© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **100**, S. 61 - 70, Freiburg 2010

Blitzmagnetisierung in Serpentinit bei Todtmoos (Südschwarzwald)

Wolfhard Wimmenauer & Werner Mehlhorn†

Zusammenfassung

Auf der Bruchfläche eines großen Serpentinitblockes bei Todtmoos (Südschwarzwald) ist die magnetische Spur eines Blitzeinschlages erkennbar. Sie wurde mit einem Teslameter kartiert; aus den Messwerten und den magnetischen Eigenschaften des nicht betroffenen Gesteins wurde die Stärke des verursachenden Blitzstroms berechnet.

Stichwörter

Blitzmagnetisierung, Serpentinit, Schwarzwald

Lightning magnetization of serpentinite near Todtmoos (Southern Black Forest)

Abstract

A magnetic anomaly caused by lightning impact was found on the rupture face of a serpentinite boulder near Todtmoos (Southern Black Forest). It was mapped by means of a portable Teslameter; the strength of the lightning current was calculated from the values measured and the magnetic properties of a rock sample taken from outside of the anomaly.

Key words

Lightning magnetization, serpentinite, Black Forest

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. W. Wimmenauer, Rehhagweg 21, 79100 Freiburg

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

1. Einführung

Bei Blitzeinschlägen erzeugte magnetische Anomalien an magnetithaltigen Gesteinen sind seit langem bekannt. Als neuere Untersuchungen an Vorkommen in Deutschland seien die Arbeiten von FRENZEL & STÄHLE (1982), ROESER (2006) und WIMMENAUER, MEHLHORN & MÜLLER-SIGMUND (2006) genannt. Ein neues Beispiel von Blitzmagnetisierung wurde an einem Serpentinitblock unterhalb des Scheibenfelsens bei Todtmoos gefunden (TK 8214 St. Blasien, Gauss-Krüger-Koordinaten $^{R}3425250/^{H}5290150$). Der etwa 10 m lange, 5 m breite und bis zu 4 m hohe Block ist, zusammen mit ähnlichen anderen, Teil einer im Jahr 1954 entstandenen Rutschmasse. Heute ist dieses Gebiet von dichtem Wald bestanden.

Das betroffene Gestein ist ein Serpentinit mit Olivin und Orthopyroxen als ursprünglichen Hauptmineralen; sie sind zum größten Teil serpentinisiert, wobei aus dem Eisengehalt des Olivins sehr feinkörniger M a g n e t i t gebildet wurde (BAATZ 1988, SAWATZKI 1992). Dieser ist der Träger des mit dem Kompass und Teslameter feststellbaren induzierten Magnetismus. Eine deutliche magnetische Anomalie befindet sich an einer hangabwärts gewandten, etwa 2x2 m großen, einigermaßen ebenen Bruchfläche, die N 52° E streicht und, überhängend, mit etwa 60° nach NW einfällt. Diese Gesteinsfläche erscheint frischer als die übrigen Flächen des Blockes; es ist möglich, dass sie, bis dahin eine Spalte im Inneren der Gesteinsmasse, erst bei dem Bergsturz geöffnet wurde; die zugehörige Gegenfläche ist nicht mehr aufzufinden. Es kann auch angenommen werden, dass der gesamte Block beim Abrutschen gegenüber seiner ursprünglichen Orientierung im anstehenden Fels verstellt worden ist. Auf der nun frei liegenden Fläche sind quer zu ihr verlaufende Klüfte erkennbar, die, nach mehreren Richtungen orientiert, das auf Abb. 1 vereinfacht wiedergegebene Muster erzeugen. An mehreren Stellen haben etwa handgroße, flachsplitterige Ausbrüche noch frischeres Gestein bloßgelegt. Im gesamten Bereich ist eine markante magnetische Anomalie entwickelt.

2. Messungen zur magnetischen Anomalie

Für die Messungen der magnetischen Feldstärkekomponente $B_\perp$ senkrecht zur Gesteinsfläche wurde das Magnetometer Fluxmaster-Teslameter (S. Mayer-Messgeräte, D-46535 Dinslaken) benutzt. Es wurde der Teil der Gesteinsfläche gewählt, der relativ eben ausgebildet ist und zugleich den zentralen Bereich der magnetischen Anomalie enthält (Tabelle 1).

