithostratigraphische Einheiten definieren (Bifertengrätli-Fm, Tscharren- Fm, FRANKS 1968; Val Gliems- Fm., Sandpass- Fm., BOEHM 1986, Windgällen- Fm., Trift- Fm., Diechtergletscher- Fm., SCHENKER 1986).



Abb. 1:
Auflagerung der vulkanoklastischen Trift- Formation (rechts im Bild) auf Gneise des variszischen Grundgebirges.

Die Vulkanoklastite trennen unterschiedliche Grundgebirgs-Segmente voneinander ab (Innertkirchner- Kristallin, Gneiszone von Erstfeld, Zentaler Aaregranit, Südliche Gneise, Gotthard- Massiv). Aufgrund der Winkel-, Metamorphose- und Strukturdiskordanz zu postpermischen Sedimenten muss gefolgert werden, dass die Vulkanoklastite bereits im Verlaufe der variszischen Orogenese stark deformiert und gekippt wurden (KOENIGSBERGER 1911, BRUECKNER 1943). Die im Vergleich zu den kristallinen Nebengesteinen duktilen Vulkanoklastite dienten oft auch als alpidische Bewegungszone. So entwickelte sich z. B. aus den spätpaläozoisch eingefalteten Vulkanoklastiten der Zone Lötschen- Fernigen durch strukturelle Remobilisierung die alpidische Wingällen- Embrionaldecke (*Figur 3*).

Die *variszischen Intrusiva* bilden einen volumenmässig hohen Anteil der aarmassivischen Gesteinskörper. Aufgrund der geringen alpidischen Deformation zeigen diese meist granitischen Gesteine eine in Bezug auf das prätriadische Grundgebirge noch primärmagmatische Regionalstruktur (KAMMER 1985). Zwischen den Vulka-



FIGUR 3: Blockdiagramm durch das Gebirge zwischen Windgällen und Stremlücke (ohne Topographie). Die Windgällenfalte ergibt sich aus der alpidischen Remobilisierung einer bereits variszisch aktiven Überschiebungsfläche.

noklastiten und den Intrusiva bestehen enge räumliche Beziehungen, was sich auf der Karte (*Figur 2*) in der parallelen Anordnung von beiden Gesteinsarten manifestiert (Beispiele: Mittagsfluhgranit - Trift- Fm., Giuvsyenit - Val Gliems- Fm.). Die entlang variszischer Überschiebungsfächen aufgestiegenen granitischen Schmelzen haben zu kontaktmetamorphen Aureolen in den Vulkanoklastiten geführt, welche im Tödigebiet (HUEGI 1941) und in der Grimsel als Relikte erhalten geblieben sind (andalusit-, granat- und biotitführende Hornfelse). Zwischen einzelnen Intrusivkörpern und vulkanischen Schichtgliedern der Vulkanoklastite können aufgrund geochemischer und mineralogischer Kriterien enge magmagenetische Verwandtschaften postuliert werden. Anhand von Beispielen aus dem Windgällen- und dem Triftgebiet kann gezeigt werden, dass die Plutonite nichts anderes darstellen als die in meist geringer Tiefe steckengebliebenen Magmenkammern, welche die an die Oberfläche ausgeflossenen Vulkanite genährt haben.

Die Lithologie der oberpaläozoischen Vulkanoklastite

Die vulkanoklastischen Abfolgen sind Welchsellagerungen von Vulkaniten (*Abbildungen 2 & 3*) mit epiklastischen Meta- Sedimenten (*Abbildungen 4 & 5*).



Abb. 2:
Dünnschliffaufnahme eines Ignimbrits aus der Windgällen- Formation.
Charakteristisch sind korrodierte Quarz- Körner und geplättete Bimssteinbruchstücke. (Bildausschnitt 7 x 4 mm).

