

UNTERSUCHUNG MAGNETISCHER EIGENSCHAFTEN, INSBESONDERE DER MAGNETISIERUNGSRICHTUNG, AN GESTEINEN DES SVIONISCHEN LEPTITZUGES MITTELSCHWEDENS (BERGSLAGEN)

Rolf E. GLITSCH

Mineral Research and Exploration Institute of Turkey

ABSTRACT. — Investigation of the magnetic properties, particularly of the direction of magnetization, of rocks of the Svionian leptite trend in Middle Sweden (Bergslagen).

The design and technique of the used PUZICHA-apparatus is described. It is shown that the accuracy obtained can be considered entirely sufficient.

The examination of rock specimens from the Svionian leptite trend in Middle Sweden as to their direction of magnetization showed that the direction of magnetization deviated by about 30° from the present earth's magnetic field. Due to the ratio of residual to induced magnetism it can be presumed that during Svionian time no other but the direction of magnetization as determined above must have existed. This confirms the results of observation published by S. K. Runcorn about the deviation of the direction of magnetization of rocks of different epochs from the earth's magnetic field. -The magnitude of magnetization depends on the percentage of magnetite which was recognized as the carrying agent of magnetization. It was possible to work out two characteristic groups, one having about 1 per cent and the other 10 per cent of magnetite. The great inhomogeneity of the rock did not often allow a distinct evaluation of the results of measurements.

ZUSAMMENFASSUNG. — Der Aufbau und die Arbeitsweise der benutzten PUZICHA-Apparatur wird beschrieben. Es zeigt sich, dass die erreichte Genauigkeit als voll ausreichend betrachtet werden kann.

Die Untersuchung der Gesteinsproben des svionischen Leptitzuges in Mittelschweden (Bergslagen) auf ihre Magnetisierungsrichtung ergab eine um ca. 30° von dem heutigen Erdfelde abweichende Magnetisierungsrichtung. Auf Grund des Verhältnisses von remanenter zu induzierter Magnetisierung kann angenommen werden, dass während des Svioniums keine andere als die hier festgestellte Magnetisierungsrichtung geherrscht haben muss, womit die von S. K. Runcorn mitgeteilten Beobachtungsergebnisse über von dem heutigen Erdfelde abweichende Magnetisierungsrichtung der Gesteine in verschiedenen Zeitaltern bestätigt werden. -Die Grösse der Magnetisierung hängt von der Menge des vorkommenden Magnetites ab, der als Träger der Magnetisierung erkannt wurde. Zwei charakteristische Gruppen konnten herausgestellt werden, mit ca. 1 % und ca. 10 % Magnetitgehalt. - Die grosse Inhomogenität der Gesteine Hess oft eine klare Deutung der Messergebnisse nicht zu.

Dank des Entgegenkommens der Leitung von STORA KOPPARBERGS BERGSLAGS AB, FALU KOPPARVERK, konnte der Verfasser die Ergebnisse seiner früher für FALU KOPPARVERK durchgeführten Arbeiten, diesen Untersuchungen zugrunde legen.

Aufbau und Eichung der Apparatur

Die bei den vorliegenden Untersuchungen verwendete Apparatur (Abb. 1) war nach dem Vorbild von K. PUZICHA gebaut und durch W. Bosum (1955) ver-