Der Mittelpunkt des Magnetfeld-empfindlichen Sensors im Messkopf des Teslameters hat den Abstand 1,7 cm vom Ende des Messkopfes. Damit ergeben die Messungen mit senkrecht auf die Gesteinsoberfläche aufgesetztem Messkopf Werte für die magnetische Feldstärkekomponente $B_\perp$ in einem Abstand 1,7 cm vor der Oberfläche. Gestalt und Ausmaße der Anomalie sind in Abb. 1 dargestellt; hier sind die Feldstärkekomponenten $B_\perp$ von Tabelle 1 als Isolinien, erhalten durch Interpolation, angegeben. Positive bzw. negative Werte von $B_\perp$ bedeuten, dass $B_\perp$ in die Gesteinsfläche hinein bzw. aus der Gesteinsfläche heraus gerichtet ist. Um die Isolinien auch mathematisch zu erfassen, wurden diese von Herrn Prof. Dr. Ch. Schlier/Freiburg durch Interpolation der gemessenen Werte $B_\perp$ in verschieden hoher Ordnung berechnet. Geringe quantitative Abweichungen von denen der Abb. 1 sind durch die verschiedenen Arten der Interpolation bedingt.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 1: Blitzmagnetisierung in einem Serpentinit nahe Todtmoos gemessen am 30. 9.2007: Messpunkte in je 10 cm Abstand in horizontaler und vertikaler Richtung. Angegeben sind die Werte der magnetischen Feldstärkekomponente senkrecht zur Gesteinsfläche, $B_{\perp}$ in Mikrotesla (µT). Der Mittelpunkt des Magnetfeld-empfindlichen Sensors hatte den Abstand 1,7 cm vom Ende des Teslameters, damit gelten die angegebenen Werte $B_{\perp}$ für einen Abstand 1,7 cm vor der Gesteinsfläche.

23	40	73	76	115	124	-70	-116	-63	-36	-28	-24	-19
8	33	72	99	111	-22	-92	-117	-68	-41	-30	-26	-21
-1	7	42	84	186	-79	-120	-118	-52	-36	-24	-23	-22
-6	0	28	91	182	-118	-121	-115	-59	-40	-32	-28	-22
-11	0	43	128	188	-121	-128	-102	-54	-36	-33	-30	-29
-16	0	72	131	112	-122	-121	-80	-56	-47	-38	-30	-25
-14	0	88	178	-115	-118	-117	-68	-64	-40	-36	-32	-25
-1	30	96	161	-105	-108	-106	-72	-52	-49	-45	-46	-32
5	48	120	-11	-103	-103	-96	-59	-40	-37	-29	-38	-40

