

Suszeptibilitätsmessungen an subaerischen und submarinen Einheiten der HSDP-2 Bohrkerne, Big Island (Hawaii)

Carsten Vahle, Agnes Kontny, Helga de Wall

*Geologisch-Paläontologisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität
Im Neuenheimer Feld 234, D-69120 Heidelberg, Germany
Carsten_Vahle@urz.uni-heidelberg.de*

Einführung

Hawaii, als Archetyp des Ozeaninsel-Vulkanismus, wurde als Standort für ein internationales geowissenschaftliches Projekt ausgewählt, um den Ursprung und die Entwicklung von Hot-Spot gebundenem Vulkanismus zu erforschen [Stolper *et al.*, 1996]. Das Hawaii Scientific Drilling Project (HSDP) ist Teil des International Continental Scientific Drilling Project (ICDP) und begann 1993 mit einer Vorbohrung (KP-1), die bis in 1000 m Tiefe reicht. Als Bohrlokation wurde die Flanke des Mauna Kea Vulkans ca. 2 km östlich der Stadt Hilo ausgesucht. Die Hauptbohrung (HSDP-2) wurde 1999 bis in eine Tiefe von 3110 m abgeteuft und soll im Frühjahr 2002 bis auf 4500 m vertieft werden.

Neben wichtigen Aspekten der Geochemie und Isotopie bietet das HSDP die einzigartige Möglichkeit, einen Einblick in die magnetische Struktur eines Hot-Spot gebundenen Schildvulkans (Mauna Kea) zu erhalten. Durch den hervorragenden Kerngewinn von ca. 95 % ist ein nahezu lückenloses Profil durch die vulkanischen Ablagerungen zugänglich, die sich in den letzten 600 ka gebildet haben. Damit sind detaillierte Untersuchungen zu den primären und sekundären Prozessen, die die Magneto-Mineralogie kontrollieren, im Hinblick auf die Entwicklung des Vulkans möglich.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die in Laven eines Schildvulkans wirksamen Prozesse mit gesteinsmagnetischen und mineralogischen Methoden zu erfassen und zu untersuchen. Dabei wird eine magneto-mineralogische Charakterisierung der Träger der Magnetisierung durchgeführt, um auf den Einfluss von Prozessen wie Hoch-Temperatur Oxidation, hydrothermale Alteration, Maghemitisierung oder Verwitterung schließen zu können.

Die durchteuften Einheiten können in drei Teilbereiche untergliedert werden: subaerische Laven des Vulkans Mauna Loa (ML) und des Mauna Kea (MK) sowie vulkanische Gesteine des MK, die unter submarinen Bedingungen entstanden sind (siehe auch Abb. 1; alle Tiefenangaben beziehen sich auf Meter unter Meereshöhe). Bei den subaerischen Einheiten handelt es sich um Aa- und Pahoehoe-Laven, also um Block- und Strick- oder Seil-Laven, die sich im Wesentlichen in ihrem Fließverhalten unterscheiden. Die Grenze zwischen den Ablagerungen des ML und des MK befindet sich bei 246 m. Die Einheiten im Hangenden und Liegenden dieser Grenze sind Transitional-Laven, die den Übergang vom Mauna Loa zum Mauna Kea Vulkan kennzeichnen. Teilweise sind Aschelagen und Bodenhorizonte eingeschaltet. Die Grenze zwischen den subaerischen und den submarinen Einheiten befindet sich bei 1078 m. Die ab dieser Tiefe anzutreffenden Hyaloklastite dominieren den oberen submarinen Abschnitt und wurden mit abnehmender Tendenz zur Sole der Bohrung hin bis in ca. 2900 m beobachtet. Hyaloklastite bestehen aus Gesteinsfragmenten unterschiedlicher Größe, die in einer feinkörnigen bis glasigen Matrix eingebettet sind, und entstehen in submarinem Bereich durch Abschreckung und Fragmentierung von Lava oder auch als Aufarbeitungsprodukt von z.B. Lava-Strömen oder Pillow-Laven [z.B. Honorez, 1963, Kokelaar, 1986]. In diese Hyaloklastite sind massive Einheiten eingeschaltet, deren Herkunft nicht eindeutig geklärt ist. Es kann sich dabei um Pillow-Laven oder Intrusiva handeln. Solche aus dem flachmarinen Bereich sind wahrscheinlich subaerische

Lava-Ströme, die bis ins Meer geflossen sind (C. Seaman, pers. Mitt., 2001). Ab einer Tiefe von 1850 m treten zunehmend Intrusiva und Pillow-Laven auf.