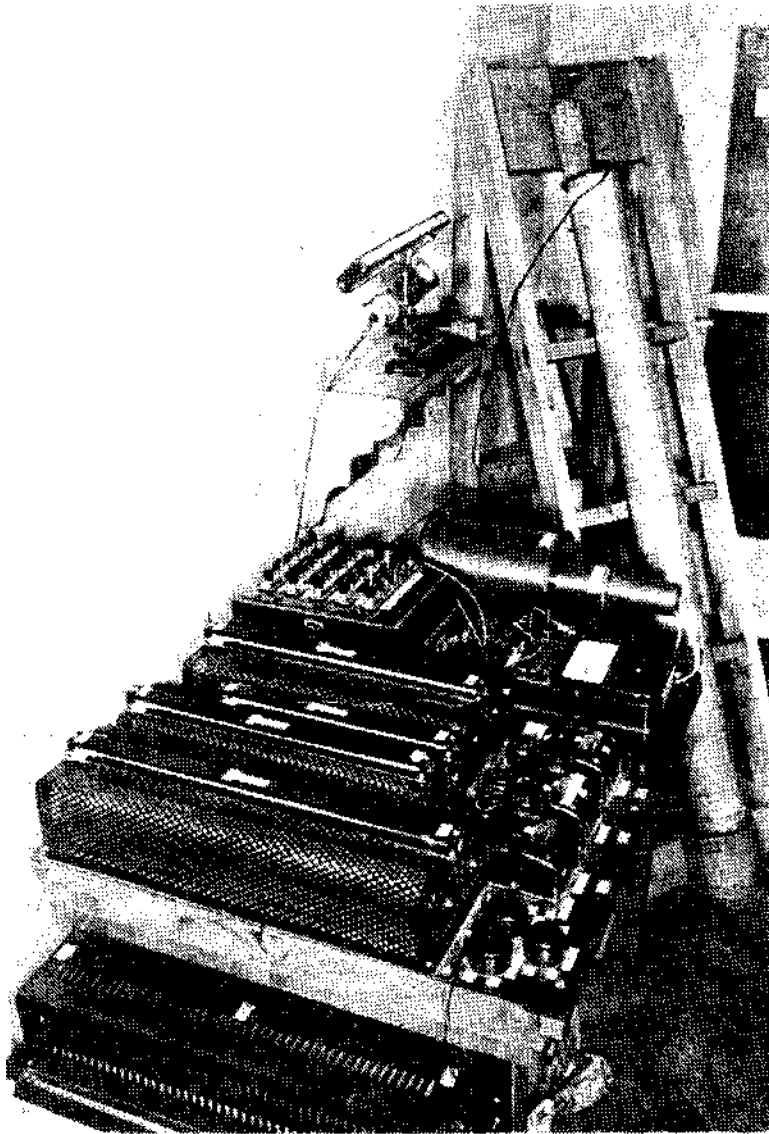
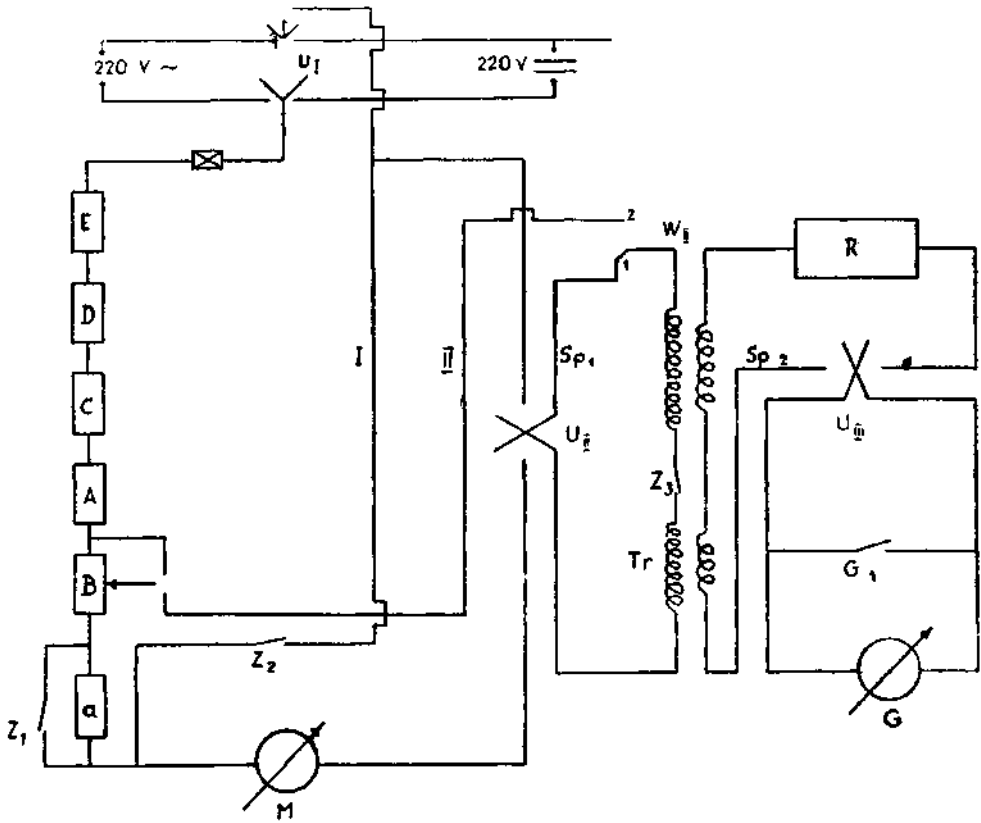