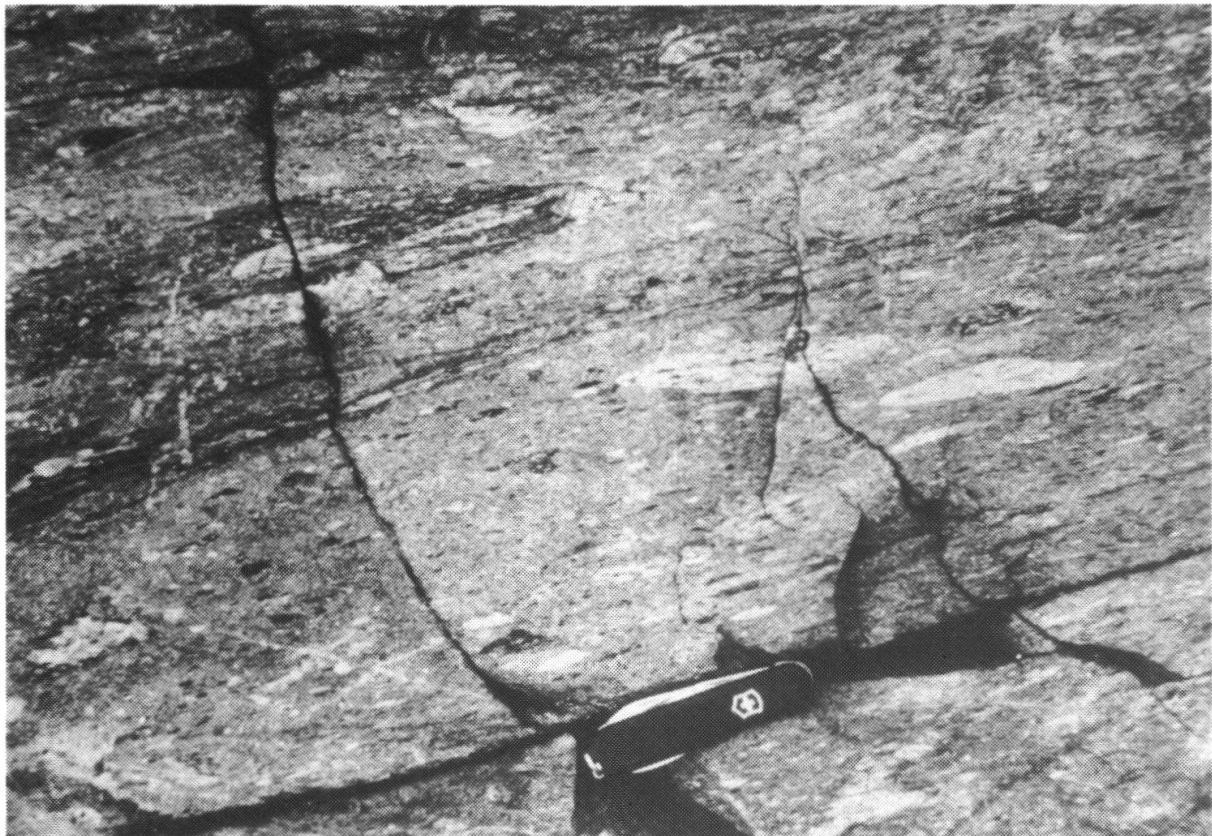


Abb. 3: Rhyodazitischer Ignimbrit aus der Diechtergletscher- Formation, mit deutlich erkennbaren Bimssteinbruchstücken.



Abb. 4: Grobklastische Breccie und schwarze Meta- Tonschiefer aus der Trift- Formation.

