

DEFORMATION HISTORY AND METAMORPHIC MINERAL GROWTH ALONG THE PENNINE  
FRONTAL THRUST (WALLIS, TICINO), SWITZERLAND.

---

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by  
Klaper Eva-Maria  
Dipl. Geologin  
born September 25, 1954  
citizen of Vienna / Austria

accepted on the recommendation of  
Prof. John G. Ramsay, examiner  
Prof. Kurt E. Bucher-Nurminen, co-examiner  
Dr. Neil S. Mancktelow, co-examiner

ABSTRACT

Detailed structural mapping of the Mesozoic rocks in the northern Lepontine Alps has shown that three major deformation episodes have affected the area.

Triassic dolomite layers with a symmetry of lithologies on both sides are interpreted as isoclinal phase A1 fold cores. Other indications of a first deformation phase are the development of a weak mineral lineation and associated with it, a planar fabric within sheared basement gneisses. This deformation phase is the earliest observed in the Pennine realm and was probably associated with the main differential displacements occurring during nappe formation, transport and emplacement.

The formation of the Pennine frontal thrust marks the change from the early to the main Alpine deformation period and induces the first Alpine deformation on the Subpennine complex and the Ultrahelvetetic cover sequence. At least two and in some parts of the area, even three major phases of tight to isoclinal folding of main Alpine age (A1, A2) followed, during which the major fold hinges have initiated and, west of the Maggia steep zone, have since remained subparallel to the stretching lineation. This lineation, however, encloses a high angle with the major fold hinge lines east of the Maggia steep zone.

At the end of the main Alpine period, the area shows consistent evidence of SW - NE extension and vertical attenuation with a doubly plunging mineral lineation, west of the Maggia steep zone and of N - S extension east of it. Extension and attenuation in the lower Pennine nappe area was most probably accommodated by faults as e.g. the Simplon line. Other N - S trending structures as the initial Maggia steep zone may have accommodated the deformation to the east of this dome-like structure. A possible model to explain the observed features, is based on the development of a dome structure due to crustal thinning associated with displacement on low angle normal faults.

The area was then subjected to the late Alpine folding (A4). Due to the S - N oriented movement direction, the whole of the study area suffered N - S compression which led to a crenulation folding and to the formation of the E - W trending 'northern steep belt'. The formation of the Maggia steep zone is closely related in time to this late Alpine phase.

The post main Alpine strain pattern recorded for the northern Lepontine Alps indicates flattening strain in the western part and constrictional strain in the eastern part of the study area. The superposed shear strain of the A4 deformation episode led to a change from this flattening strain on the southern, flat lying limb to a constrictional strain regime on the northern, steeply dipping limb in the western section and vice versa in the eastern part of the study area.

Regional Tertiary metamorphism can be related with the major deformation phases observed in the western part of the area studied and it reached peak conditions during the interkinematic period between A3 and A4 and synchronous with the A4 deformation. Greenschist to amphibolite facies conditions are indicated by the

formation of the index minerals garnet, staurolite, kyanite in (semi-) pelitic and of margarite in marly rocks. AFM phase relations are analysed using Thompson (1957) projection. The positions of three isograd defining metamorphic mineral reactions were mapped which indicate the following metamorphic zones (from N to S): chloritoid zone, staurolite + chlorite zone, staurolite + biotite zone, kyanite zone. The isograds are modelled on univariant reactions involving the index minerals. The relative equilibrium P - T positions of these model reactions are located using published metapelite petrogenetic grids.

The highest grade occurrences of the assemblage margarite + calcite + quartz were found within metamorphic zone 3. While this assemblage then breaks down to form anorthite and clinozoisite, the margarite + quartz coexistence persists throughout the southern part of the area. Natural garnets occurring in margarite bearing rocks could be shown to be highly diluted by almandine to form the stable assemblage margarite + garnet + calcite + quartz.

The pressures and temperatures calculated from standard geothermo- and geobarometric techniques for the Nufenenpass area indicate the following conditions for final (maximum temperature) equilibration: 450 °C at 4.5 to 5 kb in the north and up to 580 °C at 7.5 kb in the south of the Altstafel section. Peak temperatures were obviously reached later than peak pressures, so that early garnet growth was observed with increasing as well as with decreasing pressure at still rising temperature. Late garnet porphyroblasts crystallised with both pressure and temperature decreasing.

KURZFASSUNG

Die detaillierte Kartierung struktureller Elemente in den mesozoischen Gesteinen der noerdlichen lepontinischen Alpen erlaubte es, drei Hauptphasen der alpinen Deformationsgeschichte zu unterscheiden.

Waehrend der fruehalpinen Deformationsphase (A1) bildeten sich einige Horizonte aus triadischen Dolomiten, welche die Lage von Isoklinalfalten - Kernen einnehmen, sowie eine schwache Mineral - Lination, die in stark gescherten Gesteinen von einer Foliation begleitet ist. Diese Deformationsphase stellt die aelteste Verformung der Gesteine dar, die im Penninikum beobachtet werden kann. Diese Verformung duerfte mit der Bildung, dem Transport und der Platznahme der penninischen Decken in Zusammenhang stehen.