Abb. 1 - Die von W. BOSUM verbesserte PUZICHA - Apparatur in der Anordnung für würfelförmige Proben

PUZICHA - Apparatus designed for cubic specimens and improved by W. BOSUM

bessert worden, um auch schwachmagnetische Gesteine noch sicher untersuchen zu können. Sie beruht auf der ballistischen Methode zur Bestimmung der magnetischen Momente und Suszeptibilität. In Tafel Nr. 1 ist ihre Schaltung dargestellt. Sie besteht aus dem Magnetisierungs- und dem Induktionsstromkreis. Der Magnetisierungsstromkreis setzt sich zusammen aus Widerständen zur Regelung der Stromstärke, der Magnetisierungsspule, der Primärwicklung eines Transformators und einem Amperemeter. Der Induktionsstromkreis besteht aus einem ballistischen Galvanometer (Kipp, innerer Widerstand 300, Skalenwert 0,25 bis $0,025 \cdot 10^{-9}$ Amp/mm · m, Schwingungsdauer bei kritischer Dämpfung 7 sec.), einem Rheostat, einer Induktionsspule, die von der Magnetisierungsspule umgeben wird und der



Tafel I - Schaltbild der Apparatur zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften der Gesteine nach K. PUZICHA - W. BOSUM

Wiring diagram of the apparatus for determination of magnetic properties after K. PUZICHA - W. BOSUM

A, B, C, D, E - Schiebewiderstände; a - Festwiderstand; Sp₁ - Magnetisierungsspule; Sp₂ - Induktionsspule; Tr - Kompensationstransformator; R - Rheostat; M - Amperemeter; G - Galvanometer; Z₁, Z₂, Z₃, G₁, - Schalter; W_I, W_{II} - Schalter; U_I, U_{II}, U_{III} - Schalter

Sekundärwicklung eines Transformators. Mit Hilfe dieses Transformators werden Stromschwankungen im Magnetisierungsstromkreis kompensiert, die sonst als Stromstöße im Galvanometerkreis auf Grund der Kopplung von Magnetisierungs- und Induktionsspule ein Ablesen des Galvanometers verhindern würden.- Die Eichung der Apparatur erfolgt unter Verwendung einer Eichspule in Form der Gesteinsprobe auf empirischem Wege. Das magnetische Moment *M* der Spule wird aus ihren geometrischen Daten und der Stromstärke berechnet nach.

$$M = \frac{l}{10} N \cdot F \cdot i_{Amp} \tag{1}$$

wobei gilt : *N* = Windungszahl, *F* = Fläche einer Windung

Durch Änderung der Stromstärke lässt sich *M* entsprechend variieren und ergibt somit bei Ablesung des Skalenwertes für verschiedene *M* die Eichkurve-

Entmagnetisierung

Nach Messung der Magnetisierungsrichtung mussten die Proben, um reproduzierbare Magnetisierungskurven zu erhalten, vor Beginn jeder Messung entmagnetisiert werden, das heisst von einem evtl. remanenten Magnetismus, der entstanden sein kann durch frühere Aufmagnetisierung, Bearbeitung usw., befreit werden. Dies wurde erreicht, indem ein magnetisches Wechselfeld, das durch einen in der Spule fliessenden Wechselstrom (50 Hertz) erzeugt wird, auf die Probe einwirkt. Nun durchläuft die Probe bei jeder Periode des angelegten Wechselfeldes einen magnetischen Kreisprozess. Geht man mit der Feldstärke, d. h. also mit der Stromstärke gegen Null, so werden die Magnetisierungszyklen immer kleiner und es entsteht als Grenzwert schliesslich der unmagnetische Zustand. Diese kontinuierliche Verringerung der Feldstärke wird durch eine Potentiometerschaltung erreicht. Durch Drehen der Probe um 180° und wiederholte Entmagnetisierung konnte die Komponente des erdmagnetischen Feldes, die in Richtung der Spulenachse dem Spulenfeld überlagert war, kompensiert werden.