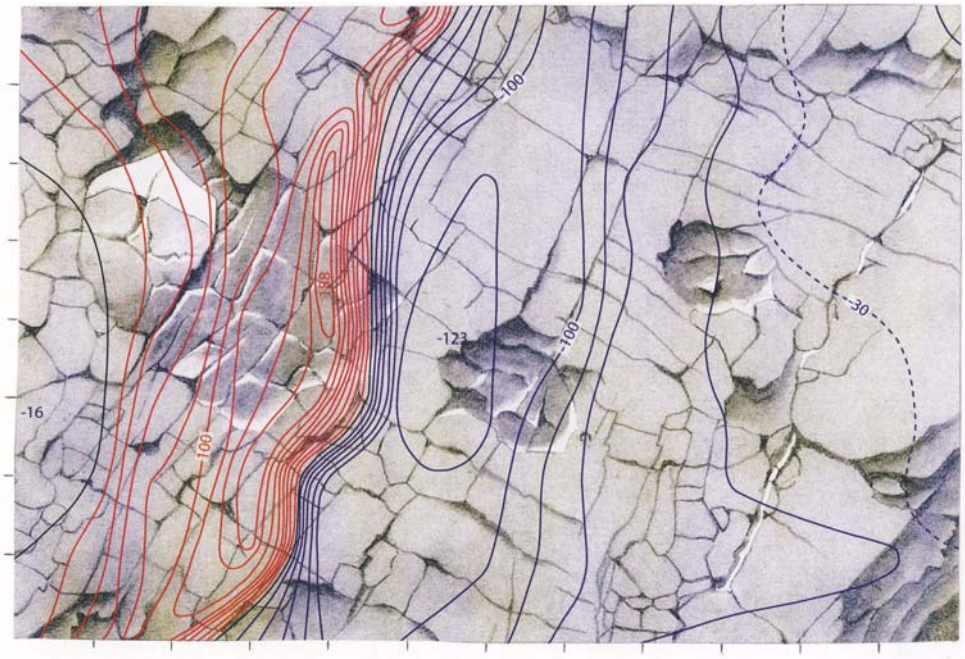

Abb. 1: Intensität des Magnetfeldes (in Mikrotesla) senkrecht zu einer 120x80 cm großen, natürlichen Bruchfläche in Serpentinit, Todtmoos (Südschwarzwald).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 2: Blitzmagnetisierung in einem Serpentinit nahe Todtmoos gemessen am 25. 4. 2008: Messung von $B_{\perp}$ in verschiedenen Abständen vor der Gesteinsfläche etwa entlang der Zeile 5 der früheren Messung im 10 cm-Raster (Tabelle 1). Horizontaler Abstand der Messpunkte 2 cm, Werte in Mikrotesla. Die Werte >200 µT liegen außerhalb des Messbereichs des Teslameters. Negative Werte *kursiv*. Der unterstrichene Messpunkt entspricht etwa der Position Spalte 5/Zeile 5 der früheren Messung im 10 cm Raster. Der damalige Messwert an dieser Stelle war 188 µT.

1,7 cm:	58	80	105	122	150	165	185	199	>200	>200	175	130	27	*65*	*115*	*170*	*199*	*>200*	*>200*	*>200*
4,2 cm	63	85	105	116	133	145	160	165	170	158	113	85	19	*42*	*90*	*125*	*169*	*190*	*189*	*178*
6,7 cm	65	73	87	95	100	110	116	118	114	102	65	45	5	*40*	*75*	*97*	*125*	*142*	*151*	*150*
11,7 cm	54	66	68	72	74	76	75	70	68	56	35	20	3	*18*	*35*	*54*	*73*	*85*	*94*	*97*
21,7 cm	26	30	28	27	26	20	16	13	10	6	3	0	3	*11*	*22*	*26*	*32*	*36*	*39*	*40*
	0		*4*		*8*		*12*		*16*		*20*		*24*		*28*		*32*		*36*	*cm*

Die Feldstärkekomponenten $B_{\perp}$ im freien Raum vor der Fläche zeigt Tabelle 2; hier wurde $B_{\perp}$ für den Bereich Zeile 5/Spalten 4 bis 6 der Anomalie von Tab. 1 im kleineren Rastermaß von 2 cm gemessen. Durch Extrapolation 1. Ordnung wurde der Wert $B_{\perp} = 250$ µT für einen Abstand von 0 cm vor der Gesteinsfläche und die Koordinate x = 18 cm von Tabelle 2 gefunden.

Zur Beantwortung der Frage, wie weit die Messwerte der Tabellen 1 und 2 vom allgemeinen magnetischen Erdfeld beeinflusst sind, wurden in 2,7 und 3,7 m Entfernung vor der Gesteinsfläche Messungen durchgeführt, bei denen der Messkopf des Teslameters in der gleichen räumlichen Lage wie an der Fläche selbst, also senkrecht zu dieser, lag. Die dort, im freien Raum, gemessenen Feldstärken sind mit 2 bis 3 µT, bei um 180° gedrehtem Messkopf ebenfalls etwa -2 bis -3 µT, sehr gering. Der maximale Betrag des magnetischen Erdfeldes wurde bei einer Neigung des Messkopfes von 50° nach Nord zu 44 µT gemessen. Dem entsprechend sind die Werte von Tabelle 1 und von Tabelle 2 (bis einschließlich zum Abstand 10,7 cm vor der Gesteinsfläche) kaum durch das allgemeine magnetische Erdfeld verändert; die Werte der Tabellen wurden deshalb nicht korrigiert.

3. Bestimmung der Blitzstromstärke, Grundlagen

Die magnetische Anomalie von Abb. 1 kann zwanglos gedeutet werden durch die vom Blitzstrom hervorgerufene Magnetisierung des Gesteins, wobei der Strom mehr oder weniger geradlinig von oben nach unten gerichtet gewesen sein musste. Das Magnetfeld H des Blitzstroms I erzeugt eine Magnetisierung M und nach Abklingen des Stroms ($I \rightarrow 0$) verbleibt eine remanente Magnetisierung M_r im kompakten Gestein. Das Magnetfeld H (in A/m) eines linienförmigen Stroms I ist ringförmig um I und gegeben durch