Methodik

Magnetische Suszeptibilitätsmessungen wurden mit dem Handkappameter KT-5 der Firma Geofyzika (Brno) durchgeführt. Dieses Messgerät besitzt eine Empfindlichkeit von $1 \cdot 10^{-5}$ SI und arbeitet im Bereich von 0.00 bis $999 \cdot 10^{-3}$ SI, wobei 90 % des Signals von den ersten 20 mm der Probe erzeugt werden. An den Kernhälften wurden fast 5000 einzelne Messungen in 22 Profilen mit einer Gesamtlänge von ca. 570 m, bei einem Messpunktabstand von ca. 10 cm, durchgeführt. Die magnetische Suszeptibilität (κ) ist eine dimensionslose Materialkonstante und ein Maß für die Magnetisierbarkeit, angegeben in 10^{-3} oder 10^{-6} SI-Einheiten.

Anhand der gewonnenen κ -Profile wurden Beprobungspunkte an den Kernstücken festgelegt, die mit Hilfe eines Kernbohrgerätes beprobt wurden. Die dabei gewonnenen Standard-Probenzylinder (10 cm^3) wurden zu weiteren Laboruntersuchungen ($\kappa(T)$, AF-Abmagnetisierung, IRM-Erwerb, Hystereseparameter, Lichtmikroskopie, sowie EMS und REM) herangezogen, die in anderen Beiträgen publiziert sind (z.B. Kontny et al., eing.).

Ergebnisse

Allgemein wurden relativ hohe Suszeptibilitäten von bis zu 96 (alle κ -Werte in 10^{-3} SI) beobachtet, was auf einen ferrimagnetischen Träger der Magnetisierung schließen lässt. Dabei handelt es sich vorwiegend um Titanomagnetit. Als weitere Erzmineralphasen treten der Cr-Al Spinell, Ilmenit, Titanohämatit, Pyrit und vereinzelt Pyrrhotin auf. Die höheren κ -Werte sind in den subaerischen Einheiten zu finden, während die niedrigsten die Hyaloklastite aus dem submarinen Bereich zeigen. In Abbildung 2 sind vier Beispiele der gemessenen Suszeptibilitätsprofile dargestellt, die deutlich zeigen, dass sich die einzelnen Lithologien in ihrer magnetischen Suszeptibilität unterscheiden. An den Schichtgrenzen ist meist ein Abfall bzw. Anstieg von κ zu beobachten. Aber auch innerhalb einer Gesteinseinheit sind durchaus starke Schwankungen festzustellen (z.B. unit 0048, Aa-Lava, oder unit 0286, Hyaloklastit).

Im **subaerischen Bereich** (Abb. 2a) treten die niedrigen Werte generell an den Schichtgrenzen auf. Ein Grund hierfür könnte die Brekzierung am Top und an der Basis insbesondere von Aa-Laven sein. Ebenso reduzieren Hohlräume die magnetische Suszeptibilität. Bis auf einige Ausnahmen, oder wenn die Schichtmächtigkeit zunimmt, bleibt κ relativ konstant, d.h. Suszeptibilitätsunterschiede sind vorwiegend auf unterschiedliche Lithologien zurückzuführen, wobei die Einheiten des Mauna Loa geringere Werte als die des Mauna Kea besitzen. Die unit 0048 (Abb. 2a) gibt ein Beispiel für interne