Messung

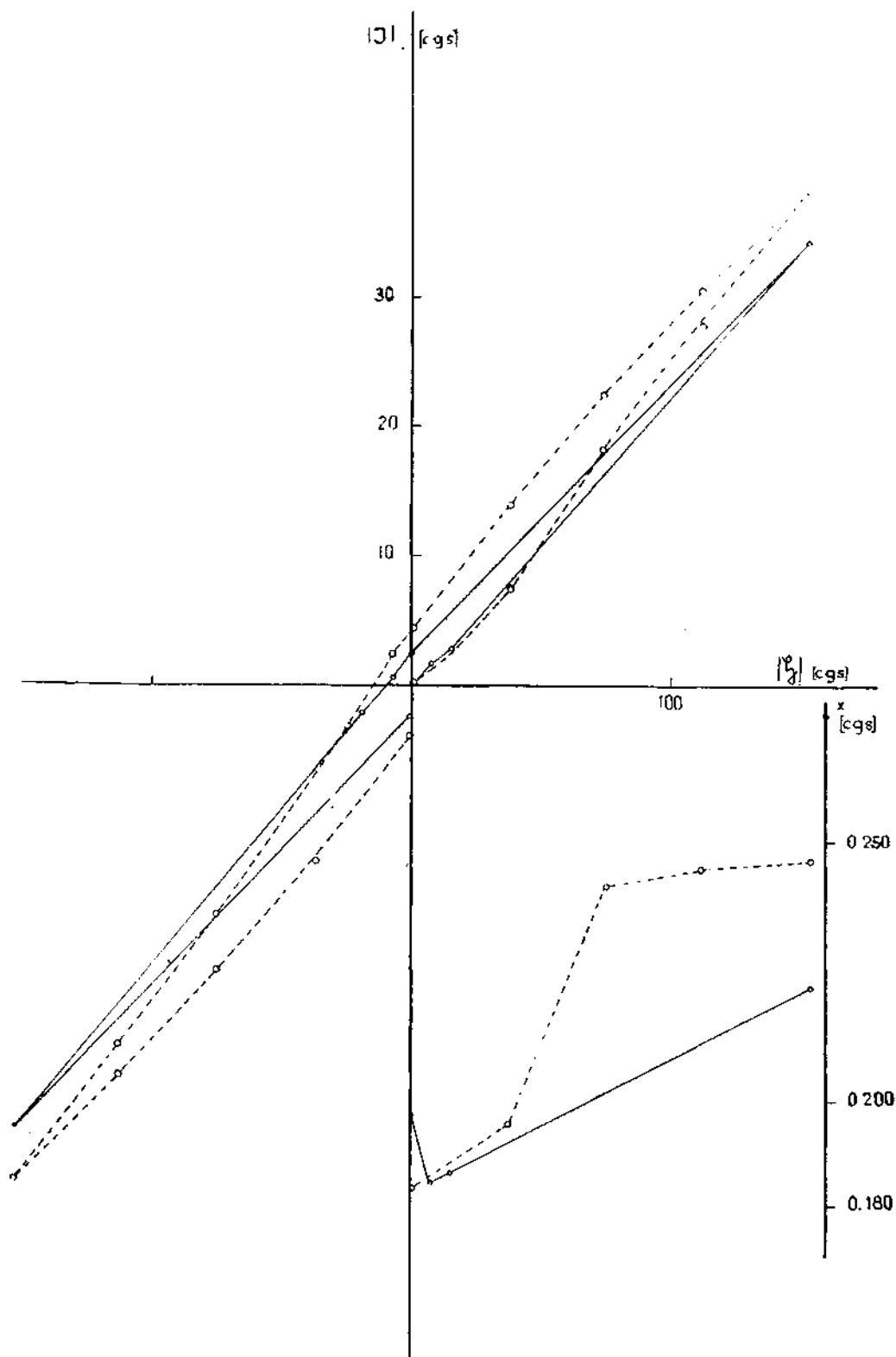
M_r ist das remanente Moment der Probe, M_j das induzierte. Sind nun M_R und M_j gleichgerichtet, so erhält man beim Herausziehen der Probe aus der Induktionsspule einen Ausschlag a . Nach Drehung der Probe um 180° kehrt sich M_R in seiner Richtung um, jedoch nicht M_j , so dass sich ein Ausschlag $b < a$ ergibt.

$$\begin{aligned} M_j + M_R &= a & M_j &= \frac{a+b}{2} \text{ (pars)} \\ M_j - M_R &= b & M_R &= \frac{a-b}{2} \text{ (pars)} \end{aligned} \quad (2)$$

Die Umrechnung von Skalenteilen (pars) in cgs-Einheiten geschieht mit Hilfe des Eichwertes und des Volumens der jeweiligen Proben.