$$H\,[A/m] = \frac{I\,[A]}{2\pi r\,[m]}$$

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die Richtung des Ringfeldes H ist tangential zu Kreisen mit dem Radius r um den Strom I. Die durch die Richtung der Tangente ausgeübte Drehrichtung würde eine Rechtsschraube in Richtung des Stromes $\vec{I}$ bewegen. Daraus folgt zwangsläufig für einen geradlinigen Strom auf der Gesteinsoberfläche die in Abb. 1 gezeigte Anomalie, wobei der Strom von oben nach unten gerichtet ist. Eine ähnliche Anomalie der magnetischen Feldstärke, hervorgerufen durch einen geradlinigen Blitzstrom auf der Oberfläche eines lehmigen Bodens, haben kürzlich SHIMIZU et al. (2007) gefunden.

Die magnetische Anomalie wird mittels des von der remanenten Magnetisierung M_r hervorgerufenen magnetischen Feldes B (in Tesla) gemessen. Aus der allgemein gültigen Beziehung

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M}$$

folgt für

$$\vec{H} \to 0 \quad \text{und} \quad \vec{M} \to \vec{M}_r$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{M}_r \quad \text{mit} \quad \mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{Tesla} \cdot \text{m}}{\text{A}}.$$

In Abb. 2a sind die für diese Untersuchung relevanten Größen, Blitzstrom I, Magnetfeld H und Magnetisierung M für den Fall des geradlinigen Blitzstroms innerhalb des kompakten Gesteins dargestellt. Magnetfeld H und Magnetisierung M verlaufen ringförmig um den Blitzstrom I.

Abb. 2b zeigt die Situation nach Abklingen des Blitzstroms I, wieder für den Fall des zusammenhängenden Gesteinsverbandes im gesamten Raum. Es verbleibt die remanente Magnetisierung M und das daraus resultierende magnetische Feld $\vec{B} = \mu_0 \vec{M}_r$. Beide Felder sind ringförmig um den ursprünglichen Blitzstrom angeordnet. Wir nehmen an, dass das Gestein des unteren Halbraums ($x < 0$) beim Bergrutsch im Jahr 1954 weggebrochen ist und damit die heutige freie Oberfläche ($x = 0$) entstand (siehe Abb. 2c).

In diesem Zusammenhang muss die folgende Frage beantwortet werden: Verändert sich $B_\perp$ für $z = 0$ durch das Fehlen des Gesteins für $z < 0$ (Abb. 2c) gegenüber dem entsprechenden Wert für das Gestein im gesamten Raum (Abb. 2b). Für den Übertritt des B-Feldes vom Material ins „Vakuum“ an einer der Grenzfläche (Abb. 2c) gilt

$$\frac{\text{tg}\alpha_1}{\mu_1} = \frac{\text{tg}\alpha_2}{\mu_2} \quad \text{mit } \text{tg}\alpha = \frac{B_\parallel}{B_\perp}$$

$B_\parallel$ und $B_\perp$ sind die zur Oberfläche parallele bzw. senkrechte Komponente von $\vec{B}$. $\mu 1$ und $\mu 2$ sind die Permeabilitäten der Medien und $\mu 1 = 1 + \mu s$ und $\mu 2 = 1$, wobei die Suszeptibilität μs von Serpentinit den sehr kleinen Wert von etwa 10^{-2} hat. Mit diesen Werten folgt für

$$\text{tg}\alpha_2 = \frac{1}{1 + \mu_2} \cdot \text{tg}\alpha_1 \approx \text{tg}\alpha_1$$

Damit setzt sich das B-Feld praktisch ungebrochen vom Gestein ins Freie fort, und die B-Felder sind nach Richtung und Betrag im Raum $x < 0$ für die Fälle der Abb. 2b und 2c praktisch identisch.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

