

M. Hock

Die elektrische Leitfähigkeit von Basalten aus Island bei hohen Temperaturen und Drucken

Die elektrische Leitfähigkeit verschiedener tholeiitischer Basalte aus Island wurde in einer Kolben-Zylinder-Apparatur als Funktion der Temperatur gemessen. Die Messung erfolgte mit Hilfe einer Schutzring-Anordnung, um eine definierte stromdurchflossene Fläche zu erhalten. In der Abb. 1 sind die Meßergebnisse von drei Basalten wiedergegeben, deren Leitfähigkeiten von mir bereits vor längerer Zeit ermittelt wurden.

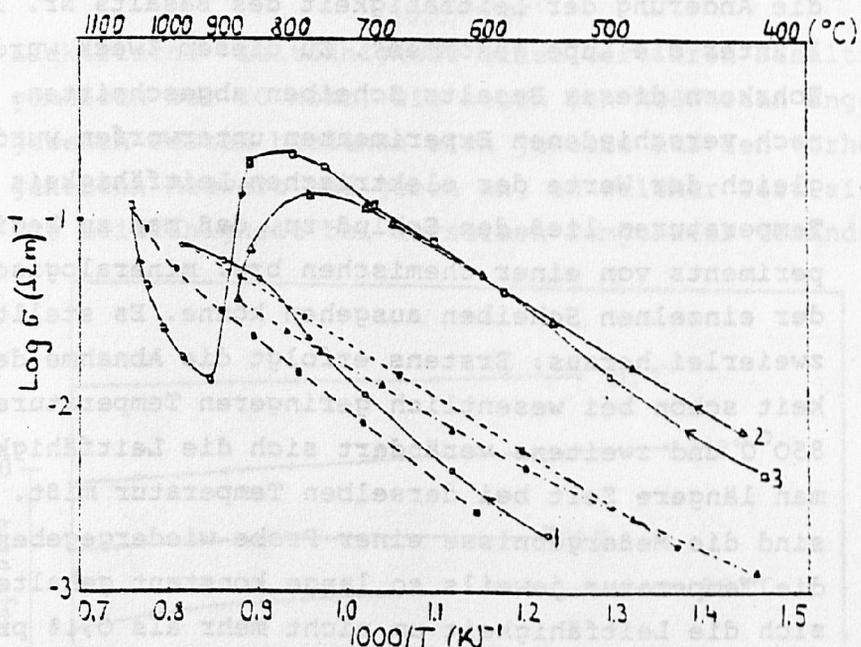


Abb.1: Zyklus 1: Aufheiz- (offene Kreise) und Abkühl-Kurve (schwarze Kreise) eines jungvulkanischen Basalts, gemessen bei 6 kbar

Zyklus 2: Aufheiz- (offene Dreiecke) und Abkühl-Kurve (schwarze Dreiecke) eines tertiären Basalts, gemessen bei 4 kbar

Zyklus 3: Aufheiz- (offene Quadrate) und Abkühl-Kurve (schwarze Quadrate) eines tertiären Basalts, gemessen bei 2 kbar

Bemerkenswert ist der große Unterschied in der Leitfähigkeit zwischen den tertiären Basalten (Nr.2 und 3 der Abb. 1) und dem jungvulkanischen (Nr.1) bis zur Temperatur von 800-850°C, bei der eine drastische Abnahme der Leitfähigkeit der tertiären Basalte zu beobachten war. Eine ähnliche Beobachtung machte auch Rai (1978). Es dauerte mehrere Stunden, bis die Leitfähigkeit (für Basalt Nr. 3 der Abb. 1) bei 920°C einen konstanten Wert erreichte. Bei anschließender Temperatur-Erhöhung nahm die Leitfähigkeit in einer für die Schmelze typischen Form zu. Beim Abkühlen war dann die Leitfähigkeit der tertiären Basalte in der Größenordnung der jungvulkanischen. Eine Bestimmung des Wassergehaltes hatte das Ergebnis, daß Basalt Nr. 3 ursprünglich 2,5 Gewichts-% Wasser enthielt, während Basalt Nr. 1 nur 1,5% Wassergehalt hatte. Daraufhin wurde die Änderung der Leitfähigkeit des Basalts Nr. 3 genauer "unter die Lupe genommen". Zu diesem Zweck wurden aus einem Bohrkern dieses Basalts Scheiben abgeschnitten, die der Reihe nach verschiedenen Experimenten unterworfen wurden. Ein Vergleich der Werte der elektrischen Leitfähigkeit bei niedrigeren Temperaturen ließ den Schluß zu, daß man zu Beginn jedes Experiments von einer chemischen bzw. mineralogischen Identität der einzelnen Scheiben ausgehen könne. Es stellte sich nun zweierlei heraus: Erstens erfolgt die Abnahme der Leitfähigkeit schon bei wesentlich geringeren Temperaturen als 800-850°C und zweitens verändert sich die Leitfähigkeit, wenn man längere Zeit bei derselben Temperatur mißt. In Abb. 2 sind die Meßergebnisse einer Probe wiedergegeben, bei der die Temperatur jeweils so lange konstant gehalten wurde, bis sich die Leitfähigkeit um nicht mehr als 0,1% pro Stunde veränderte.