Nach Entmagnetisierung der Proben werden die Hysteresisschleifen aufgenommen. Jedoch konnte noch keine Sättigungsmagnetisierung erreicht werden, so dass die für Remanenz und Koerzitivkraft gefundenen Werte Relativwerte darstellen.

Die im folgenden angewandten Begriffe Remanenz und Koerzitivkraft sind also nur Relativwerte. - Eine Kontrolle der Messungen ist durch Untersuchung der Hysteresisschleifen auf ihre Drehsymmetrie möglich, denn die maximale Magnetisierung muss gleich der minimalen sein und die Schnittpunkte mit der J- resp. H-Achse müssen je symmetrisch zueinander liegen. Die in Tafel Nr. 2 dargestellte Hysteresisschleife zeigt, dass die Bedingungen der Drehsymmetrie hinreichend genau erfüllt sind, zumal noch berücksichtigt werden muss, dass dem Spulenfeld ja noch eine Komponente des Erdfeldes überlagert ist. - Noch weiter auf die Einzelheiten der Apparatur, wie etwa Ausschaltung störender Momente innerhalb der Apparatur usw., einzugehen, würde über den Rahmen dieses Berichtes hinausgehen. Es wird hierzu auf W. Bosum (1955) hingewiesen.



Tafel 2 - Hysteresisschleife einer Probe Magnetit mit grüner Hornblende
 Hysteresis loop of a magnetite specimen containing green hornblende

— würfelförmig; - - - - - zylindrische Form

Volumenbestimmung der Proben

Da in die hier untersuchten magnetischen Eigenschaften das Volumen der jeweiligen Gesteinsproben als Faktor einging, war eine genaue Bestimmung erforderlich. Diese wurde, da eine Wägung in Luft und Wasser bei der nötigen Genauigkeit und der Vielzahl der Proben zu zeitraubend gewesen wäre, mit Hilfe einer Schnellwaage (2 kg Tragkraft, 25 mg/pars) ausgeführt. Auf die Waagschale wurde ein Gefäß mit Wasser gestellt und austariert. Dann wurde die Gesteinsprobe an einem Draht befestigt und ohne mit Waage und Gefäß in Berührung zu kommen in das Wasser eingetaucht. Nach dem archimedischen Prinzip bewirkt die Reaktionskraft des Auftriebes einen Ausschlag der Waage, der grob durch Gewichte und fein durch Skalenablesung sofort das Volumen der Gesteinsprobe lieferte. Um eine hinreichende Messgenauigkeit zu erreichen, wurde der Auftrieb des Aufhangedrahts empirisch bestimmt und als Korrektur an das Messergebnis angebracht.

Genauigkeitsbetrachtung

Fehlermöglichkeiten bei der Probenentnahme :

Die Proben wurden unter Zuhilfenahme von Hammer, Meißel und Gesteinsäge hergestellt, also Geraten mit hoher Eigenmagnetisierung. Hierbei konnte keine messbare Veränderung der natürlichen Remanenz der Gesteine festgestellt werden. U. Schmucker (1957) hat das gleiche bei den von ihm untersuchten Basalten festgestellt. Ebenso konnte U. Schmucker (1957) keine Einwirkung eines verschieden hohen Verwitterungsgrades auf die magnetischen Eigenschaften feststellen.

Die von dem Verfasser hierzu angestellten Untersuchungen führten nicht so eindeutig zu dem gleichen Ergebnis, da die Streuung der Messwerte neben der verschieden starken Verwitterung auch noch durch eine recht erhebliche Inhomogenität der Proben verursacht sein konnte.

Mit Ausnahme der Werte der Magnetisierung und Suszeptibilität bei Erdfeldstärke in der Größenordnung $k = 10 \cdot 10^{-6}$, wo die Ablesegenauigkeit bis zu 50% unsicher wird, kann mit folgender Genauigkeit gerechnet werden :

Ablesegenauigkeit :

Um grobe Messfehler auszuschalten, wurde jede Ablesung mindestens 3 Mal ausgeführt. Es ergab sich ein relativer Fehler von 1,0 %.

Fehler der Eichung :

Der mittlere Fehler des Mittels der Eichwerte und der Fehler bei Bestimmung der geometrischen Abmessungen der Eichspulen beträgt $\pm 0,8$ %. Ein nicht erfassbarer systematischer Fehler von 1% durch die Streuung des Spulenfeldes kann sich addieren.