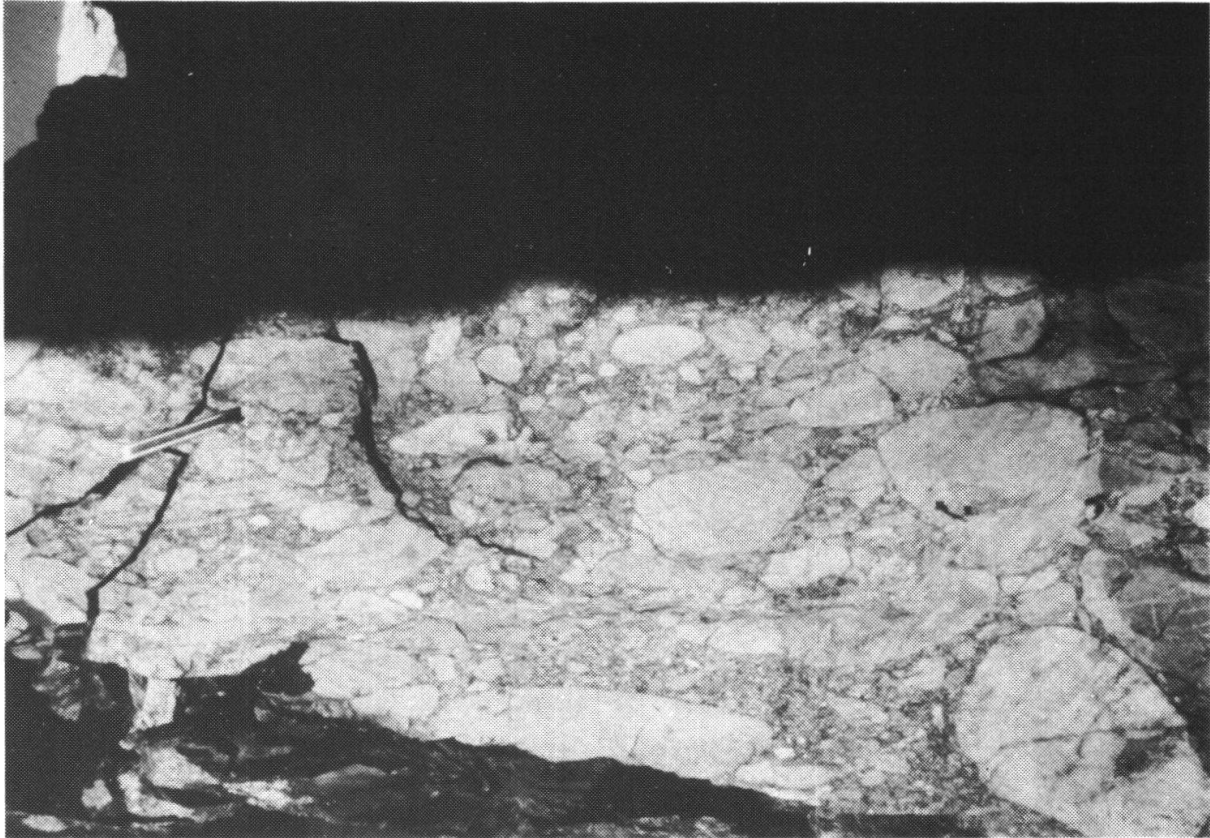


Abb. 5: Meta-Konglomerat aus der Trift-Formation, unmittelbar neben der Trift-Hütte SAC. (Durchmesser der Komponente rechts unten: 25 cm).



Abb. 6: Subrezente Wechsellagerung von ignimbrischen Tuffen (hell) mit weniger massigen vulkanischen Ablagerungen. Mt. Adams, Washington.

Besonders die Metasedimente haben sich durch die verschiedenen tektonischen und metamorphen Beanspruchungen zu Gesteinen verändert, in denen fast keine Primärstrukturen mehr zu erkennen sind. Trotzdem ist vor allem Dank der Untersuchungen von FRANKS 1968 die Aussage möglich, dass sie in kontinentalen Becken als lakustrine Sedimente, alluviale Schuttfächer und Schlammstrombreccien abgelagert und synsedimentär durch kompressive Tektonik beansprucht wurden.

Aufgrund ihrer Härte und der reaktionsträgen Petrochemie ist die primäre Lithologie der vulkanischen Schichtglieder besser erhalten geblieben. Vor allem die in Glutwolken abgelagerten rhyolithischen Tuffe (Ignimbrite) bilden in den verglimmerten und verschieferten Sedimenten massige, brettförmige Einschaltungen (*Abbildung 6*). Aus diesem Grund und ausgehend von der physikalischen Überlegung, dass sich siliziumreiche und deshalb hochviskose Magmen nicht über grosse Flächen ausbreiten können, wurden sie von früheren Bearbeitern oft als intrusive Gänge und Stöcke interpretiert (Quarzporphyre). Durch die Untersuchungen (ROSS & SMITH, 1961) über die Sedimentation saurer Laven in Glutwolken sind grossflächige Rhyolithdecken heute physikalisch «wieder möglich» und auch beobachtbar (z. B. Mt. St. Helens, LIPMANN & MULLINEAU 1981).