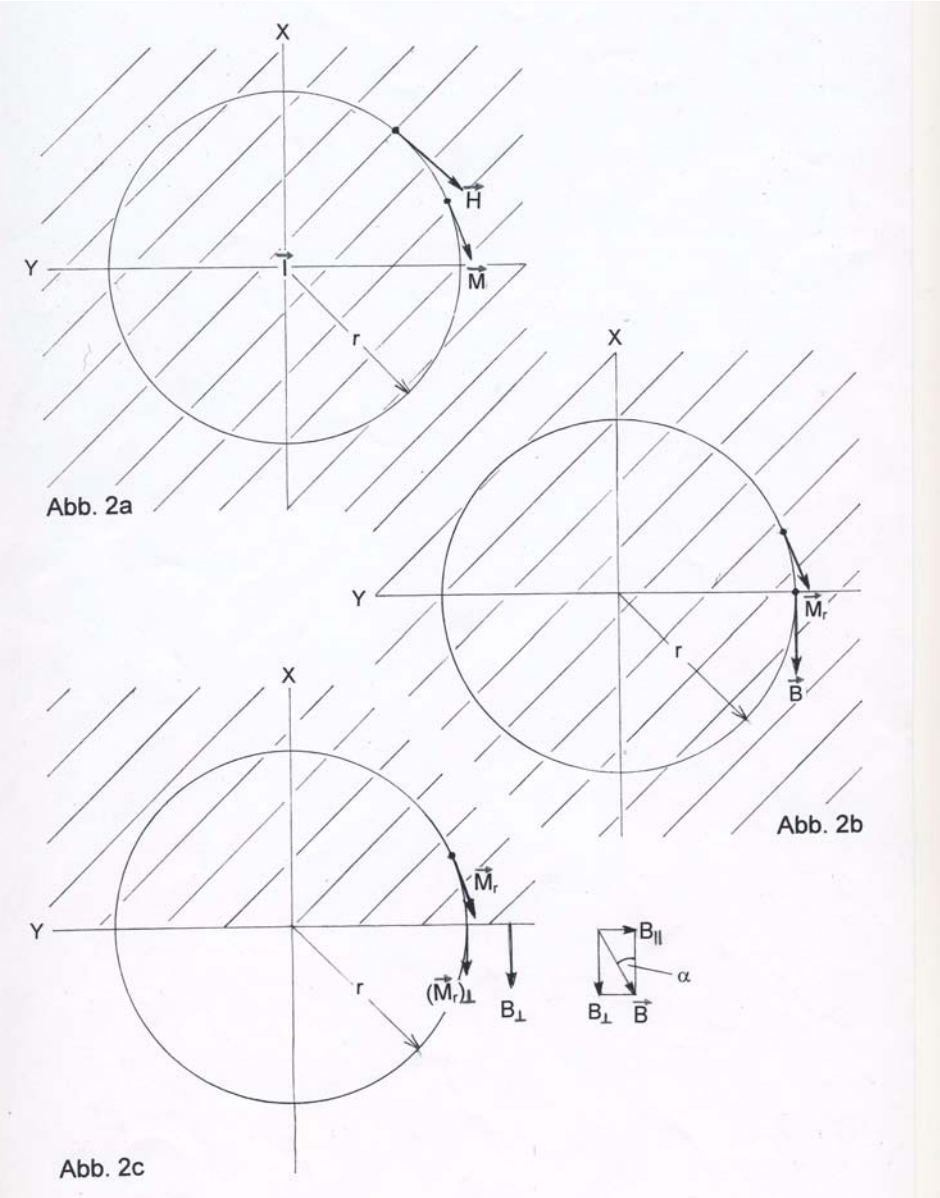

Abb. 2: a: Blitzstrom $I\,\vec{i}$ (in Richtung der z-Achse) im zusammenhängenden Gesteinsverband im gesamten Raum und resultierende Felder $\vec{H}$ und $\vec{M}$ im Abstand r vom Strom I.
b: Situation von Abb. 2a nach Abklingen des Blitzstroms $\vec{I}$. Es bleiben die Ringfelder der remanenten Magnetisierung $\vec{M}$ und des daraus folgenden magnetischen Feldes $\vec{H}$. Es gilt: $\vec{B} = \mu_0 \vec{M}_r$. Das Gestein füllt den gesamten Raum aus.
c: Situation von Abb. 2b nach dem Wegbrechen des Gesteins vom unteren Halbraum (x < 0). Die Fläche x = 0 ist die Oberfläche des Serpentinitblocks mit der gemessenen magnetischen Anomalie. Die Messgröße ist $B_\perp$, die senkrechte Komponente von $\vec{B}$ auf die Oberfläche, es gilt: $B_\perp = \mu_0 (M_r)_\perp$.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

4. Bestimmung der Blitzstromstärke, Experiment und Berechnung

Zur Bestimmung der Blitzstromstärke I, die zu der gefundenen magnetischen Anomalie der Abb. 1 führte, muss die remanente Magnetisierung Mr von Serpentinit als Funktion des Erreger-Magnetfelds H_{Err} gemessen werden oder, gleichwertig, das von Mr erzeugte Magnetfeld $B = \mu_0 M_r$ (siehe Abb. 2c) als Funktion des Erreger-Magnetfeldes B_{Err}.

