

Mit Bohrlochmessungen bestimmte magnetische Signaturen von HSDP-Lavaflows

E. Steveling, J. B. Stoll, M. Leven, Institut für Geophysik, Universität Göttingen

Einführung

Auf der Insel Hawaii sind nahe der Stadt Hilo die beiden Forschungsbohrungen HSDP-1 und HSDP-2 in die Flanke des Vulkans Mauna Kea abgeteuft worden [Stolper *et al.*, 1996]. HSDP-1 hat als Pilotbohrung eine Endteufe von 1056 m erreicht, während HSDP-2 noch stufenweise vertieft wird. Im Juli 1999 konnte der damals offene Bereich 594-1806 mbsl (meters below sea level) der HSDP-2 Bohrung mit dem Göttinger Bohrlochmagnetometer (GBM) mit 0.1 m Teufeninkrement magnetisch vermessen werden [Steveling *et al.*, 2000].

Während der Messungen rotiert das dreiachsiges Bohrlochmagnetometer um die Sondenachse. Wegen der nahezu senkrechten Bohrung entspricht die gemessene Z-Komponente jedoch der Vertikalkomponente des erdmagnetischen Feldes, und die Horizontalkomponente H kann leicht als Vektorsumme aus der gemessenen X- und Y-Komponente berechnet werden. Um die Ergebnisse des magnetischen Loggens mit der Lithologie vergleichen zu können, wurden die 'Log-Teufen' an die 'Bohrmeister-Teufen' angepaßt, indem erstens der Einfluß der Tiefpaßfilter in der GBM-Aufzeichnung durch Dekonvolution sowie zweitens die Kabellängung beseitigt und drittens alle Teufenangaben auf mbsl bezogen wurden.

Durch Abziehen eines Referenzfeldes von den Meßdaten wurden die anomalen horizontalen und vertikalen Feldwerte ermittelt. Als Referenzfeld ist das IGRF95 mit $H_0=28157$ nT und $Z_0=20955$ nT für die Bohrlokation ausgewählt worden. Aus den so aufbereiteten Magnetfelddaten wurden mit Hilfe eines neuen Inversionsprogramms für jeden der 12120 Meßpunkte Betrag und Inklination der Gesteinsmagnetisierung berechnet

Lithologie und Magnetisierung

Die Grenze zwischen subaerischen und submarinen Lavaflows (SSB) liegt bei 1079 mbsl [DePaolo *et al.*, 1999]. Die SSB zeichnet sich im Magnetiklog durch stark variierende anomale Felder oberhalb der Grenze und eine abwechselnde Folge ruhiger und gestörter Abschnitte unterhalb aus. Die Grenzen einzelner subaerischer Lavaflows (aa, pahoehoe, transitional) sind in der Regel im Magnetiklog nicht sichtbar. Die beobachteten starken Anomalien sind häufig an Klüfte innerhalb eines Flows gebunden. Vereinzelt gibt es auch innerhalb eines Flows starke Änderungen von Betrag und Inklination der Magnetisierung, die vermuten lassen, daß hier bei der Klassifizierung der Einheiten eine Grenze zwischen zwei Flows mit einem langen Zeitintervall dazwischen nicht erkannt wurde.

Wegen ihrer offenbar unterschiedlich starken Magnetisierung zeichnet sich die Wechselfolge von massiven Flows und Hyaloclastiten des submarinen Bereichs dagegen gut im Magnetiklog ab. In Abb. 1 wird ein Beispiel gezeigt. Die aus dem Log berechnete Magnetisierung (GBM) korreliert mit der Lithologie und außerdem sowohl mit der von Kontny *et al.* [persönliche Mitteilung] an Kernen bestimmten natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM) als auch mit der Suszeptibilität.

Anhand von Häufigkeitsverteilungen der Magnetisierung wurden systematische Unterschiede zwischen den fünf Flowtypen aa, pahoehoe, transitional, massive und hyaloclastite untersucht. Die Verteilung der Inklinationen ist in Abb. 2 dargestellt. Jede der fünf Verteilungen liegt unterhalb der heutigen Inklination für Hawaii (37.6°). Dabei sind die Inklinationen älterer (submariner) Lavaflows offenbar noch stärker zu kleinen Winkeln hin verschoben als jene der jüngeren (subaerischen).