Der mittlere Fehler der Einzelmessung bei der Volumenbestimmung beträgt $\pm 1,5$ %.

Der Fehler der Magnetisierung J berechnet sich nach

$$J = \frac{M}{\text{pars}} \cdot \frac{\text{pars}}{V} \text{ mit } \pm 1,4 \%$$

Der Grösstfehler der Feldstärke H wurde mit $\pm 0,2$ % bestimmt.

Zur Frage des Entmagnetisierungsfaktors für würfelförmige Proben wurde übereinstimmend mit W. Bosum (1955) festgestellt, dass eine rechnerische Erfassung wegen der überaus grossen Inhomogenität der Gesteine nicht möglich ist. Da die vorliegenden Gesteinsproben schon mit unbewaffnetem Auge eine grosse Inhomogenität erkennen lassen und diese durch die Messungen, wie auch bei der Untersuchung im Dünnschliff noch mehr bestätigt wurde, erschien dem Verfasser auch eine experimentelle Bestimmung des Entmagnetisierungsfaktors nicht angebracht. Selbst wenn man, etwa mit magnetischer Flüssigkeit oder mit pulverisiertem Gestein, also sehr homogenem Material, eine brauchbare Korrelation der Entmagnetisierungsfaktoren für zylindrische—hier ist der Entmagnetisierungsfaktor rechnerisch erfassbar—und würfelförmige Proben gefunden hatte, dürfte die Berechtigung der Anwendung dieser Korrelation für die hier vorliegenden Gesteine sehr fraglich sein. W. Bosum (1955) berechnete nun für zylindrische Proben den Fehler, der durch Nichtberücksichtigung des Entmagnetisierungsfaktors entsteht und abhängig ist von der Suszeptibilität für

$$k = 4\,000 \cdot 10^{-6} \text{ mit } 0,6 \%$$

Da der Entmagnetisierungsfaktor für würfelförmige Proben sich kaum wesentlich von dem für zylindrische unterscheiden wird, fällt er bei der Mehrzahl der hier gemessenen Suszeptibilitäten wohl kaum ins Gewicht. Diese Annahme wird noch bestätigt durch die Ergebnisse der Suszeptibilitätsbestimmungen der Proben, die aus einem Handstück teils in zylindrische, teils in würfelförmige Form geschnitten wurden. Hier zeigen die Werte der würfelförmigen Proben durch Inhomogenität bedingte Schwankungen, in die sich diejenigen der zylindrischen Proben ohne weiteres einpassen lassen. Dabei muss für die zylindrischen Proben noch berücksichtigt werden, dass diese in einer anderen Spule gemessen sind, so dass auch dadurch schon gewisse geringe Abweichungen auftreten können. Deshalb wurde von der Berücksichtigung des Entmagnetisierungsfaktors abgesehen.

Der Grösstfehler der Suszeptibilität k wurde mit $\pm 1,5$ % bestimmt.

U. Schmucker (1957) hat bei seinen Untersuchungen ein Magnetometer verwendet wie es von H. Dürschner (1954) beschrieben worden ist und gibt als Messgenauigkeit für natürliche Remanenz und Suszeptibilität + 5 % an. Da bei der hier verwandten Apparatur dagegen eine Genauigkeit von $\pm 1,5$ % erreicht worden ist, dürfte die zu fordernde Genauigkeit wohl hinreichend erreicht sein.

Auswertung der Messungen

In Tafel Nr. 3 ist die Auswertung einer Hysteresisschleifenmessung dargestellt. Die im Laufe der Messungen eingetragenen Werte sind die Widerstände R_1 und R_2 , die Stromstärke i_{Amp} , das Mittel dreier Galvanometerablesungen. Es finden sich noch Angaben über Probenbezeichnung, Temperatur, Magnetisierungsspule, Koerzitivkraft, Volumen und geologischen Befund.