In Abb. 3 sind die größten Veränderungen der Leitfähigkeit als Funktion der Zeit aufgetragen, wobei man erkennen kann, daß sich die Leitfähigkeit häufig erst nach etlichen Tagen nicht mehr änderte. (Das ganze Experiment dauerte insgesamt 5 Monate).

Das Maß der (absoluten) Veränderungen der Leitfähigkeit bei bestimmten Temperaturen ist in Abb. 4 zu sehen (Kurve 3).

Punkt 1 und Kurve 2 kennzeichnen zwei weitere Experimente, bei denen die Veränderung innerhalb weniger Stunden erfolgte, dann allerdings die Temperatur wieder erhöht bzw. die Probe abgeschreckt wurde, sodaß man keineswegs die Annahme aufrecht-

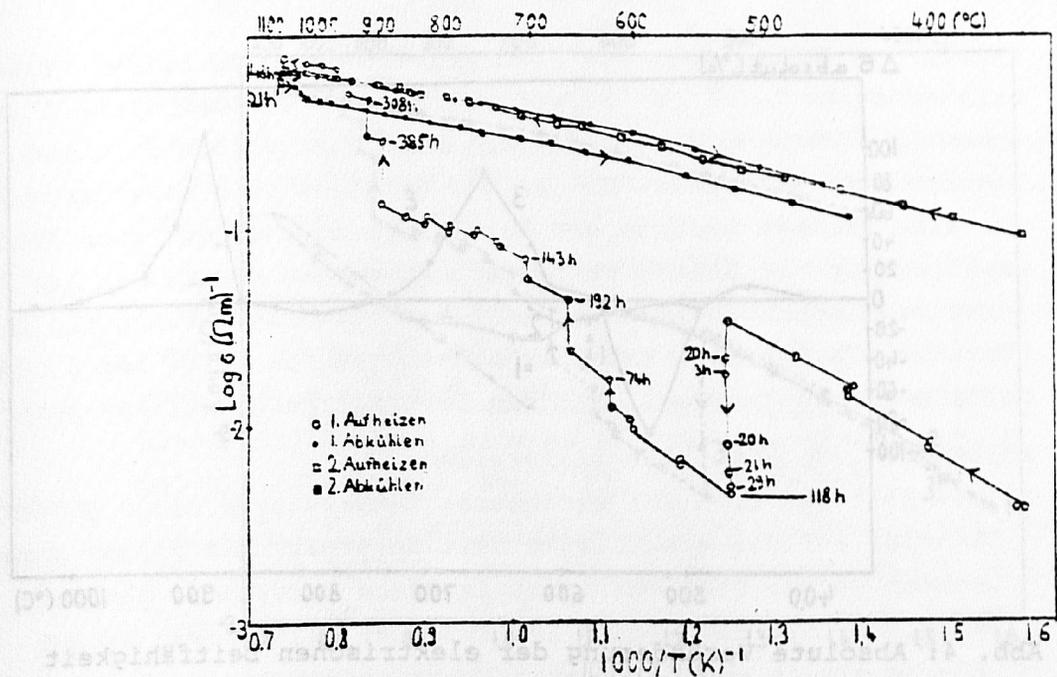


Abb. 2: Elektrische Leitfähigkeit eines tertiären Basalts, gemessen bei 10 kbar. Die neben den Meßwerten angegebenen Zeiten beziehen sich jeweils auf den vorhergehenden Meßwert und geben an, in welcher Zeit sich die Leitfähigkeit bei derselben Temperatur veränderte.