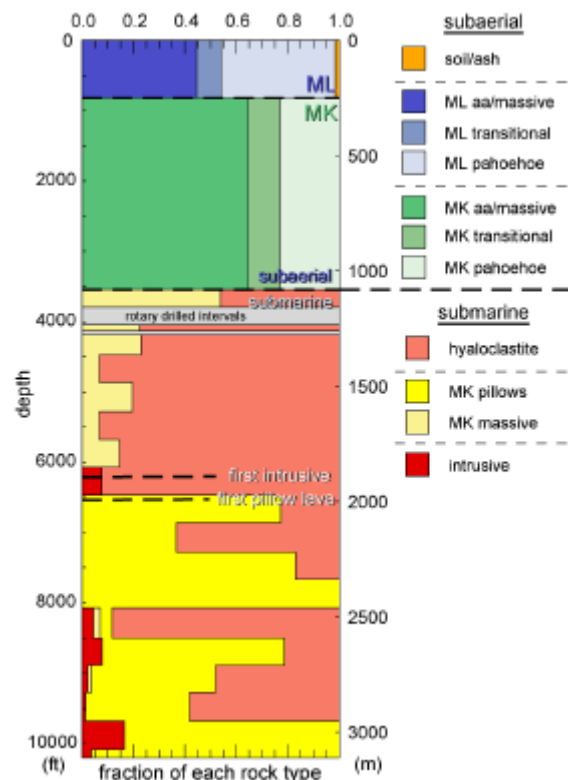


Abb. 1: Lithologisches Säulenprofil der durchteuften Gesteinseinheiten des HSDP-2 Bohrkerns [mod. DePaolo et al., 2001].

Suszeptibilitätsschwankungen, die auf einen variierenden Oxidationsgrad innerhalb eines Lavastroms zurückzuführen sind. Im Zentrum dieser Aa-Lava konnten sich die ursprünglich homogenen Titanomagnetite (TM60-70) zu einer Magnetit-nahen und Ilmenit-nahen Phase entmischen, da die Lava dort nicht so schnell abkühlte wie an den Schichtgrenzen. Dies resultiert in einer Erhöhung der

