



Doctoral Thesis

Paleomagnetic and magnetic anisotropy techniques applied to tectonically deformed regions

Author(s):

Hirt-Tasillo, Ann Marie

Publication Date:

1986

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000413882> →

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. 8061

PALEOMAGNETIC AND MAGNETIC ANISOTROPY TECHNIQUES
APPLIED TO
TECTONICALLY DEFORMED REGIONS

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

ANN MARIE HIRT-TASILLO

M.Sc. Geology, University of Toronto

born on July 6, 1955
Citizen of the U.S.A. and Switzerland, Stilli, Aargau

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. W. Lowrie, examiner

Prof. Dr. J. G. Ramsay, co-examiner

PD Dr. F. Heller, co-examiner

1986

ABSTRACT

Paleomagnetic techniques and analysis of the anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) have been applied to several tectonic problems in order to gain a better understanding of how the magnetization of rocks is affected by tectonic deformation. Two paleomagnetic studies were done in geologic areas which have different tectonic histories. The first study uses the paleomagnetic vectors to analyze the origin of curvature of the Northern Apennine mountains in the Umbria-Marches region. Oroclinal bending of the fold belt had been inferred by earlier paleomagnetic results from the upper Cretaceous Scaglia formation. Characteristic remanent magnetization (ChRM) directions were defined for twenty-six new sites in the early Cretaceous Majolica formation that were located throughout the fold belt. These data, along with data from five previously studied magnetostratigraphic sections, show an insignificant correlation between the fold axes and the paleomagnetic vectors. From this is deduced that the curvature of the fold belt is primary. The mean direction of the sites from the Majolica formation agrees with measured directions in Istria and Gargano, autochthonous areas of the Adriatic promontory. Although the Umbria-Marches region had suffered thrust décollement on the underlying Triassic evaporites during the late Tertiary orogeny, this was not accompanied by large-scale rotation or translation relative to the Adriatic promontory.

The second paleomagnetic study examines the effects of deformation on the remanent magnetization in the Lower Glarus nappe complex of the Helvetics in eastern Switzerland. The rocks of this area have undergone extreme deformation. An estimation of the amount and the orientation of this deformation would be useful in the analysis of the paleomagnetic information. The AMS was measured at twenty-seven sites located in the Permian-Triassic red beds of the Lower Glarus Nappe complex. The finite strain was calculated at twelve of these sites from reduction spots measured on three nonperpendicular planes. The orientations of the principal axes of the susceptibility magnitude and finite strain ellipsoids were in good agreement. The ellipsoids are flattened in the cleavage plane and a north-south lineation was defined. The principal axes of the two ellipsoids can be correlated with one another in several ways. Five methods of correlation were evaluated and compared, and for one method the AMS provides an accurate approximation of the finite strain. Based on this

correlation, AMS data were then used to define the orientations and magnitudes of the finite strain at each site in the nappe complex.

Paleomagnetic directions were evaluated at fifteen sites in the Lower Glarus Nappe complex. Both secondary and characteristic components of magnetization were isolated. Although the secondary directions of the sites were scattered, they may have been acquired during the Alpine deformation in the Oligocene - Miocene. The ChRM directions display a large between-site scatter. AMS results suggest that hematite, which is the only magnetic carrier, has been statistically realigned within the cleavage plane. The expected Permian-Triassic direction has been affected by the Alpine deformation. The ChRM directions are streaked along a great circle, away from the expected Permian-Triassic direction of magnetization. This spread can be explained by a penetrative simple shear deformation associated with the nappe-internal deformation.

In the final study, AMS was used to help define the strain in the Sudbury Basin, which is located in the Canadian Shield. The basin is believed to have been formed by a meteorite impact, and its circular cross-section has been subsequently deformed into its present elliptical shape. Sixteen sites were sampled in the Chelmsford formation and the finite strain was measured directly at ten of these sites, using concretions as strain markers. Corresponding principal axes of the finite strain and susceptibility magnitude ellipsoids were coaxial. The magnetic fabric is similar throughout the Chelmsford formation: the minimum axes of the susceptibility were subnormal to the cleavage plane or parallel to the short axis of the basin; and the magnetic foliation plane had a trend which is subparallel to the long axis of the basin. Three of the correlation methods defined in the Glarner Alps study provided good approximations of the finite strain.