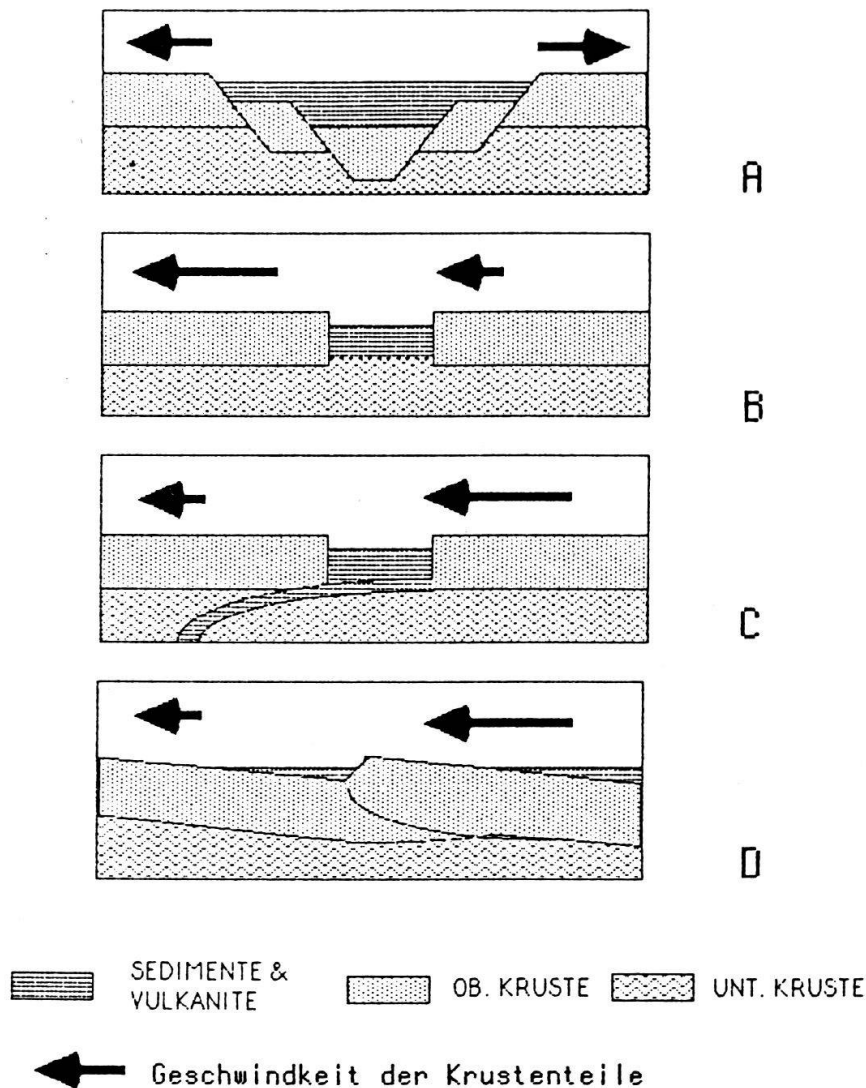
Geochemie

Vulkanite erlauben nicht nur die Rekonstruktion einer ehemaligen Oberfläche, sondern sie können auch Hinweise auf das tektonische Regime während ihrer Entstehung liefern.