Die Ueberschiebung des Penninikums auf die Gesteine des subpenninischen Komplexes und die ultrahelvetischen Metasedimente markiert den Zeitpunkt der fruehesten alpinen Deformation in diesen Einheiten. Dieses Ueberschiebungsdatum wird als Beginn der hauptalpinen Phase (A2, A3) angesehen. Waehrend dieser kam es zu zwei, in Teilen des untersuchten Gebietes zu drei engen bis isoklinalen Verfaltungen, welche die wesentlichen Grossfalten des Gebietes induzierten. Westlich der Maggia Querzone verlaufen die Achsen-Ebenen-Spuren dieser Grossfalten subparallel zu einer suedwest - nordost gerichteten Streckungslination, waehrend sie oestlich der Maggia Querzone einen grossen Winkel einschliessen, da die Streckungslination hier eine Nord - Sued Orientierung aufweist.

Am Ende der alpinen Hauptphase der Deformation zeigt das Untersuchungsgebiet westlich der Maggia Querzone gute Evidenz fuer SW - NE gerichtete Extension sowie vertikale Ausduennung, verbunden mit einer in nordoestlicher bzw. in suedwestlicher Richtung einfallenden Streckungslination. Die Extensionsrichtung oestlich der Maggia Querzone verlaeuft hingegen N - S. Die beobachtete Extension und Ausduennung der Einheiten der tieferen penninischen Decken steht wahrscheinlich in Zusammenhang mit wesentlichen Stoerungszonen, wie zum Beispiel der Simplon Linie als westliche Begrenzung dieses Gebietes. Ein weiteres N - S orientiertes strukturelles Element, welches die Begrenzung dieser domartigen Struktur gegen Osten bilden duerfte, ist die heutige Maggia Querzone. Ein moegliches Modell zur Erklaerung solcher Dom - Strukturen basiert auf einer Aufwoelbung der Gesteine, die auf eine Ausduennung der Kruste zurueckzufuehren ist. Ein wesentlicher Teil der extensiven Deformation wird dabei auf flachen Normalverwerfungen (low angle normal faults) konzentriert.

Das Untersuchungsgebiet wurde darauf der spaetalpinen Deformation unterworfen. Durch die relativ konstant S - N orientierte Bewegungsrichtung kam es zu N - S Kompression des ganzen Untersuchungsgebietes, verbunden mit der Bildung der 'noerdlichen Steilzone' ('Rueckfalte) und einer kleinraeumigen Krenulationsfaltung. Die Ausbildung der Maggia Querzone ist mit dieser spaetalpinen Deformation verbunden.

Die Analyse der endlichen Verformung (finite strain) ergab nach der alpinen Hauptphase das Bild einer scheinbaren Plaettung im westlichen und einer scheinbaren Einengung im oestlichen Teil des

Untersuchungsgebietes. Die Gesteine des noerdlichen Lepontins wurden waehrend der spaetalpinen Deformation durch eine (einfache) Scherverformung ueberpraegt. Dadurch wurde im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes die Form des finiten Verformungsellipsoides innerhalb der noerdlichen Steilzone aus den Bedingungen fuer scheinbare Plaettung in das Feld mit scheinbarer Einengung uebergeuehrt. Analog dazu wurde das oestliche Teilgebiet innerhalb der noerdlichen Steilzone von scheinbarer Einengung in scheinbare Plaettung umgewandelt, waehrend sich der suedliche, flacher liegende Faltenschenkel statisch verhielt.

Die tertiaere Regionalmetamorphose kann mit den beobachteten Hauptphasen der alpinen Deformation korreliert werden und erreichte ihren Hoehepunkt zwischen A3 und A4 sowie waehrend A4. Die Bildung von Indexmineralien wie Granat, Staurolit, Disthen in pelitischen sowie Margarit in mergeligen Gesteinen zeigt an, dass Bedingungen der Gruenschiefer- bis Amphibolitfazies erreicht wurden.

Die AFM Phasenbeziehungen wurden nach den Regeln von Thompson (1957) analysiert. Die Lage von drei Isograd - definierenden Mineralreaktionen wurde im Feld bestimmt. Diese Isograde definieren die folgenden Metamorphose Zonen: Chloritoid Zone, Staurolit + Chlorit Zone, Staurolit + Biotit Zone, Disthen Zone. Die Isograden wurden anhand von univarianten Modellreaktionen dargestellt und ihre Gleichgewichtslage basierend auf publizierte petrogenetische Netze beschrieben.

Die Mineralparagenese Margarit + Calcit + Quarz wurde im noerdlichen Teil des Untersuchungsgebietes beobachtet. Waehrend diese Paragenese innerhalb der Metamorphose Zone 3 in Anorthit und Clinozoisit uebergeht, bleibt die Koexistenz von Margarit + Quarz ueber den suedlichen Teil des Gebietes hinweg stabil. Natuerliche Granate, die in Margarit - fuehrenden Gesteinen des Nufenen Gebietes auftreten, muessen eine wesentliche Verduennung des Grossulars durch Almandin Komponente aufweisen, um die stabile Paragenese Margarit + Granat + Calcit + Quarz zu bilden.

Die Druck- und Temperaturbedingungen, die fuer die tertiaere alpine Metamorphose anhand von standartisierten Geobarometern und Geothermometern errechnet wurden, erreichen die folgenden Werte: 450°C bei 4.5 bis 5.0 kb im noerdlichen Teil, bis zu 580 °C bei 7.5 kb im suedlichen Teil des Altstafel Profiles. Die maximalen Temperaturen wurden offensichtlich erst nach den hoechsten Drucken erreicht. Fruehes Granatwachstum kann beobachtet werden bei zu- sowie bei abnehmendem Druck, waehrend spaetes Granatwachstum ausschliesslich bei fallenden Drucken und Temperaturen stattfand.