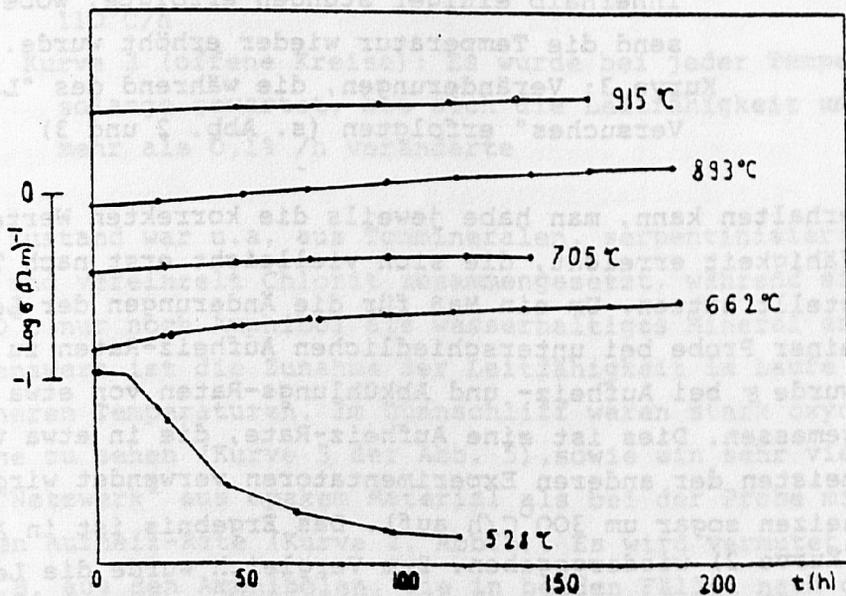


Abb. 3: Elektrische Leitfähigkeit (größenordnungsmäßig) eines tertiären Basalts, gemessen bei 10 kbar, als Funktion der Zeit bei verschiedenen Temperaturen (s. Abb. 2)

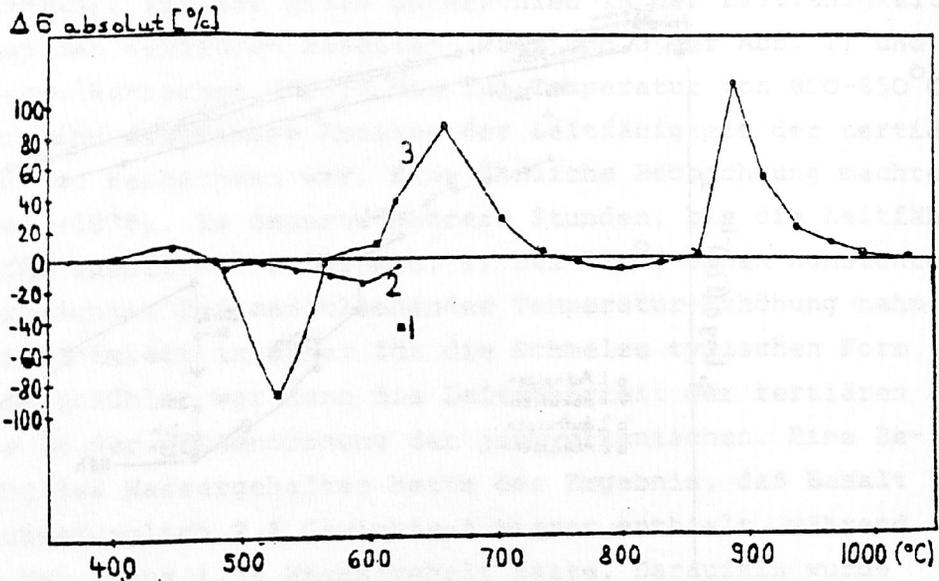


Abb. 4: Absolute Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit eines tertiären Basalts, gemessen bei 10 kbar, in % als Funktion der Temperatur.

Punkt 1: Versuch, bei dem erst bei 625°C 5 1/2 Stunden gewartet wurde (s. auch Kurve 1 der Abb. 5)

Kurve 2: Veränderung der Leitfähigkeit, die jeweils innerhalb einiger Stunden erfolgte, wobei anschließend die Temperatur wieder erhöht wurde.