Aehnlich wie sedimentologische Untersuchungen erlauben es geochemische, bestimmten Lithologien charakteristische Bildungsräume zuzuordnen. So unterscheiden sich Basalte aus ozeanischen Riftsystemen von solchen innerhalb kontinentaler Dilatations-Gräben vor allem in ihrer Spurencemie (PEARCE & CANN 1973), und bei siliziumreicheren magmatischen Gesteinen kann aufgrund geochemischer Verschiedenheiten entschieden werden, ob sie durch Krustenaufschmelzung entstanden oder aber durch Kristallisation aus primitiven Magmen fraktioniert worden sind (PITCHER 1982). Die Korrelation von geochemisch charakteristischen Gesteinsserien mit bestimmten plattentektonischen Rahmenbedingungen hat BEST (1982) wie folgt tabelliert (Die schematische Darstellung der verschiedenen plattentektonischen Situationen zeigt *Figur 4*:

Magmatische Gesteinsserie:	Plattentektonische Situation:
tholeiitisch, selten alkalisch	ozeanisches Riftsystem
tholeiitisch, alkalisch, peralkalisch	kontinentales Riftsystem
kalkalkalisch, tholeiitisch, selten alkalisch	Subduktionszone, Kontinentalkollision
alle Serien m. Ausnahme von kalkalkalischen	kontinentale Hot Spots

Für die geochemischen Untersuchungen wurden über 70 chemische Gesteinsanalysen durchgeführt und ausgewertet. Die untersuchten Vulkanite und Plutonite des östlichen und zentralen Aarmassivs sind fast durchwegs silizium- und aluminium-



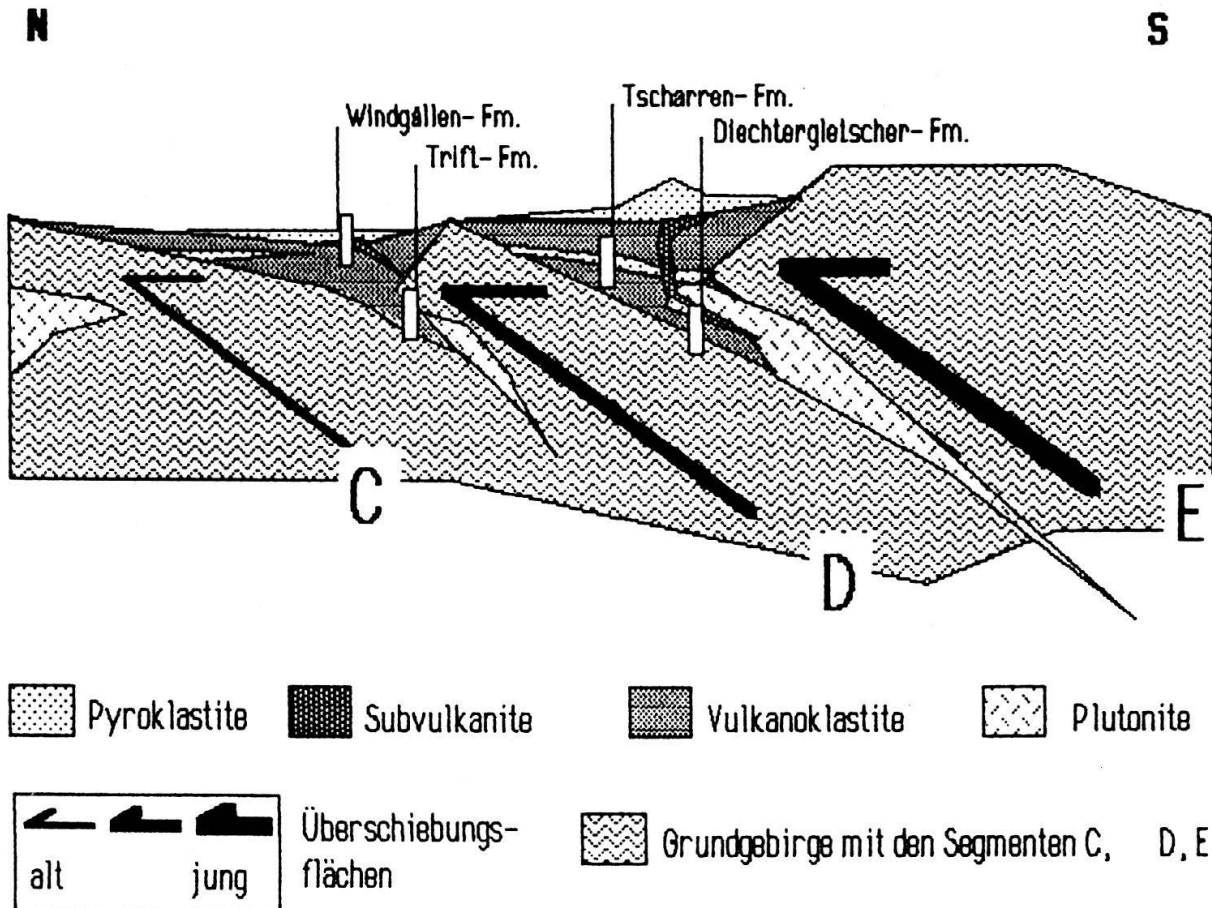
FIGUR 4: Schematische Darstellung verschiedener plattentektonischer Situationen.
 Dilatation: Kontinentales (A) und ozeanisches (B) Riftsystem mit alkalischen und tholeiitischen Magmen.
 Kompression: Plattenkongruenz mit Subduktionszone: kalkalkalische andesitische Magmen und vorwiegend marine Sedimente (C).
 Kontinent-Kontinent-Kollision mit siliziumreichen kalkalkalischen Magmen und vorwiegend kontinentalen Sedimenten (D).