Zur Messung des durch die remanente Magnetisierung Mr erzeugten Magnetfelds B wurde wie folgt vorgegangen. Aus Serpentinitgestein abseits der magnetischen Anomalie wurde eine zylindrische Probe (6 cm lang und 4,5 cm im Durchmesser) angefertigt. Vor jeder folgenden Aufmagnetisierung der Serpentinitprobe wird diese durch ein Wechselfeld B, das von hohen Werten nach Null geht, entmagnetisiert. Dann wird die Probe entlang der Zylinderachse in einem Erregerfeld B_{Err} zwischen den Polschuhen eines Elektromagneten magnetisiert; das Feld B_{Err} wird mit einer Hall-Sonde gemessen. Die Messergebnisse B_{Probe} als Funktion des Erregerfeldes B_{Err} sind in Abb. 3 aufgeführt. Dieses Magnetfeld B_{Err} ist nicht homogen über die gesamte Probe, der Unterschied zwischen den Werten am Rand der Stirnfläche und ihrer Mitte beträgt ca. 10%. Für die Werte von B_{Err} in Abb. 3 wurden die jeweiligen Mittelwerte genommen.

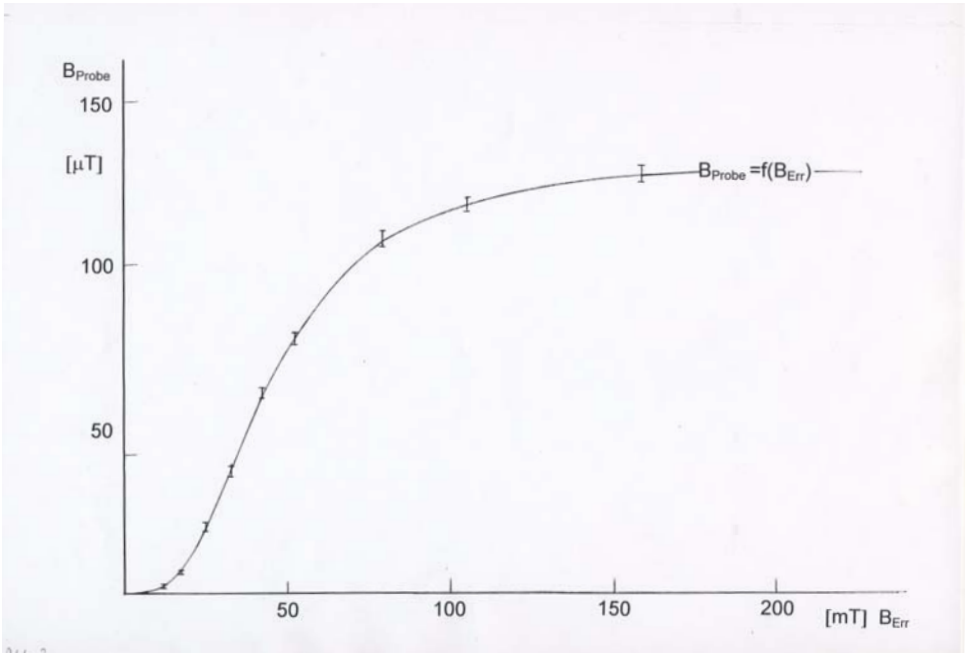

Abb. 3: Aufmagnetisierungskurve einer nicht vom Blitz getroffenen Serpentinitprobe.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die remanente Magnetisierung Mr der Serpentinitprobe wird über das Magnetfeld B_{Probe} vor deren Stirnfläche mit einem Teslameter gemessen. Das Zentrum des magnetempfindlichen Elements im Messkopf des Teslameters befindet sich dabei auf der Achse des Probenzylinders in 1,9 cm Entfernung von dessen Stirnfläche. Für den Abfall der Magnetisierung an den Enden der Probe wurde eine Korrektur angebracht, die sich auf 0,158 beläuft. Die Blitzstromstärke I kann nun wie folgt berechnet werden:

