



Doctoral Thesis

## Magnetic and mineral fabrics in carbonate rocks

**Author(s):**

Schmidt, Volkmar

**Publication Date:**

2007

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005397863> →

**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 NO. 17090

# MAGNETIC AND MINERAL FABRICS IN CARBONATE ROCKS

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

VOLKMAR SCHMIDT

Dipl.-Geophys., Universität Leipzig, Germany

born July 17, 1976

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

PD. Dr. A. M. Hirt, examiner

Prof. Dr. A. Jackson, co-examiner

PD. Dr. L. Burlini, co-examiner

Dr. B. Leiss, co-examiner

2007

## **Abstract**

The anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) is one parameter that is frequently used to investigate deformation processes. AMS and anisotropy of other physical properties mainly result from crystal alignment during deformation. In carbonate rocks, field studies and laboratory experiments have shown the generation of crystallographic preferred orientations (CPO) of the carbonate minerals, which are characteristic for the deformation process. The measurement of the CPO using optical and diffraction methods usually involves considerable effort; therefore, measurement of the AMS generated by the CPO could serve as a practical tool to characterize the CPO and thus the deformation in carbonate rocks. However, this requires the measurement of the weak diamagnetic anisotropy due to calcite, which is usually overprinted by the AMS of other phases in natural rocks. For an application of the AMS method in carbonate rocks, it is also necessary to know the mineralogical sources that control the anisotropy and the relationship between CPO and AMS. The aim of this thesis is to overcome the problems of measuring and interpreting the weak diamagnetic anisotropy so that the AMS method may be used for texture analysis and as a deformation marker in carbonate rocks.

To understand the AMS of carbonate minerals, the magnetic properties of 38 crystals representing nine carbonate minerals, which are commonly found in nature, have been investigated. A combination of low-field and high-field AMS measurements, acquisition of isothermal remanent magnetization, and mass spectrometry has been employed to assure the purity of the crystals and to relate the magnetic properties to the chemical composition. The measurements have provided accurate values for the single-crystal AMS of carbonate minerals at both room-temperature and liquid nitrogen temperature. The iron content is the most important parameter that controls the magnetic properties. The magnitude and shape of the AMS have been quantitatively related to the amount of iron in minerals of the carbonate group.

The separation of the AMS signal due to diamagnetic minerals from that due to paramagnetic and ferromagnetic minerals has been obtained by high-field torque measurements at room-temperature and 77 K. The theoretical principles of this method and the instrumental pre-requisites have been developed. A high-field torque magnetometer has been modified to allow for precise measurements of standard-sized paleomagnetic samples at

77 K. The method allows for the first time an accurate separation of the diamagnetic from the paramagnetic AMS of rocks.

The relationship between AMS and CPO has been investigated, using calcite-muscovite rocks with varying composition and CPO. It is very difficult to find natural material with the desired composition, purity, homogeneity and physical properties. Therefore, artificial rocks have been produced that showed homogeneous microstructure, CPO, and mineralogical composition. A preparation procedure was set up to allow for the reproducible fabrication of large rock samples with CPO of different strength. Calcite and muscovite powders have been mixed in varying proportions and then uniaxially compacted using varying loads. Hot isostatic pressing has been employed to anneal the rock. The magnetic purity was monitored throughout the fabrication process. The careful preparation and characterization of the samples is the basis for the comparison of the sample's properties obtained by different methods. These methods include X-ray and neutron diffraction, as well as seismic and magnetic anisotropy.

Magnetic anisotropy and the CPO of the synthetic samples have been measured to show how the AMS reflects the CPO. The strength of the CPO increases with the degree of uniaxial compaction for both mineral fractions. However, the alignment of the muscovite fraction is more pronounced. The diamagnetic anisotropy due to calcite and the paramagnetic anisotropy due to muscovite could be determined separately using the method outlined above. Both contributions show a good correlation with the CPO, which has been determined by neutron diffraction. The paramagnetic contribution outweighs the diamagnetic contribution for muscovite contents above 5 per cent, and the diamagnetic contribution could not be separated from the paramagnetic anisotropy for muscovite contents above 30 per cent. In general, the AMS modeled from the CPO agrees very well with the measured values. The very good agreement between the results from diffraction measurements and magnetic anisotropy confirms the value of careful preparation and precise definition of the starting material for such a study. These results show that AMS is a valid tool to characterize the CPO and deformation of carbonate rocks.

In conclusion, the results presented in the thesis allow for a deeper understanding of the AMS of carbonate minerals and rocks. They demonstrate the capabilities of the AMS method and provide helpful constraints for the interpretation of AMS results from rocks containing carbonate minerals.