reich ($\text{SiO}_2 \gg 68\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \gg \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$) und lassen sich aufgrund der üblichen Kriterien der kalkalkalischen Gesteinsreihe zuordnen. Aufgrund der niedrigen Niob- und Yttrium-Konzentrationen sind sie nach PEARCE & GALE (1979) und PEARCE et. al. (1984) als Produkte der krustalen Aufschmelzung zu interpretieren, wie sie für Orogenphasen nach der Subduktion von ozeanischer Kruste bei der Kollision von Krustenteilen typisch sind.

Interpretation

Die Vulkanite sind als Folge von Krustenaufschmelzung entstanden und auf kontinentaler Kruste abgelagert worden. Sie werden von Sedimenten in Molassefacies begleitet, welche die Erosionsprodukte eines Gebirges mit hohem Relief darstellen.

Krustenaufschmelzung und hohes Relief sind eine Folge von überschobenen Grundgebirgsprismen im Bereich von konvergierenden kontinentalen Plattenrändern. Im Stirnbereich der einzelnen Hauptüberschiebungen entstanden Vorland-Tröge, deren Füllungen kontinuierlich zwischen die gehobenen Grundgebirgsprismen eingefaltet wurden. Gleichzeitig kam es zur Extrusion von Vulkaniten und zur Intrusion von plutonischen Körpern (Figur 5).



FIGUR 5: Hypothetisches Profil durch das Aarmassiv im späten Paläozoikum. Die mit kontinentalen Sedimenten und sauren Vulkaniten gefüllten Becken werden kontinuierlich unter Grundgebirgssegmente eingefaltet. Die Vulkanoklastite werden von plutonischen Körpern intrudiert, welche die zu den Vulkaniten führenden Magmenkammern bilden. Die paläogeographische Stellung der einzelnen Formationen ist unsicher und basiert auf der Art der Nebengesteine, dem voralpidischen Metamorphosegrad und der Art des Deformationsstils.

Diskussion

Nach der oben formulierten Hypothese kann als Verallgemeinerung gefolgert werden, dass schmale, langgestreckte kontinentale Becken, welche von kalkalkalischen siliziumreichen Vulkaniten begleitet werden, ihre Genese kompressiver Tektonik verdanken.

Diese Aussage steht im Widerspruch zur dilatativen Bildung der «Karbontröge». Folgende Überlegungen werden zur Diskussion gestellt:

- Bei divergierenden Plattenrändern werden als Folge des Aufstiegs von Mantelmaterial in seichte Teufen nicht kalkalkalische, sondern alkalische und tholeiiti-

sche Magmen gefördert (z. B. Rheintalgraben mit Alkalibasalten und Karbonatiten; Kamerun- Linie mit Alkalibasalten und Peridotiten; Verrucano mit Keratophyren).

