

Die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung von Pyrrhotin: Induzierte und viskose Komponenten

H.-U. Worm
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
Hannover

Zur Interpretation der magnetischen Anomalien im Bohrloch und an der Oberfläche wurden an Bohrkernen bislang deren remanente und induzierte Magnetisierungen bei Raumtemperatur gemessen. Mit zunehmender Tiefe wächst jedoch die Bedeutung der Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung.

Induzierte Magnetisierung

Aus früheren Studien ist bekannt, daß die (Wechselfeld) Suszeptibilität k von Pyrrhotin oberhalb von 200°C deutlich zunimmt mit einem scharfen Maximum unterhalb der Curie-Temperatur von 320°C (Hopkinson Effekt). Für Magnetit-führende Gesteine ist dieser Effekt dagegen vernachlässigbar klein.

Bei sogenannten k/T -Messungen an Pyrrhotinen verschiedener Herkunft (de Wall et al., KTB-Report 93-2, 343) ergaben sich unterschiedliche Kurventypen, z.T. mit Minima um 200°C. Als mögliche Ursachen wurden verschiedene Fe/S Verhältnisse und ein Phasenübergang angeführt. Zusätzlich kommen allerdings auch Korngrößen- und Frequenz-Effekte in Betracht (Worm et al., Geophys. J. Int., 1993, 114, 127-137).

Um den Einfluß der Meßfrequenz und der Feldstärke auf den k/T -Kurventyp zu bestimmen, wurden im Labor Grubenhagen systematische Untersuchungen durchgeführt. Mit einer selbstentwickelten Meßbrücke konnten die Frequenz von $f = 0,03 - 10$ kHz und die Feldstärke von $H = 1 - 270$ A/m ($H_{\text{ind}} = 40$ A/m) variiert werden. Um auch bei kleinen f - und H -Werten messen zu können, wurde eine Erzprobe (Cerro de Pasco, Peru) ausgesucht, da die Meßempfindlichkeit mit abnehmender Frequenz und Feldstärke abnimmt. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen, daß der Hopkinson Peak mit zunehmender Frequenz und Feldstärke drastisch kleiner wird. Im kHz Bereich bildet sich zudem ein Minimum bei $T < 250^\circ\text{C}$. Das Minimum fällt noch größer aus, wenn die komplexe Suszeptibilität (bei den kommerziellen Geräten) und nicht nur ihr Realteil (wie hier) gemessen wird. Die Ursachen der f - und H -Abhängigkeit liegen in der begrenzten Mobilität von Domänenwänden, die wiederum von der magnetischen Kristallanisotropie und der elektrischen Leitfähigkeit abhängen.

Mit Hinblick auf die Bestimmung der *in situ* Magnetisierung von KTB Gesteinen stellt sich die Frage nach der Temperaturabhängigkeit der Suszeptibilität für $f \rightarrow 0$ im Erdfeld.

Für Gleichfeldmessungen der induzierten Magnetisierung konnte ein neues Hoch- T_c -SQUID Magnetometer eingesetzt werden, das neben temperatur- auch zeitabhängige (viskose) Magnetisierungsmessungen ermöglicht. Abbildung 3 zeigt, wie die induzierte Magnetisierung im Gleichfeld auch unterhalb von 200°C bereits stark zunimmt.

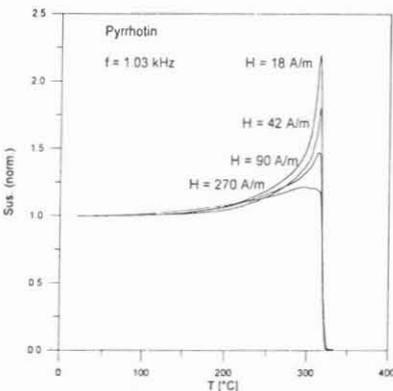


Abb. 1: Suszeptibilität als Funktion der Temperatur für verschiedene Feldstärken.

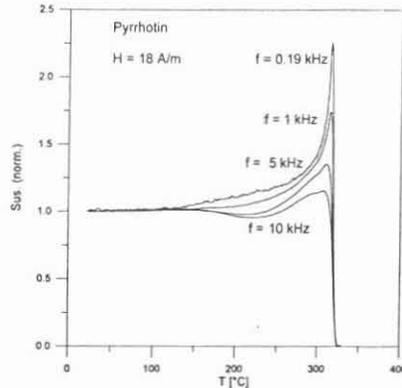


Abb. 2: Suszeptibilität als Funktion der Temperatur für verschiedene Frequenzen.

Mit Hinblick auf die bisherigen Bestimmungen der Wechselfeld-Suszeptibilität an KTB-Proben bedeutet dies eine erhebliche Unterschätzung der induzierten Magnetisierungen, besonders bei erhöhten Temperaturen.