## Zusammenfassung

Die Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität (AMS) ist ein Parameter, der oft zur Untersuchung von Deformationsprozessen in Gesteinen herangezogen wird. Die AMS und die Anisotropie anderer physikalischer Eigenschaften entstehen in Gesteinen meist durch die Einregelung von Kristallen während der Deformation. In Karbonatgesteinen haben Feldstudien, Laborexperimente und numerische Simulation gezeigt, dass Deformationsprozesse charakteristische kristallographische Vorzugsorientierungen (CPO) der Karbonatminerale erzeugen. Die Messung der CPO mit Hilfe von optischen oder Diffraktionsverfahren ist jedoch mit erheblichem Aufwand verbunden. Deswegen könnte die Messung der durch die CPO erzeugten AMS ein zweckmässiges Verfahren sein, um die CPO und damit die Deformationsprozesse in Karbonatgesteinen zu bestimmen. Dazu muss man die durch Calcit verursachte diamagnetische Anisotropie messen, die in natürlichen Gesteinen meist durch die AMS anderer Mineralphasen überlagert wird. Für die Anwendung der AMS-Methode ist es ausserdem Voraussetzung, die die AMS erzeugenden Minerale zu kennen sowie die quantitative Beziehung zwischen CPO und AMS genauer zu verstehen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die bestehenden Probleme betreffend der Messung und Interpretation der diamagnetischen Anisotropie zu lösen, so dass die AMS-Methode zur Gefüge- und Deformationsanalytik in Karbonatgesteinen genutzt werden kann.

Um ein besseres Verständnis der AMS der Karbonatminerale zu erlangen, wurden die magnetischen Eigenschaften von neun häufig vorkommenden Karbonatmineralen anhand von 38 Kristallen untersucht. Tieffeld- und Hochfeld-AMS-Messungen wurden mit isothermischer remanenter Magnetisierungserwerbung (IRM) und Massenspektrometrie kombiniert. So konnte die Reinheit der Kristalle belegt werden sowie die magnetischen Eigenschaften in Beziehung zur chemischen Zusammensetzung gesetzt werden. Durch die Messungen konnten genaue Werte für die AMS von Karbonateinkristallen bei Raumtemperatur und bei der Temperatur flüssigen Stickstoffs (77 K) bestimmt werden. Für Minerale der Calcitgruppe konnten die Stärke und die Form der Anisotropie in eine eindeutige Beziehung zum Eisengehalt gesetzt werden.

Eine Trennung der AMS-Anteile, die jeweils von diamagnetischen, paramagnetischen und ferromagnetischen Mineralen herrühren, wurde durch Hochfeld-Torsionsmessungen bei Raumtemperatur und 77 K erreicht. Die theoretischen Grundlagen dieser Methode wurden entwickelt sowie die instrumentellen Voraussetzungen dazu geschaffen. So wurde ein

Hochfeld-Torsionsmagnetometer modifiziert, um Proben in der paläomagnetischen Standardgrösse auch bei 77 K mit hoher Genauigkeit messen zu können. Diese Methode erlaubt erstmals die akkurate Trennung diamagnetischer und paramagnetischer Anteile der AMS eines Gesteins.

Die Beziehung zwischen AMS und CPO wurde an Calcit-Muskovit-Gesteinen mit unterschiedlicher Zusammensetzung und CPO untersucht. Da es sehr schwierig ist, natürliche Gesteine mit den erwünschten Eigenschaften (homogen, ohne Nebengemengteile) zu finden, wurden künstliche Proben mit homogener Mikrostruktur, CPO und Mineralzusammensetzung hergestellt. Dazu musste eine spezielle Methode entwickelt werden, die die reproduzierbare Herstellung grossvolumiger Proben mit CPO unterschiedlicher Stärke erlaubt. Calcit- und Muskovitpulver wurden in wechselnden Anteilen gemischt und bei Drücken verschiedener Stärke axial kompaktiert. Anschliessend wurden die Aggregate bei isostatischem Druck und hoher Temperatur getempert. Während der Fabrikation wurde mit magnetischen Messungen die Reinheit der Proben überwacht. Die sorgfältige Herstellung und die genaue Beschreibung der Proben bildeten die Grundlage für den Vergleich von Probeneigenschaften, die mit unterschiedlichen Verfahren wie z.B. Röntgen- und Neutronendiffraktion sowie seismischen und magnetischen Messungen ermittelt wurden.

Um zu untersuchen, wie die AMS die CPO widerspiegelt, wurden die magnetische Anisotropie und die CPO der synthetischen Proben gemessen. Die Stärke der CPO nimmt für beide Mineralfraktionen mit der Stärke der axialen Kompaktion zu, jedoch ist die Einregelung der Muskovitfraktion stärker ausgeprägt. Die diamagnetische Anisotropie –erzeugt durch Calcit– und die paramagnetische Anisotropie –erzeugt durch Muskovit– konnten mit Hilfe der oben beschriebenen Methode separat bestimmt werden. Beide AMS-Anteile zeigten eine gute Übereinstimmung mit der CPO, die mittels Neutronendiffraktion bestimmt wurde. Die paramagnetische Anisotropie ist in Proben mit mehr als 5% Muskovit stärker als die diamagnetische. In Proben mit mehr als 30% Muskovit konnte der diamagnetische Anteil nicht mehr von dem paramagnetischen Anteil getrennt werden. Die aus der CPO errechnete AMS stimmt im Allgemeinen sehr gut mit den gemessenen Werten überein. Diese Resultate zeigen, dass die AMS-Methode auch in Karbonatgesteinen ein wertvolles Instrument zur Gefüge- und Deformationsanalyse sein kann.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen eine wesentliche Vertiefung und Erweiterung der Kenntnisse der AMS von Karbonatmineralen und –gesteinen dar. Sie demonstrieren die Anwendungsmöglichkeiten der AMS-Methode in Karbonatgesteinen und geben Leitlinien zur Interpretation der gemessenen AMS.