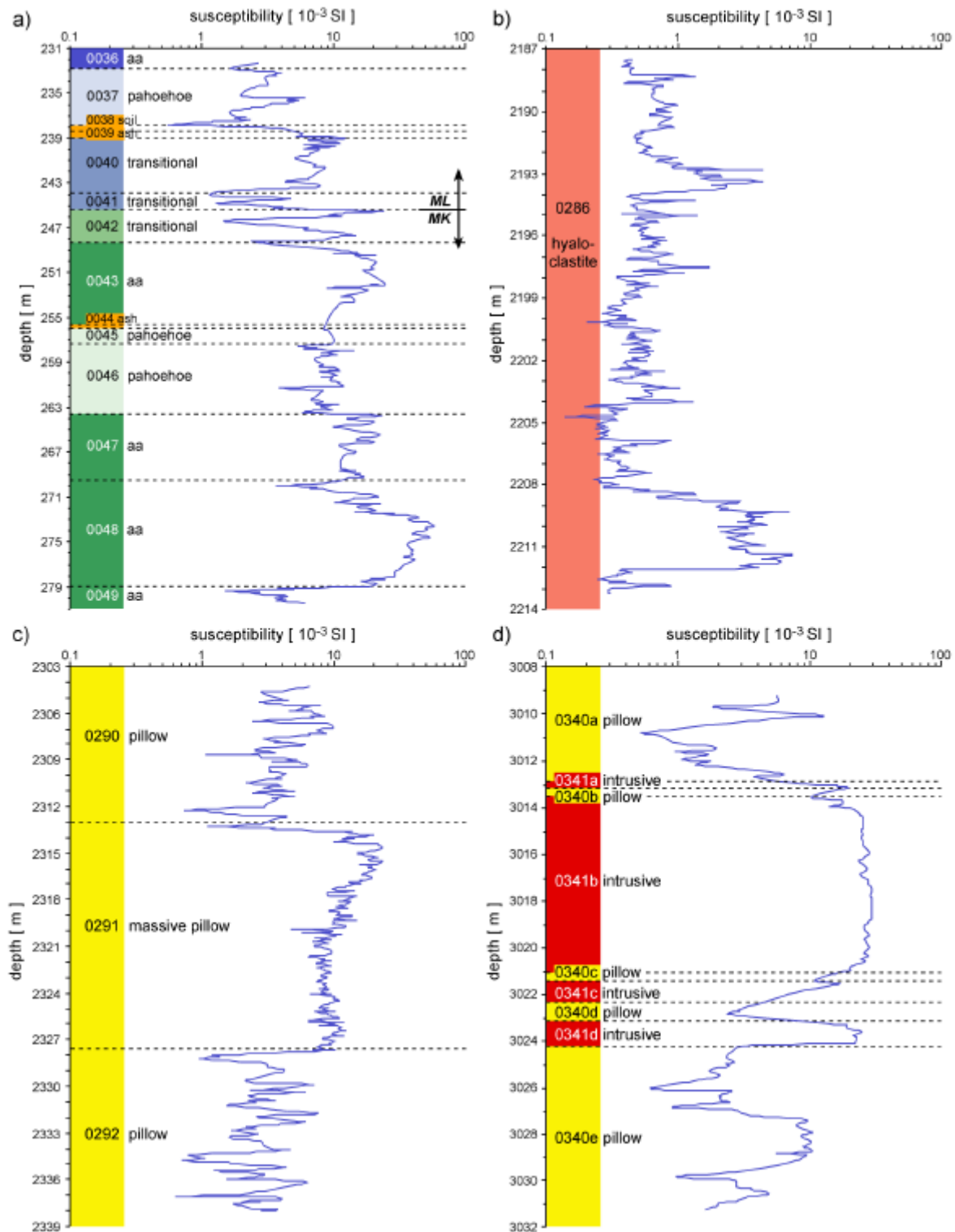


Abb. 2: Beispiele der gemessenen κ -Profile: (a) subaerischer Bereich mit Übergang ML-MK, (b) mächtige Hyaloklastit-Einheit des MK, (c) unterschiedliche Pillow-Laven des MK, (d) Intrusiva, eingeschaltet in MK-Pillow-Laven.

Suszeptibilität im zentralen Bereich des Lavastroms.

Die **Hyaloklastite** konnten anhand ihrer magnetischen Suszeptibilität in zwei Typen unterteilt werden: in einen paramagnetisch dominierten Typ 1 mit κ -Werten < 1 und einem Maximum bei 0.5 und einen ferrimagnetisch dominierten Typ 2 ($\kappa > 1$). Der Typ 1 zeigt ein matrix-gestütztes Gefüge und besitzt nur sehr geringe Suszeptibilitäten < 0.5 , wenn sedimentäre Strukturen, wie z.B. Schichtung oder Gradierung zu beobachten sind. Der Typ 2 ist eher durch ein korn-gestütztes Gefüge gekennzeichnet und erzeugt durch entsprechende Basaltklasten die spitzen κ -Peaks in den Profilen (Abb. 2b). Über 50 % der gemessenen Werte bewegen sich im Bereich zwischen 0.1 und 1.0 (siehe auch Abb. 3d). Jedoch können durch einen hohen Anteil an Basaltklasten relativ hohe Suszeptibilitäten von bis zu ca. 20 erreicht werden. Das bedeutet, dass das magnetische Verhalten der Hyaloklastite durch die Basaltklasten und teilweise durch kleinste Magnetitkörnchen ($< 1 \mu\text{m}$) in der glasigen Gesteinsmatrix kontrolliert wird. Oftmals sind Trends (Teufenbereich 2191 bis 2194 m) im magnetischen Signal zu beobachten, wobei die Werte mit der Tiefe ansteigen. Dies ist ein Indiz für die Entstehung des Hyaloklastits durch nicht primär eruptive Ereignisse wie z.B. Schuttströme, bei denen durch Gradierung der Anteil an Klasten zu- bzw. abnimmt und damit auch κ . Allgemein zeigt dieses Profil, dass sich mit Hilfe der Messungen der magnetischen Suszeptibilität diese Einheit in mehrere Teilbereiche gliedern lässt und demnach nicht als eine Hyaloklastiteinheit, die durch ein Ereignis entstanden ist, angesprochen werden kann.