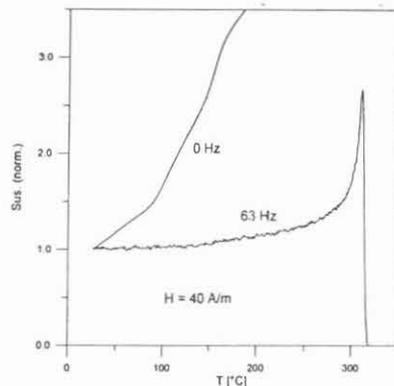


Abb. 3: Suszeptibilität als Funktion der Temperatur im Gleichfeld und bei 63 Hz.

Viskose Magnetisierung

Die remanente Magnetisierung zeigt i.a. nicht in Richtung des Erdfeldes. Es gibt daher eine viskose Magnetisierung (VM), die eine Zunahme der Komponente parallel dem äußeren Feld mit der Zeit beschreibt. Mit zunehmender Temperatur (Tiefe) nimmt die VM zu, und ab einer (noch zu bestimmenden) Tiefe dominiert die VM die Gesteins-Magnetisierung. Die VM kann durch einen Viskositäts-Koeffizienten S charakterisiert werden mit $VM = S \ln(t)$, da die VM oft logarithmisch von der Zeit abhängt. Die Messung der VM stellt eine experimentelle Herausforderung dar, denn die Änderungen der VM in kleinen Feldern sind auf einer Laborzeitskala gemessen sehr klein. Mit zunehmender Feldstärke nimmt allerdings auch die VM zu, so daß zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit der VM auch bei höheren Feldern gemessen werden kann.

Es wurden viskose Magnetisierungen der Pyrrhotin-Erz Probe von Cerro de Pasco bei den jeweiligen Koerzitivfeldstärken im Temperaturbereich 18°C - 305°C gemessen. Abbildung 4 zeigt zunächst, daß die VM stark temperaturabhängig ist. Die Kurven können nur abschnittsweise durch einen Viskositätskoeffizienten S charakterisiert werden. Für den steileren Teil (> 100 s) wurde S bestimmt und in Abbildung 5 als Funktion der Temperatur dargestellt. Es zeigt sich ein ausgeprägtes Maximum im Bereich 150 - 250°C. Mit Annäherung an die Curie Temperatur muß S gegen Null gehen.

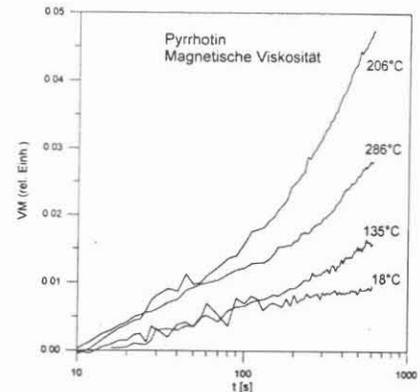


Abb. 4: Erwerb von viskoser Magnetisierung VM bei verschiedenen Temperaturen. Das jeweilige äußere Feld ist gleich der Koerzitiv-Feldstärke (5 - 10 mT).

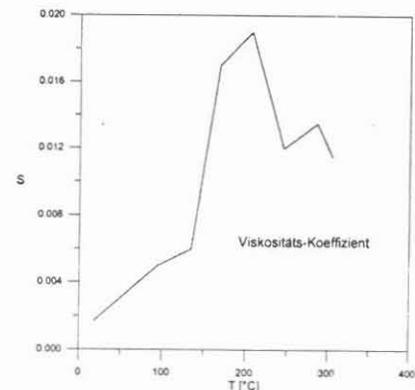


Abb. 5: Der Viskositäts-Koeffizient S ermittelt aus Abb. 4 für $t > 100$ s.

Theoretisch sollte S proportional mit T oder \sqrt{T} zunehmen (Dunlop, 1973, Rev. Geophys., 11, 855), vorausgesetzt, daß sich die magnetische Kristallanisotropie nicht wesentlich ändert. Das trifft beim Pyrrhotin für erhöhte Temperaturen offenbar nicht zu, obwohl Einkristall-Messungen hierzu bislang nicht vorliegen.

Diskussion und Ausblick

Für Pyrrhotin ist die Zunahme der Intensität der induzierten Magnetisierung im Gleichfeld mit der Temperatur größer als die durch übliche Wechselfeld-Messungen bestimmte. Hinzu kommt, daß über geologische Zeiträume sich starke viskose Magnetisierungen entwickeln, deren Temperaturabhängigkeit größer ist als die von Magnetit, zum Beispiel. Weitere Messungen müssen zeigen, ob die gleiche T-Abhängigkeit bei kleinen Feldern und Pyrrhotinen verschiedener Herkunft existiert. An Bohrkernen der KTB-VB aus > 3000 m sind viskose Magnetisierungen parallel dem heutigen Erdfeld gemessen worden. An diesen Proben soll überprüft werden, wie genau der Erwerb der VM über geologische Zeiträume anhand von Labormessungen berechnet werden kann.