1) Aus den Messungen vom 25. 4. 08 ergeben sich Werte für $B_\perp$ im Abstand 1,7 cm vor der Oberfläche (siehe Tabelle 2) von >200 µT. Verschiedene Extrapolationen von $B_\perp$ um 1,7 cm auf die Oberfläche (siehe dazu Texte zu Tabellen 1 und 2) ergaben Werte von 250 bis 290 µT. Für die Berechnung des Blitzstromwertes nehmen wir einen Wert $B_\perp = (270 \pm 20)$ µT an.
2) Eine remanente Magnetisierung Mr, die beim kompakten Gestein zu diesem Wert führt, ergibt für die Serpentinitprobe ein gemessenes Magnetfeld

$$B_{Probe} = (270 \pm 20)\,\mu T \cdot 0{,}158 = (42{,}7 \pm 3{,}2)\,\mu T.$$

3) Aus der Funktion $B_{Probe} = f(B_{Err})$ der Abb. 3 folgt: Das Magnetfeld B_{Probe} = 42.7 µT der Serpentinitprobe wird durch eine Aufmagnetisierung mit $B_{Err} = (35{,}0 \pm 2{,}8)$ µT erreicht.
4) Für die Berechnung des Blitzstroms I aus B_{Err} nehmen wir eine geradlinige Blitzgeometrie an. Der Wert $B_\perp$ = 270 µT hat einen Abstand von r ≈ 6 cm von der Umschlagslinie $B_\perp$ = 0, dort ist der Strom I geflossen und hat das Erregerfeld B_{Err} erzeugt. Damit ergibt sich die Stromstärke I wie folgt:

$$B_{Err} = \mu_0 H_{Err} = \mu_0 \frac{1}{\pi r} \quad \text{d.h.} \quad I = B_{Err} \frac{2\pi r}{\mu_0} = 35{,}0 \cdot 10^{-3}\,\text{Tesla}\,\frac{10^7}{4\pi}\,\frac{A}{\text{Tesla} \cdot m}\,2\pi \cdot 0{,}06\,m$$

$$I = 10{,}5\ kA$$

Der Wert erscheint im Vergleich zu vielen, an anderen Vorkommen berechneten an der Untergrenze der Variationsbreite, die nach oben hin bis über 100 kA erreicht (vgl. RAKOV & UMAN 2003 und ROESER 2006). Der Befund ist Ausdruck der Aufteilung und Abschwächung des Blitzstromes, die auf dessen Weg in den Gesteinsuntergrund eingetreten sind.

Danksagung

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Ch. Schlier/Freiburg, der das Aufmagnetisierungsexperiment an einer Serpentinitprobe durchgeführt und, nach dem Tod von Herrn Prof. Dr. W. Mehlhorn/Freiburg, den physikalischen Teil der Arbeit betreut hat. Herrn Lukas Gottschall ist für die Hilfe im Gelände und die digitale Realisierung des Manuskriptes zu danken.

Eingang des Manuskripts 15. November 2010

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Angeführte Schriften

BAATZ, K. (1988): Ultramafitite in Schwarzwald und Vogesen.- Diss. Univ. Freiburg i. Br., 209 S.

FRENZEL, G. & STÄHLE, V. (1982): Blitzglas aus Peridotit vom Frankenstein bei Darmstadt.- Chem. Erde, **41**, 111-119.

ROESER, H. A. (2006): Geomagnetische Beobachtungen an Blitzeinschlagstellen.- Ber. Naturhist. Ges. Hannover, **148**, 25-50.

SAWATZKI, G. (1992): Erläuterungen zu Blatt St. Blasien der geologischen Karte 1:25000 von Baden-Württemberg, 146 S.

RAKOV, H. A. & UMAN, M. A. (2003): Lightning – Physics and effects, 696 S., Cambridge.

SHIMIZU, H., KOYAMA, T., KOYAMA, S. & UTADA, H. (2007): A geomagnetic total intensity anomaly originated from lightning-induced isothermal remanent magnetization: case of the Yatsugatake Magnetic Observatory, central Japan.- Earth Planets Space, **59**, 141-149.

WIMMENAUER, W., MEHLHORN, W. & MÜLLER-SIGMUND, H. (2006): Centimeter-scale magnetic structures caused by lightning impact in basalt.- Mitt. Dtsch. Geophys. Ges., **18**, 18-21.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau

Jahr/Year: 2010

Band/Volume: 100

Autor(en)/Author(s): Wimmenauer Wolfhard, Mehlhorn Werner

Artikel/Article: Blitzmagnetisierung in Serpentinit bei Todtmoos (Südschwarzwald) 61-70