Ein Profil mit **Pillow-Laven** zeigt Abbildung 2c. Für die Pillows ist ein Schwanken bzw. Pendeln von κ um 3 - 5 Einheiten charakteristisch. Dies wird durch die glasigen Pillowränder (chilled margins) und Pillowbrekzien erzeugt, in denen nur Cr-Al Spinell beobachtet wurde und der Magnetit nur submikroskopisch auftritt. In manchen Profilen lassen sich anhand der geringen Werte in den Pillowrändern die Durchmesser der einzelnen Pillows abschätzen. Die ca. 15 m mächtige, massive Einheit 0291 stellt insofern eine Ausnahme dar, als dass dort für Pillow-Laven sehr hohe κ -Werte auftreten, wobei die für Pillows typische Streuung zu beobachten ist. Die hohen Werte sind auf einen hohen Anteil von homogenem Titanomagnetit zurückzuführen, wobei die Abnahme von κ zur Basis hin mit einer Abnahme der Hohlraumanzahl und -größe einhergeht. Die Abgrenzung zu den umgebenden Einheiten erfolgt durch eine Pillowbrekzie, was sich in sehr geringen Werten um 1 - 2 widerspiegelt.

Die **Intrusiveinheiten** besitzen die höchsten Suszeptibilitäten des submarinen Bereichs. Bei Mächtigkeiten von mindestens 1 m sind sehr konstante Werte schon nahe der Schichtgrenzen charakteristisch (Abb. 2d). Solche Plateaus sind ebenfalls für die massiven Einheiten typisch. Die niedrigen κ -Werte treten an den Rändern auf, was sich mit einer gegenüber dem zentralen Bereich unterschiedlichen Zusammensetzung und geringeren Korngrößen der Titanomagnetite erklären lässt. Die Untergliederung der Lithologien in diesem Profil in a, b, c usw. ist darin begründet, dass das Magma nicht in nur eine Spalte intrudiert, sondern in einen Bereich von Spalten mit unterschiedlichen Mächtigkeiten eingedrungen ist.

Eine Häufigkeitsverteilung der in den Lithologien auftretenden Suszeptibilitäten zeigt Abbildung 3. Beim Vergleich der subaerischen Einheiten des Mauna Loa mit denen des Mauna Kea wird die größere Streuung der Werte aller drei Lithologien des MK deutlich. Die Durchschnittswerte verschieben sich zu höheren Suszeptibilitäten hin (siehe auch Tab. 1), wobei die Aa-Laven die höchsten κ -Werte besitzen, gefolgt von den Transitional-Laven. Die Pahoehoe-Laven zeigen die niedrigsten Werte. In den submarinen Einheiten (Abb. 3c) zeigt sich eine Affinität zwischen den Pillow- und massiven Laven, was ein Hinweis auf die teilweise ungeklärte Entstehung und Zugehörigkeit der massiven Einheiten sein könnte. Die Werte der Intrusiva oberhalb 2900 m bewegen

sich im gleichen Bereich wie die der Pillows und massiven Laven. Ab 2900 m Tiefe erfolgt ein starker Anstieg der Suszeptibilitäten, der jedoch nur bei den Intrusiva beobachtet werden konnte. Es existiert keine systematische Korrelation mit der Tiefe oder der Schichtmächtigkeit. Die Hyaloklastite (Abb. 3d) zeigen ein gut definiertes Häufigkeitsmaximum um 0.5 mit einer kontinuierlichen Abnahme zu höheren Werten hin. Mehr als 50 % der gemessenen Werte gehören in den Intervall von 0.25 – 0.75, wie es für Hyaloklastite mit einem geringen Anteil an Klasten typisch ist. Die höheren κ -Werte sind auf einen größeren Klastenanteil, größere Klasten oder auf Klasten mit sehr hohen Suszeptibilitäten