Kurve 3: Veränderungen, die während des "Langzeit-Versuches" erfolgten (s. Abb. 2 und 3)

erhalten kann, man habe jeweils die korrekten Werte der Leitfähigkeit erreicht, die sich vielleicht erst nach Tagen eingestellt hätten. Um ein Maß für die Änderungen der Leitfähigkeit einer Probe bei unterschiedlichen Aufheiz-Raten zu erhalten, wurde  $\sigma$  bei Aufheiz- und Abkühlungs-Raten von etwa 110°C/h gemessen. Dies ist eine Aufheiz-Rate, die in etwa von den meisten der anderen Experimentatoren verwendet wird (Manche heizen sogar um 300°C/h auf). Das Ergebnis ist in Abb. 5 (Kurve 2) wiedergegeben. Zum Vergleich wurde die Leitfähigkeit des "Langzeit-Versuches" (Abb. 2) mit eingezeichnet sowie ein weiterer Versuch (Kurve 1), bei dem erst bei 625°C einige Stunden gewartet wurde. Man kann erkennen, daß sich erst bei 530°C die Heizzeit wesentlich auf die Leitfähigkeit auswirkt. Der Gehalt an Wasser einer Probe, die langsam bis 600°C aufgeheizt wurde, nahm von 2,5% auf 0,9 Gew.-% Wasser ab. Diese Entwässerung war auch an Dünnschliffen zu beobachten. Die Probe im ursprüng-

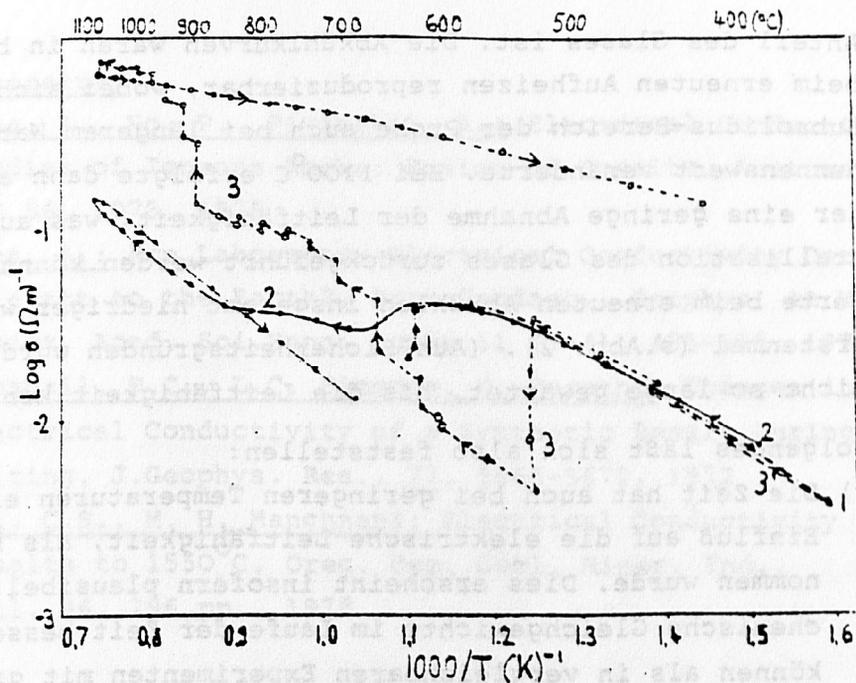


Abb. 5: Elektrische Leitfähigkeit eines tertiären Basalts, gemessen bei 10 kbar, mit unterschiedlichen Aufheiz-Raten.

Kurve 1 (Dreiecke): Aufheiz-Rate  $110^{\circ}\text{C/h}$ ; bei  $625^{\circ}\text{C}$  wurde  $5\frac{1}{2}$  Stunden gewartet (s. Abb.4, Punkt 1)