- Bei einer Dilatation müsste angenommen werden, dass sich das Grundgebirge entlang eines Lineaments trennt, und nicht entlang vieler, welche nur unweit (einige Zehner Kilometer) voneinander getrennt sind.
- Gegen eine Dilatation spricht, dass sich, zumindest im Aarmassiv, die Lithologie der Grundgebirgsprismen zwischen den «Karbontrögen» stark ändert. In Riftzonen wie dem Rheintalgraben unterschieden sich jedoch die auseinanderdriftenden Grundgebirgsteile sowohl lithologisch wie auch strukturell nur in geringem Masse; sie gehörten zusammen, bevor der entstehende Rheintalgraben sie entzweite.

Schlussfolgerungen

Geochemische Analysen von magmatogenen Gesteinen innerhalb sedimentären Abfolgen erlauben Aussagen über das Ablagerungsmilieu und das tektonische Regime während der Bildung von Sedimenttrögen. Von besonderer Wichtigkeit dürften solche Untersuchungen sein, falls infolge starker Deformation oder kleinräumiger Aufschlussverhältnisse (Bohrungen) sedimentologische Methoden nur in beschränktem Masse anwendbar sind.

Die klastischen Schichtglieder der oberpaläozoischen Sedimente können wegen ihres Gehalts an organischem Material als potentielle Muttergesteine von flüchtigen Kohlenwasserstoffen betrachtet werden. Als Lagergesteine sind nicht alleine klüftige oder poröse Gesteine des Mesozoikums in Betracht zu ziehen, sondern auch spröde deformierte kristalline oder poröse vulkanische Gesteine sind als Reservoir denkbar.

Verdankungen

In der vorliegenden Arbeit sind die qualitativen Resultate meiner Dissertation zusammengestellt, welche unter der Leitung der Herren Professoren Dr. H. A. Stadler und Dr. E. Niggli (Min. Petr. Inst., Univ. Bern) entstanden ist. Für ihr Interesse und die daraus entstandenen Diskussionen danke ich ihnen herzlich.

Verzeichnis der verwendeten Literatur

- BALTZER, A., 1888, Das Aarmassiv (mittlerer Theil) nebst einem Abschnitt des Gottardmassiv. Beitr., Geol. Karte Schweiz, 24/IV.
- BEST, M.G., 1982, Igneous and metamorphic petrology. W. H. Freeman and Comp., S.F., 630 p.
- BÖHM, C., 1986, Geologie und Petrographie im Gebiet von Val Russein: Diplomarbeit Univ. Bern.
- BRÜCKNER, W., 1943, Über Carbon und Trias auf der Nordseite des Lötschbergtunnels mit einigen allgemeinen Bemerkungen über das Zentralmassivische Carbon. Ecl. Geol. Helv., Vol. 36, p. 35-53.
- FRANKS, G.D., 1968, A study of upper paleozoic sediments and volcanics in the northern part of the eastern Aar Massif. Ecl. Geol. Helv., Vol. 61, no. 1.