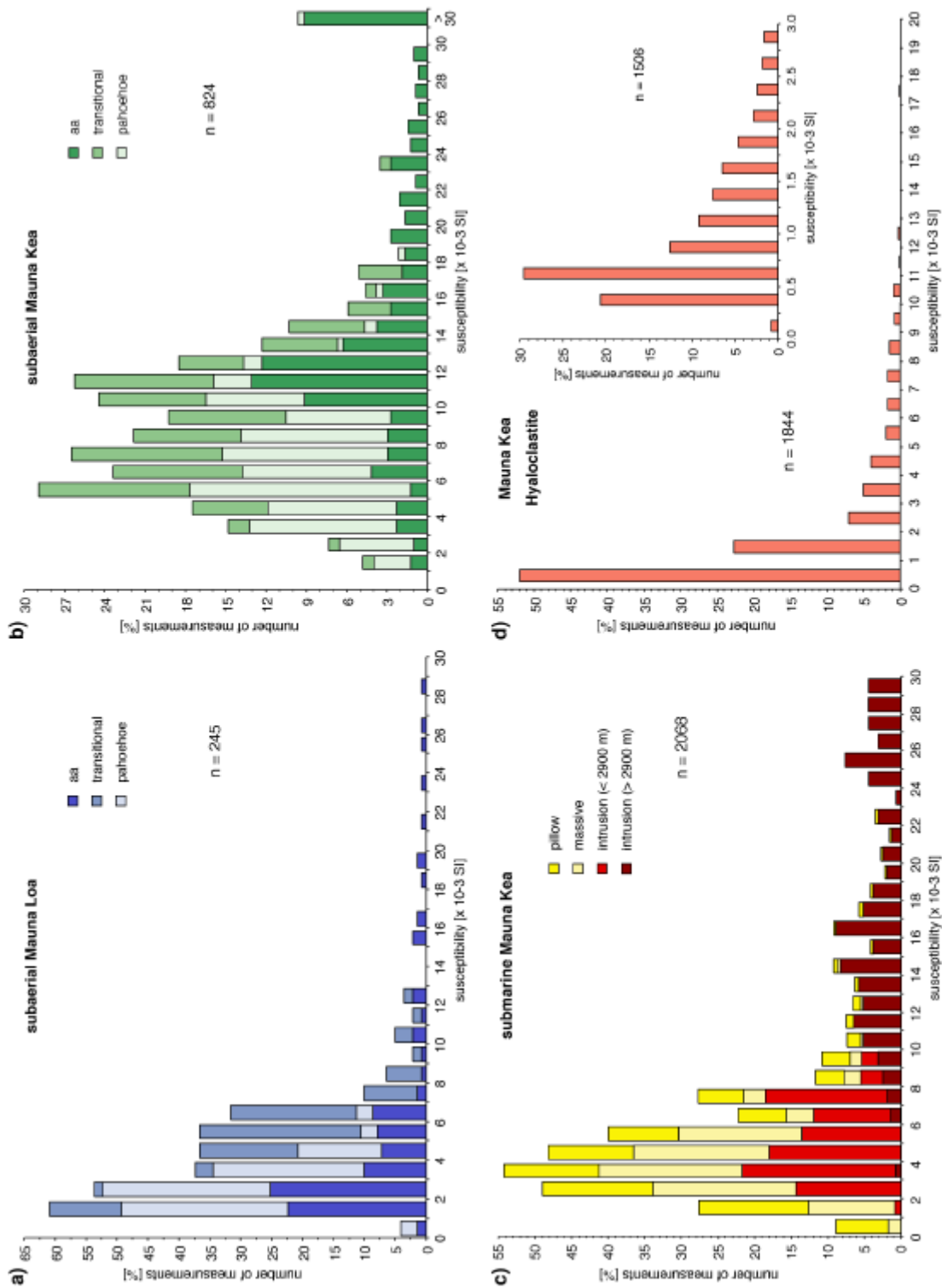


Abb. 3: κ -Histogramme der Einheiten (a) des Mauna Loa (subaerisch), des subaerischen (b) und submarinen (c) Bereichs des Mauna Kea; (d) κ -Histogramme der Hyaloklastite.

zurückzuführen.

Unsere Beobachtungen stimmen gut mit denen von z.B. *Bücker et al.* [1999] überein, die ebenfalls die magnetische Suszeptibilität als einen diagnostischen petrophysikalischen Parameter vorschlagen, um unterschiedliche subaerische Lava-Einheiten voneinander zu unterscheiden.

Tab. 1: κ -Werte der verschiedenen Lithologien aus den unterschiedlichen Bereichen des ML und MK.