The AMS was also measured for nineteen sites in the Onaping breccia of the Sudbury Basin. The sites showed a gradual change in their magnetic fabric with increasing deformation, where sites in the northwest are relatively undeformed and their magnetic susceptibility is isotropic and where sites in the southwest have a fabric controlled by the cleavage. Mineral fragments in the breccia are possible strain markers for the Onaping. To extend the Onaping microfabric results to finite strain for the basin more must be known about the validity of correlating AMS and microfabric data. The legitimate use of such a correlation to determine finite strain for a site has never been completely evaluated. A preliminary test was made using a microfabric in the Chelmsford formation, defined by quartz

grains which have been deformed through pressure dissolution. This microfabric was correlated for several specimens with the AMS of these same specimens. The AMS of all the individual specimens at a site were then converted into an equivalent strain, using this correlation. The site mean strain derived from all the specimens is in good agreement with the total finite strain derived from the concretions. The correlation of the AMS with a microfabric appears to be a valid method to calculate a representative strain for an entire site.

ZUSAMMENFASSUNG

Paläomagnetische Methoden und die Analyse der Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität (AMS) wurden auf mehrere tektonische Probleme angewendet, um ein besseres Verständnis darüber zu erhalten, wie der Gesteinsmagnetismus durch tektonische Verformung beeinflusst wird. Zwei paläomagnetische Studien wurden in Gebieten mit unterschiedlicher tektonischer Geschichte ausgeführt. Die erste Studie benützt paläomagnetische Vektoren zur Bestimmung der Ursache der Krümmung der nördlichen Appenninen in der Region Umbrien-Marche. Frühere paläomagnetische Resultate aus der Scaglia-formation (Obere Kreide) lassen auf oroklinale Krümmung des Falteingürtels schliessen. Die Richtung der charakteristischen remanenten Magnetisierung (ChRM) wurde für 26 neue Lokalitäten, verteilt über den ganzen Falteingürtel der Majolica-formation (Untere Kreide), bestimmt. Diese Daten, zusammen mit Resultaten von fünf vorgängig studierten magnetostratigraphischen Sektionen, zeigen keine signifikante Korrelation zwischen den Faltenachsen und den paläomagnetischen Vektoren. Dies bedeutet, dass die Krümmung des Falteingürtels primären Ursprungs ist. Der Mittelwert der Richtungen aller Lokalitäten der Majolica-formation stimmt überein mit den in den autochthonen Gebieten des adriatischen Sporns Istria und Gargano gemessenen Richtungen. Obwohl die Region Umbrien-Marche während der Gebirgsbildung im späten Tertiär entlang von triassischen Evaporithorizonten abgeschert wurde, fand während dieses Prozesses keine bedeutende Rotation oder Verschiebung relativ zum adriatischen Sporn statt.

Die zweite paläomagnetische Studie befasst sich mit dem Einfluss der tektonischen Verformung auf die remanente Magnetisierung im unteren Glarus-deckenkomplex der Helvetischen Alpen in der Ostschweiz. Die Gesteins-formationen dieses Gebietes wurden extremen Verformungen unterworfen. Eine Abschätzung des Ausmasses und der Richtung dieser Verformungen wäre nützlich für die Analyse der paläomagnetischen Daten. Zu diesem Zweck wurde die AMS von 27 Lokalitäten in den permotriassischen Rotserien des unteren Glarus-deckenkomplexes gemessen. Für zwölf dieser Lokalitäten wurde die finite Verformung, basierend auf Messungen von Reduktionsflächen in drei nicht orthogonalen Ebenen, berechnet. Die Orientierung der Hauptachse des Betragsellipsoids der Suszeptibilität und des finiten Verformungsellipsoids zeigten gute Übereinstimmung. Die Ellipsoide sind in der Schieferung abgeplattet und

weisen ein Nord-Süd-linear auf. Die Hauptachsen der Ellipsoide können nach verschiedenen Methoden korreliert werden. Fünf Korrelationsmethoden wurden evaluiert und miteinander verglichen, wobei es sich zeigte, dass eine der fünf Methoden eine genaue Abschätzung der finiten Verformung mit Hilfe der AMS ermöglicht. Gestützt auf diese Korrelationsmethode wurden dann die Richtung und der Betrag der finiten Verformung für jede Lokalität im Deckenkomplex aus den AMS-messungen abgeleitet.

