



Doctoral Thesis

Structural, geomechanical and petrophysical properties of shear zones in the eastern Aar massif, Switzerland

Author(s):

Laws, Susanne

Publication Date:

2001

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004246449> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 14245

Structural, Geomechanical and Petrophysical Properties of Shear Zones in the Eastern Aar Massif, Switzerland

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ETH)
ZÜRICH

for the degree of

DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by

SUSANNE LAWS

Diplom-Geologin
University of Mainz
born 10th of October 1969
German citizen

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Simon Löw, examiner

Prof. Dr. Jean-Pierre Burg, co-examiner

Prof. Dr. François Descoedres, co-examiner

2001

Summary

Rock zones containing a high fracture density and/or soft, cohesionless material are highly problematic when encountered during tunnel excavation. For example in the eastern Aar massif of central Switzerland, experiences during the construction of the Gotthard highway tunnel showed that shear zones were responsible for overbreaks in the form of chimneys several meters in height. To understand and estimate the impact of the shear zones on rock mass behaviour and to be able to predict where they may be encountered, knowledge concerning their spatial distribution, structural composition, rock mass strength and deformation characteristics is fundamental.

Mapping at surface and in existing tunnels revealed that the shear zones in the eastern Aar massif generally strike ENE-WSW and NW-SE and dip steeply towards south or north.

The detailed examination of surface and underground outcrops and of two newly drilled boreholes has shown that these structures are primarily ductile but also contain a considerably larger number of fractures than the intact host rock. The fractures oriented parallel and oblique to the foliation are mostly filled by a fine-grained, structureless arrangement of mainly muscovite, biotite and quartz. Higher and highest fracture densities are found in the fine-grained and strongly foliated sections of the shear zone. Along with fracture density, the thickness of the fracture infill increases towards areas with highest fracture densities.

Based on fracture densities and mica contents, it is proposed that the shear zones in the eastern Aar massif may be subdivided into 3 different textural subzones. With increasing fracture density and mica content, these are: (1) a strongly foliated zone, (2) a fractured zone and (3) a heavily fractured, cohesionless zone.

It is argued that the fractures were formed through hydrofracture mechanisms. The fractures are clearly superimposed on the ductile deformation structures and seem to have developed after the Alpine generated shear zones.

A series of laboratory triaxial tests, performed on samples taken from granite and gneiss hosted shear zones revealed that with increasing degree of tectonic overprint, sample strength decreases and rock behaviour shows a transition from brittle to ductile deformation. These trends may be explained by increasing fracture densities, increasing foliation intensity, increasing thickness of fine-grained, cohesionless fracture infill, and increasing mica content associated with the increasing degree of tectonic overprint. As

fracture density increases and the influence of discrete, persistent discontinuities on rock mass strength decreases, behaviour of the test samples becomes more and more representative of rock mass behaviour, i.e. that of a densely fractured continuum.

It may therefore be possible to assign each of the proposed shear zone subzones a typical rock mass constitutive behaviour. Under low confining stress, the host rock and the strongly foliated zone behave in a brittle fashion, the fractured zone exhibits brittle-ductile behaviour and the heavily fractured, cohesionless zone deforms in a ductile manner.

It can be assumed that reasons for the problematic nature of these shear zones during tunnel excavation derive from their special structural characteristics and rock mass constitutive behaviour. The design of adequate support measures along such shear zone structures would therefore benefit by considering and accounting for these factors.

Zusammenfassung

Erfahrungen haben gezeigt, dass Gesteinsbereiche, die eine hohe Bruchdichte aufweisen und/oder aus weichem, kohäsionslosem Material bestehen, zu Problemen führen, wenn sie während eines Tunnelvortriebs angefahren werden. Zum Beispiel waren während dem Vortrieb des Gotthard-Strassentunnels im Bereich des östlichen Aarmassivs, Zentralschweiz, Scherzonen für Nachbrüche in Form von mehreren Meter hohen Kaminen verantwortlich. Um den Einfluss der Scherzonen auf das Gebirgsverhalten verstehen und abschätzen zu können und um vorherzusagen, wo solche Scherzonen angetroffen werden, sind Informationen über ihre räumliche Verteilung, ihren strukturellen Aufbau, ihre Gebirgsfestigkeit und ihre Deformationseigenschaften grundlegend.

