

Diss. ETH No. 6810

DUCTILE SHEAR ZONES: A MECHANISM
OF ROCK DEFORMATION IN THE ORTHO-
GNEISSES OF THE MAGGIA NAPPE,
TICINO, SWITZERLAND

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

presented by
Carol Simpson
M. Sc.
born 27.09.1947
citizen of United Kingdom

accepted on the recommendation of
Prof. J.G. Ramsay, referee
Prof. S.N. Ayrton, co-referee

J.G. Ramsay
S.N. Ayrton

1981

ABSTRACT

Detailed mapping in the core of the Maggia Nappe, a Lower Pennine basement nappe in the Lepontine Alps, has shown that the predominant deformation mechanism was that of heterogeneous simple shear. Relatively undeformed late-Hercynian granitoid intrusive rocks occur in the nappe core and contain xenoliths and aplitic dykes which have been used as strain and displacement markers to estimate the variations in strain throughout the core and front of the nappe. The intrusive rocks have been deformed into foliated and compositionally banded gneisses in the centre of Alpine ductile shear zones. This deformation event is the earliest observed in the area and was probably associated with the main differential displacements occurring during nappe emplacement. Shear zones of the same displacement sense anastomosed to surround lozenge-shaped blocks of relatively low deformation state.

One major phase of tight folding and a later, locally developed crenulation fold phase followed, during which all the fold hinges appear to have been initiated, and have since remained, subparallel to the earlier stretching lineation in the rocks. A thermal metamorphic event reached a maximum of lower amphibolite facies conditions in the Maggia gneisses before the onset of a regional backfolding phase of deformation. The formation of the Maggia "steep zone" was probably synchronous with the backfolding phase.

Finite strain analyses indicate an apparent flattening deformation in many of the Maggia shear zones. Chemical investigations were undertaken in order to determine whether any significant changes in chemistry with shear zone development could be observed. These investigations have shown that the deformation in the Maggia granitic gneisses was essentially isovolumetric and isochemical.

A comparison of geometrical features observed at the terminations of ductile shear zones from different

metamorphic environments has shown that with decreasing shear strain, the shear zones widen and the displacements across them decrease.

An integrated study of the changes in grain aggregate shape, in microstructure and in the preferred crystallographic orientation of quartz with increasing shear strain has been attempted. The results of this study indicate that the formation of a new foliation under lower amphibolite conditions in originally unfoliated granitic gneiss has been accomplished by a grain size reduction in the feldspars, recrystallization of mica and epidote in the XY plane of the finite strain ellipsoid, and quartz grain aggregate shape changes by intracrystalline plastic deformation and intercrystalline slip on inclusion-rich surfaces.

Optical and X-ray petrofabric analyses of quartz grains in the lower amphibolite and greenschist facies shear zones studied, have generally shown asymmetric single girdle distributions of C-axes. A complete texture analysis of quartz from a sheared pegmatite was carried out and has shown that the crystallographic preferred orientations are dependent upon the kinematic framework of the deformation and are not simply related to the axes of finite strain in the rock. Methods for the prediction of the sense of shear are discussed for the areas where unequivocal field evidence is lacking.

KURZFASSUNG

Die Detailkartierung im Kern der Maggia-Decke, einer unterpenninischen Kristalllindecke in den lepontinischen Alpen, erlaubte die Kinematik der Verformung als heterogene einfache Scherung (simple shear) zu beschreiben.

Praktisch undefinierte, späthercynische granitoide Intrusiva im Kern der Decke führen Xenolithen und aplitische Gänge, welche als Indikatoren zur Abschätzung von Verformungs- und Verschiebungs-Beträgen im Kern und in den frontalen Deckenteilen dienen. Innerhalb von alpinen duktilen Scherzonen wurden diese Intrusiva in geschieferter und gebänderte Gneise deformiert. Diese Vergneisung ist die älteste beobachtete Deformation im Untersuchungsgebiet und wird mit der Platznahme der Decken in Zusammenhang gebracht. Scherzonen mit gleichem Verschiebungssinn umschließen Rhomboederförmige, relativ schwach deformierte Blöcke.

Danach folgt eine weitere wichtig Faltungsphase, welche enge Falten produzierte sowie eine spätere (nur lokal ausgebildete) Krenulationsphase. Alle Faltenumbiegungen sind subparallel zu den alten Streckungs-Lineationen angelegt worden und in dieser Orientierung geblieben. Ein thermisches Ereignis führte in den Maggia-Gneisen zum Höhepunkt der Metamorphose (in der unteren Amphibolit-Fazies), bevor die regionale Rückfaltungsphase einsetzte. Synchron zu dieser letzten Rückfaltungsphase dürfte die Ausbildung der "Maggia-Querzone" sein.

Die Analyse der endlichen Verformung (finite strain) ergab allgemein das Bild einer scheinbaren Plättung in den Maggia Scherzonen. Chemische Untersuchungen bestätigen eine isochemische wie auch isovolumetrische Deformation der granitischen Maggia-Gneise, selbst innerhalb der Scherzonen. In verschiedenen metamorphen Umgebungen wurden die Enden von Scherzonen geometrisch verglichen. Es wurde beobachtet, dass Scherzonen sich bei abnehmender Scherverformung verbreitern und dass gleichzeitig der Versetzungsbeitrag abnimmt.

Es wurde versucht, gleichzeitig die Formänderung der Kornaggregate, die Mikrostrukturen und die bevorzugte kristallographische Orientierung von Quarz bei zunehmender Scherverformung zu studieren. Die Resultate deuten an, dass sich die Verschieferung des ursprünglich granitischen Gesteins unter Bedingungen der unteren Amphibolit-Fazies folgendermassen abspielte :-

- Korngrößenreduktion in den Feldspäten,
- Rekristallisation von Glimmer und Epidot in der

- XY-Ebene des finiten Verformungsellipsoides,
- Formänderung von Quarzaggrenzen durch intrakristalline plastische Deformation und Versetzung auf einschlussreichen interkristallinen Flächen.

Optische und röntgenographische Untersuchungen an Quarzkörnern der Grünschiefer- bis unteren Amphibolit-Fazies zeigen generell eine asymmetrische Gürtelverteilung der C-Achsen. Eine umfassende Orientierungsanalyse an Quarz aus einem verscherten Pegmatit machte deutlich, dass die kristallographisch bevorzugte Orientierung vom kinematischen Umfeld der Deformation abhängt und sich nicht allein an die Achsen der endlichen Verformung im Gestein hält.

Zum Schluss werden noch Methoden zur Vorhersage des Schersinns diskutiert für jene Fälle, in denen keine schlüssigen Felddaten zur Verfügung stehen.