Die Magnetisierung J berechnet sich mit dem Eichwert ϵ und dem Volumen V nach

$$J = \epsilon \cdot \frac{\text{pars}}{V} \quad (3)$$

Tafel 3 - Auswertungsbeispiel einer Hysteresisschleifenmessung

Example for analyzing a hysteresis loop measurement

Datum : 10.11.1956

Temp. : 20°C

Aufnahme von Hysteresisschleifen

Magnetisierungsspule M_{14} Probe : 37 $M_R : 3,25$ Skt. = 0,038 (cgs)

R_1	R_2	i_{Amp}	Skt.	J (cgs)	H (cgs)	k (cgs)
0		0,2	201,0	0,010101	8,126	0,004972
10000		0,5	164,3	0,100552	19,65	0,005117
10000		1,0	312,5	0,209610	38,85	0,005395
7000	1000	1,5	180,5	0,330135	58,05	0,005687
7000	1000	2,0	247,5	0,452677	77,25	0,005860
7000	1000	2,5	315,0	0,576135	96,45	0,005973
7000	1000	3,0	381,0	0,696849	115,64	0,006026
7000	200	4,0	126,0	0,935424	151,05	0,006072
7000	200	3,0	101,5	0,753536	115,64	
7000	1000	2,5	357,5	0,653868	96,45	
7000	1000	2,0	303,0	0,551187	77,25	
7000	1000	1,5	246,5	0,450048	58,05	
7000	1000	1,0	186,0	0,310194	38,85	
10000		0,5	366,5	0,221298	19,65	
10000		0,0	169,0	0,103428	0,446	
0		-0,2	+259,0	0,052059	-7,23	
0		-0,5	-138,0	-0,027738	-18,75	
10000		-1,0	-263,5	-0,161262	-37,95	
7000	1000	-1,5	-167,0	-0,305443	-57,15	
7000	1000	-2,0	-228,5	-0,436216	-76,35	
7000	1000	-2,5	-307,0	-0,561503	-95,55	
7000	1000	-3,0	-375,5	-0,686789	-114,75	
7000	200	-4,0	-124,5	-0,924288	-153,15	
7000	200	-3,0	-101,0	-0,749824	-114,75	
7000	1000	-2,5	-352,5	-0,644722	-95,55	
7000	1000	-2,0	-299,0	-0,546871	-76,35	
7000	1000	-1,5	-242,0	-0,412618	-57,15	
7000	1000	-1,0	-183,5	-0,335621	-37,95	
10000		-0,5	-358,0	-0,219096	-18,75	
10000		-0,0	-158,0	-0,096696	-0,446	

Koerzitivkraft $K = 14,69$ (Oe) Volumen $V = 58,65$ (cm³)

Geologischer Befund : Amphibolit

 $R_1 =$ Reihenwiderstand zum Galvanometer $R_2 =$ Parallelwiderstand $R_1 = 0$: 0,01177 (M/Skt.) $R_1 = 10000$: 0,03588 (M/Skt.) $R_1 = 7000, R_2 = 1000$: 0,1073 (M/Skt.) $R_1 = 7000, R_2 = 200$: 0,4354 (M/Skt.)

Für die Feldstärke H berechnet sich nach

$$H = K \cdot i_{Amp} \pm H_{||} \quad (4)$$

dabei gilt :

K = Spulenkonstante

i_{Amp} = Stromstärke

$H_{||}$ = Erdfeldkomponente parallel zur Spulenachse

Die Suszeptibilität ergibt sich aus

$$k = \frac{J}{H} \quad (5)$$

Die Werte für die Remanenz gehen aus dem Protokoll hervor, während die Koerzitivkraft K durch lineare Interpolation aus den entsprechenden Werten bestimmt wird.

UNTERSUCHUNG DER IM GELANDE GERICHTET ENTNOMMENEN GESTEINSPROBEN

Um Aussagen machen zu können, inwieweit das Erdfeld zur Erklärung der natürlichen Remanenz der Proben herangezogen werden kann und in welcher Richtung das Gestein magnetisiert ist, mussten die Proben gerichtet entnommen werden. Hierzu wurde die Lage des Handstückes im Gelände durch verschiedenfarbige Pfeile auf der Probe hinreichend genau fixiert. Um einen groben Überblick über die Grösse der Magnetisierung zu erhalten, wurden die Handstücke zuerst mit der Schmidt'schen Feldwaage geprüft. Darauf wurde die remanente Magnetisierung in den drei Kantenrichtungen bestimmt. Der Richtungssinn, + oder —, konnte durch das im Erdfeld induzierte Moment angegeben werden. Das gemessene resultierende Moment M musste dann in das erdmagnetische Koordinatensystem umgeformt werden.