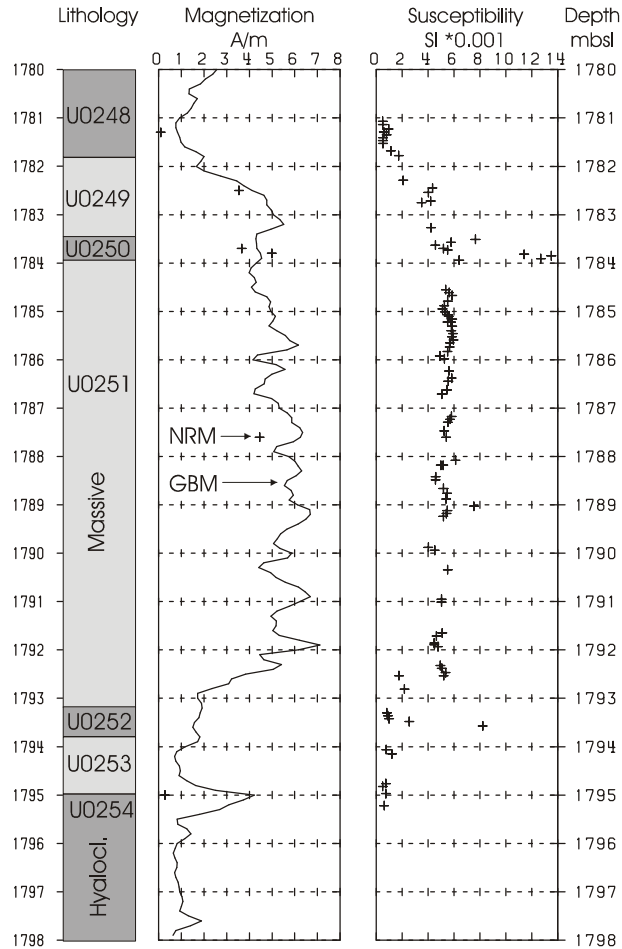


Abb. 1: Im submarinen Teufenbereich 1780-1798 mbsl gibt es eine Wechselfolge von massiven Lavaflows und Hyaloclastiten. Die aus dem Magnetiklog berechnete Magnetisierung (GBM) ist im Bereich der massiven Flows gegenüber den Hyaloclastiten deutlich auf etwa 4-6 A/m erhöht. Die im dargestellten Teufenbereich bekannten sechs Bestimmungen der natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM, + Zeichen) an Bohrkernen (Kontny) passen gut zu den GBM-Magnetisierungen. Die ebenfalls von Kontny an Bohrkernen bestimmten Suszeptibilitäten sind gut mit den GBM-Magnetisierungen korreliert.

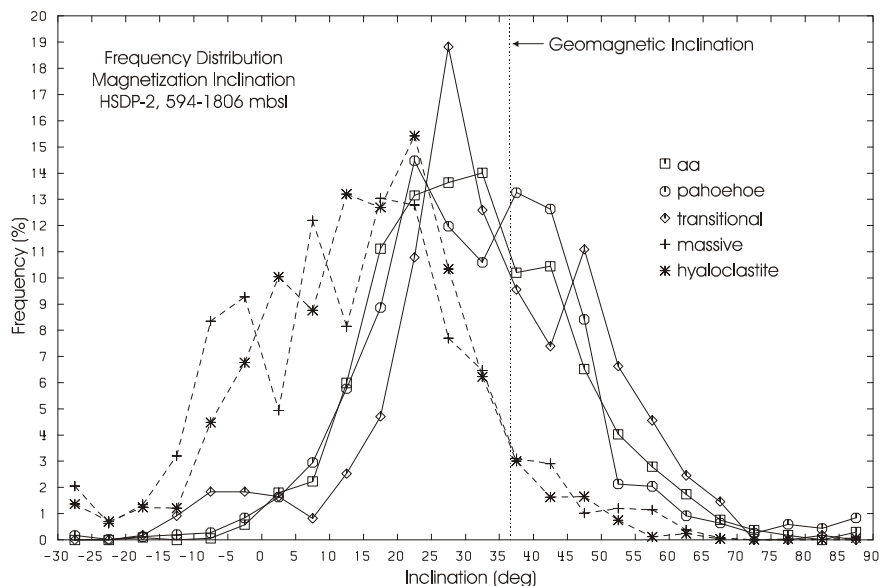


Abb. 2: Normierte Häufigkeitsverteilungen von Inklinationen der Gesteinsmagnetisierung für subaerische (aa, pahoehoe, transitional, ausgezogene Kurven) und submarine Lavaflows (massive, hyaloclastite, gestrichelte Kurven). Die Schwerpunkte aller 5 Verteilungen sind gegenüber der heutigen Inklination des Hauptfeldes (gepunktete vertikale Linie bei 37.6°) erniedrigt. Im Mittel weisen submarine (ältere) Lavaflows geringere Inklinationen auf als subaerische (jüngere).