Mit Hilfe von Kartierungen im Feld und in bestehenden Tunnels konnte festgestellt werden, dass die Scherzonen im östlichen Aarmassiv hauptsächlich ENE-WSW und NW-SE streichen und steil nach S oder N einfallen.

Detaillierte Feld- und Tunnelaufnahmen und die detaillierte Untersuchung zweier neu abgeteufter Bohrungen haben gezeigt, dass die Strukturen innerhalb der Scherzonen primär duktiler Natur sind. Die Scherzonen weisen aber auch eine gegenüber dem intakten Nebengestein beträchtlich höhere Anzahl von Brüchen auf. Die Brüche, die parallel und schräg zur Schieferung orientiert sind, sind meist mit einem feinkörnigen, strukturlosen, vor allem aus Muskovit, Biotit und Quarz bestehenden Material verfüllt. Bruchdichte und Mächtigkeit der Bruchfüllungen nehmen in Richtung von Bereichen mit höchsten Bruchdichten zu. Höhere und höchste Bruchdichten sind auf feinkörnige und stark geschieferte Bereiche der Scherzone beschränkt.

Es wird vorgeschlagen, dass die Scherzonen aufgrund unterschiedlicher Bruchdichten und Glimmergehalte in 3 verschiedene Subzonen unterteilt werden können. Mit zunehmender Bruchdichte und Glimmergehalt sind dies: (1) eine "strongly foliated zone", (2) eine "fractured zone" und (3) eine "heavily fractured, cohesionless zone".

Die Brüche wurden vermutlich durch "hydrofracturing" erzeugt. Die Brüche überprägen die duktilen Deformationsstrukturen deutlich und scheinen sich nach der Alpinen Anlage der Scherzonen gebildet zu haben.

Eine Serie von im Labor an granitischen und gneisigen Scherzonenproben durchgeführten Triaxialtests hat ergeben, dass die Festigkeit der Proben mit

zunehmendem Grad tektonischer Überprägung abnimmt. Ihr Deformationsverhalten wechselt gleichzeitig von spröd nach duktil. Die Änderungen im Verhalten der Proben scheinen auf die mit dem Grad der tektonischen Überprägung zunehmende Bruchdichte, zunehmende Intensität der Schieferung, zunehmende Mächtigkeit von feinkörnigen, kohäsionslosen Bruchfüllungen und zunehmenden Glimmergehalt zurückzuführen zu sein. Mit Zunahme der Bruchdichte und gleichzeitiger Abnahme des Einflusses einzelner, persistenter Klüfte wird ausserdem das Verhalten der getesteten Proben mehr und mehr repräsentativ für das Gebirgsverhalten, d.h. für das Verhalten eines intensiv zerbrochenen Kontinuums.

Es sollte deshalb möglich sein jeder der vorgeschlagenen Scherzonen-Subzonen ein typisches Gebirgsverhalten zuzuordnen. Unter der Bedingung von niedrigen Umlagerungsdrücken sollte das undeformierte Nebengestein und die "strongly foliated zone" der Scherzone sprödes, die "fractured zone" spröd-duktiles und die "heavily fractured, cohesionless zone" duktiles Deformationsverhalten zeigen.

Gründe für die beim Tunnelvortrieb durch Scherzonen hervorgerufenen Probleme liegen vermutlich in den speziellen strukturellen Charakteristika und den typischen Gebirgseigenschaften der Scherzonen. Die Planung von angemessenen Sicherungsmassnahmen im Bereich solcher Störzonen könnte deshalb durch Berücksichtigung dieser Faktoren verbessert werden.