	Mauna Loa (subaerisch)			Mauna Kea (subaerisch)		
	Pahoehoe	Aa	Transitional	Pahoehoe	Aa	Transitional
n	37	139	69	219	482	125
κ min	0.6	0.8	1.2	1.5	1.3	1.5
κ max	6.0	28.5	12.4	31.3	95.5	23.7
Mittelw.	2.8	5.3	5.7	6.8	16.1	9.5
Std-Abw.	1.2	5.5	2.4	3.3	11.1	3.8
MEAN	4.6 ± 3.0			10.8 ± 6.1		

	Mauna Kea (submarin)					
	Massive	Pillows	Intrusiva < 2900 m	Intrusiva > 2900 m	Hyaloklastite <i>paramagnet.</i>	Hyaloklastite <i>ferrimagnet.</i>
n	542	1236	133	157	958	886
κ min	0.6	0.3	1.9	3.6	0.1	1.0
κ max	23.6	22.8	9.4	29.9	1.0	19.7
Mittelw.	4.1	4.8	5.0	18.0	0.6	3.3
Std-Abw.	2.2	3.7	1.9	6.6	0.2	2.7
MEAN	4.7 ± 2.6					

Zusammenfassung

Es hat sich gezeigt, dass mit Hilfe der magnetischen Suszeptibilität lithologische Grenzen, aber auch κ -Schwankungen innerhalb einer Einheit gut widerspiegelt werden. Dies trifft besonders auf den submarinen Bereich zu. Für unterschiedliche κ -Werte ist vor allem der Träger der Magnetisierung und dessen Zusammensetzung ausschlaggebend. Der Anteil und die Verteilung sowie die Korngröße spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Folgende Charakteristika haben sich im Laufe der Untersuchung ergeben (siehe auch Kontny et al., eing.):

- Die Laven des Mauna Loa zeigen allgemein geringere κ -Werte als die des Mauna Kea, was an der unterschiedlichen Schmelzzusammensetzung liegen könnte. Beim ML handelt es sich um Tholeiite [DePaolo et al., 2001], während die unterlagernden Einheiten des MK eher alkalinen Charakter haben und damit das Ende der Schild-bildenden Phase anzeigen.
- Verschiedene subaerische Laven lassen sich anhand ihrer magnetischen Suszeptibilität unterscheiden (Aa-Laven zeigen die höchsten Werte, dann folgen die Transitional- und die Pahoehoe-Laven). Dies rührt von den Transportmechanismen und den daraus resultierenden Texturen und Korngrößen her.

- Variationen von κ innerhalb von Lavaströmen deuten auf Hoch-Temperatur Oxidation hin, die sich maßgebend auf die primär homogenen Titanomagnetite auswirkt.
- Der submarine Bereich lässt sich untergliedern in massive Gesteinseinheiten und Hyaloklastite. Die Pillow-Laven, massiven Einheiten und die Intrusiva sind kaum in ihrem magnetischen Signal zu unterscheiden, wobei die Werte der Pillows die stärkste Streuung aufweisen. Die Hyaloklastite besitzen konstant niedrige Werte, nimmt der Anteil an Basaltfragmenten zu, steigt auch κ .
- In den submarinen Einheiten kontrolliert die Abkühlgeschichte bzw. der Grad der Abschreckung durch Meerwasser die magnetischen Eigenschaften der Gesteine, was sich in gravierenden Korngrößenunterschieden und unterschiedlichen Zusammensetzungen des Titanomagnetits äußert.

Danksagung

Diese Arbeit wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert (KO 1514/1). Wir möchten uns bei C. Dietl und T. Pelzer für Labortätigkeiten bedanken.

Literatur

- DePaolo, D. J., Stolper, E., and D. M. Thomas**, Deep Drilling into a Hawaiian Volcano, *Eos Trans. AGU*, 82, 13, 2001.
- Bücker, C. J., Cashman, K. V., and S. Planke**, Data Report: physical and magnetic characterization of aa and pahoehoe flows: hole 990A, *Proc. ODP, Sci. Res.*, 163, 41-49, 1999.
- Honnorez, J.**, Sur l'origin des hyaloclastites (Note preliminaire), *Bull. Volcanol.*, 25, 253-258, 1963.
- Kokelaar, P.**, Magma-water interactions in subaqueous and emergent basaltic volcanism, *Bull. Volcanol.*, 48, 275-289, 1986.
- Kontny, A., Vahle, C., and H. de Wall**, Characteristic magnetic behavior of subaerial and submarine lava units from the Hawaiian Scientific Drilling Project (HSDP-2), *eingereicht bei G³*, Jan. 2002.
- Stolper, E. M., DePaolo, D. J., and M. Thomas**, Introduction to special section; Hawaii Scientific Drilling Project, *J. Geophys. Res.*, 101, B5, 11593-11598, 1996.