Inklinationen von Bohrkernen und vom Loggen

Von verschiedenen Autoren ist die Inklination der Magnetisierung auch an Bohrkernen beider HSDP-Bohrungen bestimmt worden. In Abb. 3 werden diese 'Kern Inklinationen' mit den eigenen 'Logging Inklinationen' von HSDP-2 (ausgezogene Kurve) verglichen. Die gestrichelte Kurve gehört zu vorläufigen HSDP-2 'Kern Inklinationen' [Laj und Kissel, persönliche Mitteilung]. Die Übereinstimmung der Inklinationen von Kernen und vom Loggen ist sehr gut. Beide Kurven haben eine Variationsbreite von etwa 50°. Aus der Tatsache, daß die Kurven auch seitlich nicht gegeneinander versetzt sind, kann geschlossen werden, daß das Referenzfeld zur Bestimmung des anomalen Magnetfeldanteils richtig gewählt worden ist.

Mit Symbolen sind in Abb. 3 'Kern Inklinationen' aus HSDP-1 markiert. Um eine möglichst gute Korrelation zwischen HSDP-1 und HSDP-2 Inklinationen zu erreichen, mußten die Teufen von HSDP-1 um 100 m nach unten verschoben werden. Nach dieser Verschiebung passen dann aber sowohl die Inklinationen von Laj and Kissel [1999] als auch jene von Holt et al. [1996] sehr gut zu den beiden HSDP-2 Inklinationen.

Insgesamt konnten Inklinationen im Teufenbereich 600-1150 mbsl verglichen werden. Außerhalb des in Abb. 3 dargestellten Bereichs ist die Übereinstimmung auch noch zufriedenstellend.

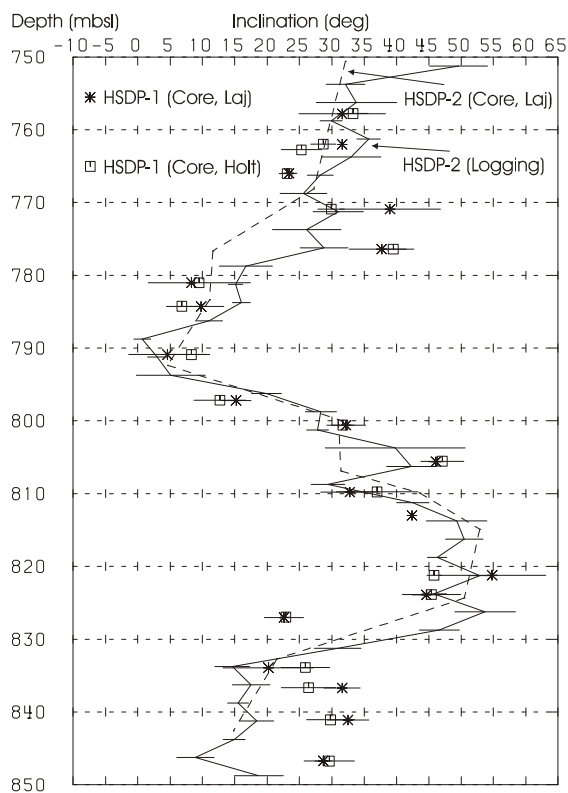


Abb. 3: Vergleich von Inklinationen der Magnetisierung in den Bohrungen HSDP-1 und HSDP-2 im Teufenbereich 750-850 mbsl. Die HSDP-1 Inklinationen (mit Symbolen markierte Einzelpunkte) sind an Kernen gemessen worden [Laj, Holt], und die zugehörigen Teufen mußten um 100 m nach unten verschoben werden um mit den HSDP-2 Inklinationen zu korrelieren. Die 'Logging Inklinationen' von HSDP-2 sind über jeweils 2.5 m Teufenintervall gemittelt (durchgezogene Kurve). Sie stimmen gut mit den an Kernen bestimmten HSDP-2 Inklinationen (Laj, gestrichelte Kurve) überein

Inklination der Magnetisierung und Alter der Lavaflows

Gemittelt über jeweils 10 m Teufenintervall, d.h. über 100 Meßwerte, ist die Inklination I des gesamten vermessenen Teufenbereichs 594-1806 mbsl in Abb. 4 dargestellt. Meistens ist I kleiner als die Inklination des gegenwärtigen Hauptfeldes (36.7°, vertikale gestrichelte Linie). Außer starken Variationen von I ist auch ein deutlicher Trend zu geringeren Inklinationen mit zunehmender Teufe zu erkennen. Eine mögliche Ursache könnte die Verbiegung der Lithosphäre unter der Auflast der Hawaii-Inselkette sein (Subsidenz).

Zu den von ihnen an HSDP-1 Kernen bestimmten Inklinationen haben Laj and Kissel [1999] auch Alter der Lavaflows angegeben. Über die gute Korrelation zwischen HSDP-1 und

HSDP-2 Inklinationen können damit auch die subaerischen HSDP-2 Lavaflows datiert werden. Diese Datierung erniedrigt ein von *DePaolo und Sharp* [persönliche Mitteilung] vorgeschlagenes vorläufiges Alters/Teufen-Modell für HSDP-2 um 30 ka. Die so korrigierte Alterskala ist in Abb. 4 rechts wiedergegeben. Damit können die beiden Minima von I bei 790 mbsl bzw. 1090 mbsl den von *Langereis et al.* [1997] angegebenen Exkursionen 'Levantine' bzw. 'unknown' zugeordnet werden. Eine neue unbekannte Exkursion ist bei 980 mbsl, d.h. bei 400 ka, zu vermuten.