Die paläomagnetischen Richtungen für fünfzehn Lokalitäten im unteren Glarus-deckenkomplex wurden bestimmt. Sekundäre und charakteristische Komponenten der Magnetisierung wurden identifiziert. Trotz einer gewissen Streuung der Sekundärrichtungen verschiedener Lokalitäten ist es möglich, dass diese Magnetisierungsrichtungen während der alpinen Verformung im Oligozän-Miozän entstanden. Die ChRM-richtungen zeigen eine grosse Streuung zwischen den Lokalitäten. Die AMS-ergebnisse lassen darauf schliessen, dass Hämatit, welcher der einzige magnetische Träger ist, sich in der Schieferung statistisch linear orientierte. Die erwartete Perm-Trias-richtung wurde von der alpinen Deformation beeinflusst. Die ChRM-richtungen sind entlang eines Grosskreises verteilt, abgelenkt von der erwarteten Perm-Trias-magnetisierungs-richtung. Diese Verteilung ist zu erwarten, wenn man eine durchdringende einfache Scherverformung in Zusammenhang mit der inneren Deckenverformung annimmt.

In einer weiteren Studie wurde mit Hilfe der AMS die Verformung des Sudbury-beckens innerhalb des Kanadischen Schilds bestimmt. Es wird angenommen, dass das Becken durch den Einschlag eines Meteoriten entstanden ist und seine ursprüngliche Kreisform durch nachträgliche Verformung in die gegenwärtige elliptische Form überführt wurde. Von sechzehn Lokalitäten in der Chelmsford-formation wurden Proben entnommen, und die finite Verformung wurde für zehn dieser Lokalitäten an Konkretionen direkt gemessen. Die entsprechenden Hauptachsen des finiten Verformungsellipsoids und des Betragsellipsoids der Suszeptibilität sind koaxial. Die magnetische Textur der Chelmsford-formation ist überall ähnlich: die Minimalachsen der Suszeptibilität sind normal zur Schieferung oder parallel zur kurzen Achse des Beckens; die magnetische Foliations ebene hat eine parallele Orientierung zur langen Achse des Beckens. Drei Korrelationsmethoden, welche in der Studie über den Glarus-deckenkomplex vorgestellt wurden, ergaben eine gute Abschätzung der finiten Verformung mittels der gemessenen AMS.

AMS-messungen wurden auch für zwanzig Lokalitäten in den Onapingbrekzien des Sudbury-beckens ausgeführt. Diese zeigen eine graduelle Veränderung in der magnetischen Textur mit ansteigendem Deformationsgrad. Lokalitäten im nord-westlichen Teil sind relativ wenig verformt, und die magnetische Suszeptibilität ist isotrop, während die Textur im süd-östlichen Teil von der Schieferung bestimmt ist. Mineralische Fragmente in den Brekzien sind mögliche Indikatoren für die Verformung in der Onaping-formation. Um die Resultate über die mikroskopische Textur auf die finite Verformung des Beckens ausdehnen zu können, müsste mehr über die Gültigkeit der Korrelation der AMS und der mikroskopischen Textur bekannt sein. Die Zuverlässigkeit solcher Korrelationsmethoden zur Bestimmung der finiten Verformung einer Lokalität wurde noch nie umfassend geprüft. Ein Vorversuch wurde durchgeführt unter Benützung einer mikroskopischen Textur des Chelmsford-gebietes bestehend aus Quarzkörnern, welche durch Drucklösung verformt wurden. Die mikroskopische Textur verschiedener Proben wurde mit der AMS der gleichen Proben korreliert. Von den Korrelationsresultaten wurde mittels der Werte der AMS für jede Probe einer bestimmten Lokalität eine äquivalente Verformung abgeleitet. Der Mittelwert der Verformung aller Proben der Lokalität ist in guter Übereinstimmung mit der totalen finiten Verformung, welche von den Konkretionen abgeleitet wurde. Dieses Resultat unterstützt die These, dass die Korrelation der AMS mit einer mikroskopischen Textur eine gültige Methode zur Berechnung der repräsentativen Verformung für eine ganze Lokalität darstellt.