- FREY, M., BUCHER, K., FRANK, E. & MULLIS, J., 1980, Alpine metamorphism along the Geotraverse Basel-Chiasso - a review. *Ecl. Geol. Helv.*, Vol. 73, p. 527-546.
- FUNK, H., LABHART, T., MILNES, G., PFIFFNER, A., SCHALTEGGER, U., SCHINDLER, C., SCHIMD, S. & TRÜMPY, R., 1983, Bericht über die Jubiläumsexkursion «Mechanismus der Gebirgsbildung» der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in das ost- und zentralschweizerische Helvetikum und in das nördliche Aarmassiv vom 12. bis 17. September 1982. *Ecl. Geol. Helv.*, Vol. 76/1, p. 91-124.
- HEIM, A., 1922, *Geologie der Schweiz*. Tauchnitz, Leipzig.
- HÜGI, Th., 1941, Zur Petrographie des östlichen Aarmassivs und des Kristallins von Tamins: SMPM Vol. 21.
- HÜGI, Th., 1956, Vergleichende petrologische und geochemische Untersuchungen an Graniten des Aarmassivs. *Beitr. Geol. Karte Schweiz, N. F.* 94.
- JÄGER, E., 1962, Rb-Sr- age determination on micas and total rocks from the Alps. *J. geophys. Res.* 67, Wahshington, p. 5293-5306.
- JENNI, J.—P., 1973, Die Vorkommen von Bleiglanz, Kupferkies und Zinkblende des Bristenstocks (Kt. Uri). *Beitr. Geol. Karte Schweiz, geotech. Ser.* 53.
- JONGMANS, W.J., 1960, Die Karbonflora der Schweiz. *Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F.* 108.
- KAMMER, A., 1985, Bau und Strukturen des nördlichen Aarmassivs und seiner Sedimente zwischen dem Sustenpass und Grindelwald. Unpubl. Diss. Univ. Neuenburg, 103 p.
- KÖNIGSBERGER, J., 1910, Erläuterungen zur geologischen und mineralogischen Karte des östlichen Aarmassivs von Dissentis bis zum Spanort. Speyer-Verlag, Freiburg i. Br.
- LABHART, T.P., 1977, Aarmassiv und Gotthardmassiv. *Gebr. Bornträger, Berlin-Stuttgart, Sammlung geol. Führer No.* 63, 173 p.
- 1966, Mehrphasige alpine Tektonik am Nordrand des Aarmassivs. *Ecl. Geol. Helv.*, Vol. 59/2, p. 803-830.
- LEMCKE, K., 1961, Ein jungpaläozoischer Trog unter dem Süddeutschen Molassebecken. *Zeitschrift der deutschen Geologischen Gesellschaft*. Band 113/1.
- LIPMAN, P.W. & MULLINEAU, D.R., 1981, The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington. *Geol. Surv. Prof. Paper* 1250, 843 p.
- MÜLLER, W.H., HUBER, M., ISLER, A. und KLEBOTH, P., 1984, Erläuterungen zur Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1:100000: NAGRA TECHNISCHER BERICHT 84-25.
- NIGGLI, E., 1970, Alpine Metamorphose und alpine Gebirgsbildung. *Fortschr. Miner.*, 47, 1, p. 16-26.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W. & TINDLE, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journ. of. Petrol.*, Vol. 25, p. 956-983.
- PEARCE, J.A. & GALE, G.H., 1979, Identification of ore- deposition environment from trace-element geochemistry of associated igneous host rocks: in *Volcanic processes in ore genesis*, Proceedings of a joint meeting of the Volcanic Studies Group of The Institution of Mining and Metallurgy & The Geological Society of London, London, 188 p.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *EPSL*, 19, p. 290-300.
- PITCHER, W.S., 1982, Granite type and tectonic environment: in HSÜ, K.J., (ed), *Mountain building processes*. Academic Press, London, p. 19-40.
- ROSS, C.S., and SMITH, R.L., 1961, Ash-flow tuffs. Their origin, geologic, relations, and identification. *U.S.Geol. Surv. Prof. Paper* 366, 81 p.
- SCHALTEGGER, U., 1985, *Geologie und Petrographie der Gneiszone von Erstfeld in der Umgebung des Sustenpasses, Aarmassiv*. Diplomarbeit Univ. Bern, 156 p.
- SCHENKER, F., 1986, Spätpaläozoischer saurer Magmatismus und Beckenbildung im Aarmassiv unter kompressiver Tektonik. *Diss. Univ. Bern*, 116 p.
- STALDER, H.A., 1964, Petrographische und mineralogische Untersuchungen im Grimselgebiet. *SMPM* 44/1, 187-398.
- STECK, A., 1984, Structures de déformation tertiaires dans les alpes centrales. *Ecl. Geol. Helv.* Vol. 77, p. 55-100.
- WÜTHRICH, H., 1965, Rb- Sr- Altersbestimmungen am alpin metamorph überprägten Aarmassiv. Zürich, *Dissertationsdruckerei Leeman AG*, p. 875-971.
- ZIEGLER, P.A., 1982, *Geological Atlas of Western and Central Europe*. Shell Int. Petr. Maatsch., Elsevier, Amsterdam/New York.