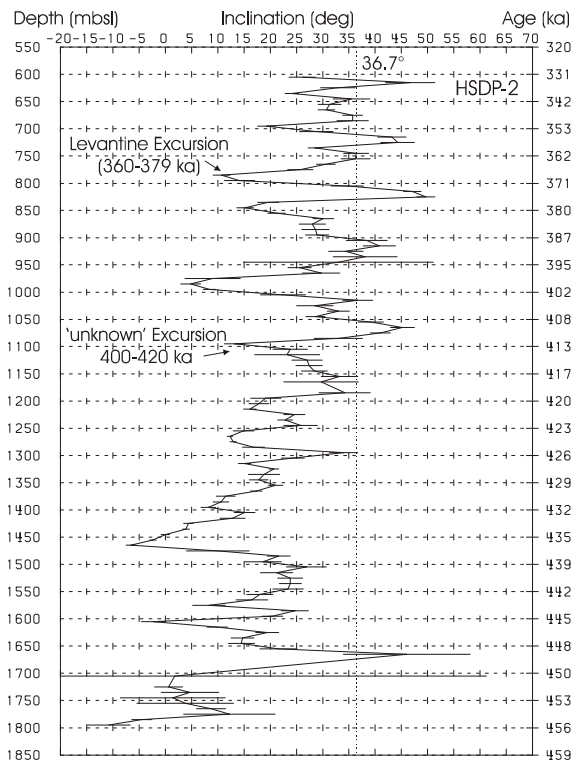


Abb. 4: Aus Loggingdaten ermittelte Inklinationen der Gesteinsmagnetisierung im Teufenbereich 600-1800 mbsl der HSDP-2 Bohrung. Die dargestellten Inklinationen sind Mittelwerte über 10 m Teufenintervall. Die am rechten Rand angegebenen Alter sind um 30 ka nach unten korrigierte Werte einer Modellrechnung von *DePaolo und Sharp*. Mit dieser Alterskala können zwei von *Langereis* angegebene Exkursionen des erdmagnetischen Feldes ('Levantine' und 'unknown') zwei Minima der Inklination zugeordnet werden. Außer den Variationen ist auch eine trendartige Abnahme der Inklination mit zunehmender Teufe (Alter) zu beobachten.

Literatur

- DePaolo, D. J., Stolper, E. M., Thomas, D. M. (Principal Investigators) and M. O. Garcia (Chief Core Logger), Hawaii Scientific Drilling Project, Core Logs and Summarizing Data (compact disk), 1999*
- Holt, J. W., Kirschvink, J. L. and F. Garnier, Geomagnetic field inclinations for the past 400 kyr from the 1-km core of the Hawaii Scientific Drilling Project., J. Geophys. Res., 101, 11655-11663, 1996*
- Laj, C. and C. Kissel, Geomagnetic field intensity at Hawaii for the last 420 kyr from the Hawaii Scientific Drilling Project core, Big Island, Hawaii, J. Geophys. Res., 104, 15,317-15,338, 1999.*
- Langereis, C. G., Dekkers, M. J., de Lange, G. J., Paterne M. and P. J. M. van Santvoort, Magnetostratigraphy and astronomical calibration of the last 1.1 Myr from an eastern Mediterranean piston core and dating of short events in the Brunhes, Geophys. J. Int., 129, 75-94, 1997.*
- Stelving, E., Stoll, J. B. und M. Leven, Messungen mit dem Göttinger Bohrlochmagnetometer in der HSDP-Bohrung Hilo/Hawaii, 5. Workshop Bohrlochgeophysik und Gesteinsphysik, Hrsg. C. Bücker, BGR Hannover, 2000*
- Stolper, E. M., DePaolo, D. J. and D. M. Thomas, Introduction to special section: Hawaii Scientific Drilling Project, J. Geophys. Res., 101, 11,593-11,598, 1996.*

Danksagung

Die PIs des HSDP Projekts, Don DePaolo, Ed Stolper und Don Thomas sowie Roy Wilkens haben die Bohrlochmessungen ermöglicht und uns unterstützt. Für die Bereitstellung noch unveröffentlichter Daten danken wir C. Laj und C. Kissel (CEA-CNRS, Gif-sur-Yvette) sowie A. Kontny, C. Vahle und H. de Wall (Heidelberg). Das Vorhaben wurde vom NSF und der DFG (Ste 371/6) gefördert.