Kurve 2 (schwarze Punkte): Aufheiz- und Abkühl-Rate  $110^{\circ}\text{C/h}$

Kurve 3 (offene Kreise): Es wurde bei jeder Temperatur solange gewartet, bis sich die Leitfähigkeit um nicht mehr als  $0,1\%$  /h veränderte

lichen Zustand war u.a. aus Tonmineralen, serpentinisiertem Olivin und vereinzelt Chlorit zusammengesetzt, während sie bei  $620^{\circ}\text{C}$  nur noch Amphibol als wasserhaltiges Mineral enthielt. Bemerkenswert ist die Zunahme der Leitfähigkeit im Laufe der Zeit bei höheren Temperaturen. Im Dünnschliff waren stark oxydierte Pyroxene zu sehen (Kurve 3 der Abb. 5), sowie ein sehr viel dichteres "Netzwerk" aus opakem Material als bei der Probe mit der üblichen Aufheiz-Rate (Kurve 2, Abb.5). Es wird vermutet, daß sich z.B. aus den Amphibolen, die in beiden Fällen nach dem Versuch nicht mehr entdeckt werden konnten, z.T. Eisen ausgeschieden und Magnetit gebildet hat. In einer persönlichen Mitteilung an unserem Institut wies Dr. Petersen darauf hin, daß es sich bei dem opakem Material teilweise auch um Glas handeln könne. Suszeptibilitäts-Messungen und Anschliffe sollen darüber Auskunft geben, um welches Erz es sich handelt und wie groß der

Anteil des Glases ist. Die Abkühlkurven waren in beiden Fällen beim erneuten Aufheizen reproduzierbar, wobei sich Kurve 3 im Subsolidus-Bereich der Probe auch bei längerem Warten nicht mehr nennenswert veränderte. Bei  $1100^{\circ}\text{C}$  erfolgte dann allerdings wieder eine geringe Abnahme der Leitfähigkeit, was auf eine Rekristallisation des Glases zurückgeführt werden könnte, da die Messwerte beim erneuten Abkühlen insgesamt niedriger waren als beim erstenmal (s. Abb. 2). (Aus Sicherheitsgründen wurde bei  $1100^{\circ}\text{C}$  nicht so lange gewartet, bis die Leitfähigkeit konstant blieb).

Folgendes läßt sich also feststellen:

- 1) Die Zeit hat auch bei geringeren Temperaturen einen größeren Einfluß auf die elektrische Leitfähigkeit, als bisher angenommen wurde. Dies erscheint insofern plausibel, als sich chemische Gleichgewichte im Laufe der Zeit besser bilden können als in vergleichbaren Experimenten mit großer Aufheiz-Rate. Experimente anderer Autoren haben eine Zeitabhängigkeit bisher nur im Temperatur-Bereich um den Solidus festgestellt. (Presnall 1972, Duba 1975, s.a. Duba 1976).
- 2) Eine Entwässerung der Probe geht bei niedrigeren Temperaturen nur langsam vor sich. Das entweichende Wasser könnte in den die Probe umgebenden vorgebrannten Pyrophyllit eindringen. In Abb. 5 (Kurve 2) deutet sich diese Entwässerung zwischen  $650$  und  $850^{\circ}\text{C}$  nur an, weil relativ schnell ( $110^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ) aufgeheizt wurde. Es bleibt zu prüfen, ab welchem Wassergehalt die Leitfähigkeit entscheidend durch die Zeit verändert wird.
- 3) Die Abkühlkurven hängen von der "Vorgeschichte" der Probe ab. Es machte sich ein Unterschied von mehr als einer Größenordnung in der Leitfähigkeit zwischen einer schnell und einer sehr langsam aufgeheizten Probe bemerkbar. Hierbei spielt der Sauerstoff-Partialdruck sicher eine Rolle. Es stellt sich die Frage, ob dieser durch die Reaktion  $\text{Ni-NiO}$  bestimmt war (der Ofen bestand aus Ni-Blech), oder dem Atmosphärendruck bestand. Ein Experiment mit einem Graphit-Ofen kann hierüber vielleicht Aufklärung verschaffen.

Literatur:

Duba, A., Ho, P., Piwinski, A.: Electrical Conductivity Studies of Igneous Rocks: Fusion of Basalts. Abstract, EOS 56, 1075, 1975

Duba, A.: Are Laboratory Electrical Conductivity Data Relevant to the Earth?, Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung. Tomus 11 (3-4), 485-495, 1976

Presnall, D.C., L.C. Simmons, H. Porath: Changes in Electrical Conductivity of a Synthetic Basalt During Melting, J. Geophys. Res., 77, 5665-5672, 1972

Rai, C.S., M. H. Manghnani: Electrical Conductivity of Basalts to 1550°C, Oreg. Dep. Geol. Miner. Ind., Bull. 96, 296 pp., 1978