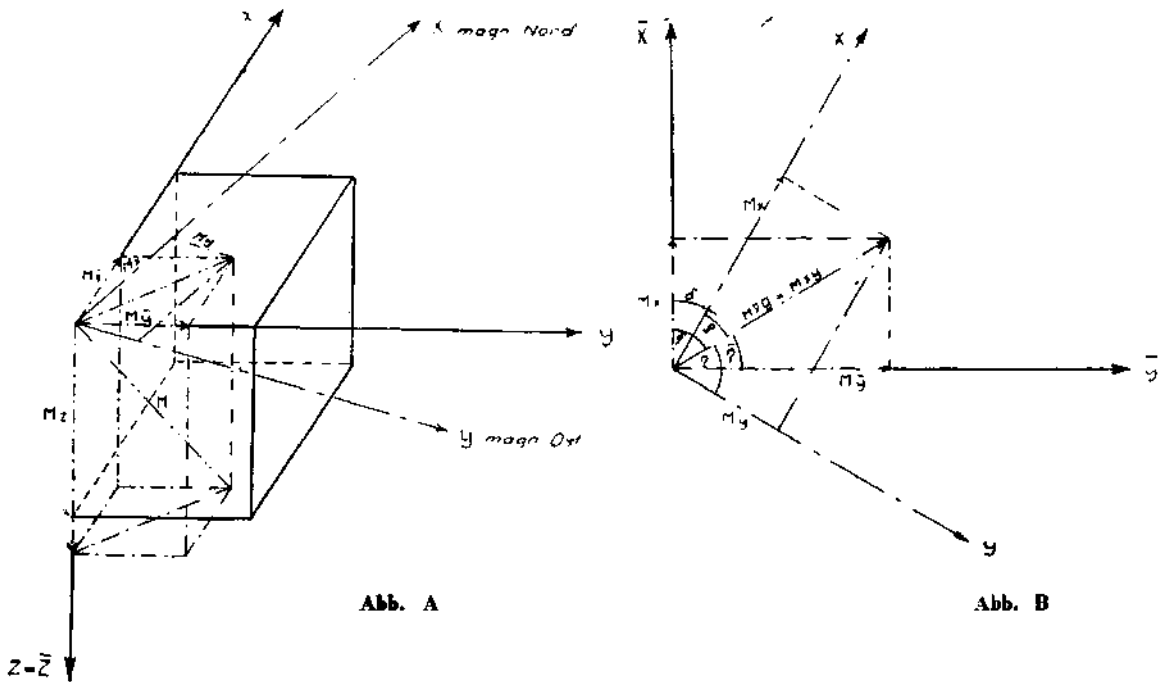
In Tafel Nr. 4 ist diese Koordinatentransformation erläutert. Das xyz -System sei das erdmagnetische Koordinatensystem, dabei zeigt die x -Achse nach magnetisch Nord, die y -Achse nach magnetisch Ost und die z -Achse nach unten. Das xyz -System sei das System des Würfels, wobei $z = z$ nach unten zeigt und positiv gerechnet wird. Unter Annahme eines Rechtskoordinatensystems sind x -Achse und y -Achse entsprechend gegeben. Die Koordinatentransformation besteht also aus einer Drehung der Koordinatensysteme, wobei der Drehungswinkel d , von x nach x , also bei Rechtsdrehung positiv gezahlt wird.

Die Komponenten der Magnetisierungsrichtung in den drei Achsenrichtungen M_x , M_y , M_z werden in der Spule gemessen und dann das resultierende Moment M berechnet nach

$$M = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2 + (M_z)^2} \quad (6)$$

Die Komponenten M_x , M_y , M_z werden bestimmt nach

$$\begin{aligned} M_x &= M_x \cdot \cos \delta + M_y \cdot \sin \delta \\ M_y &= M_x \cdot \sin \delta + M_y \cdot \cos \delta \\ M_z &= M_z \end{aligned} \quad (7)$$



Tafel 4 - Koordinatentransformation des $\bar{x} \bar{y} \bar{z}$ -Systems des Würfels in das erdmagnetische $x y z$ -System

Transformation of coordinates of the $\bar{x} \bar{y} \bar{z}$ -system of the cube into the $x y z$ -system of earth's magnetic field

Für θ , den Winkel zwischen den Vektoren der Totalintensität T und der Magnetisierung M , gilt

$$\cos \Theta = \cos \alpha \cdot \cos i + \cos \gamma \cdot \sin i \quad (8)$$

$$i = \text{Inklination} = 72^\circ$$

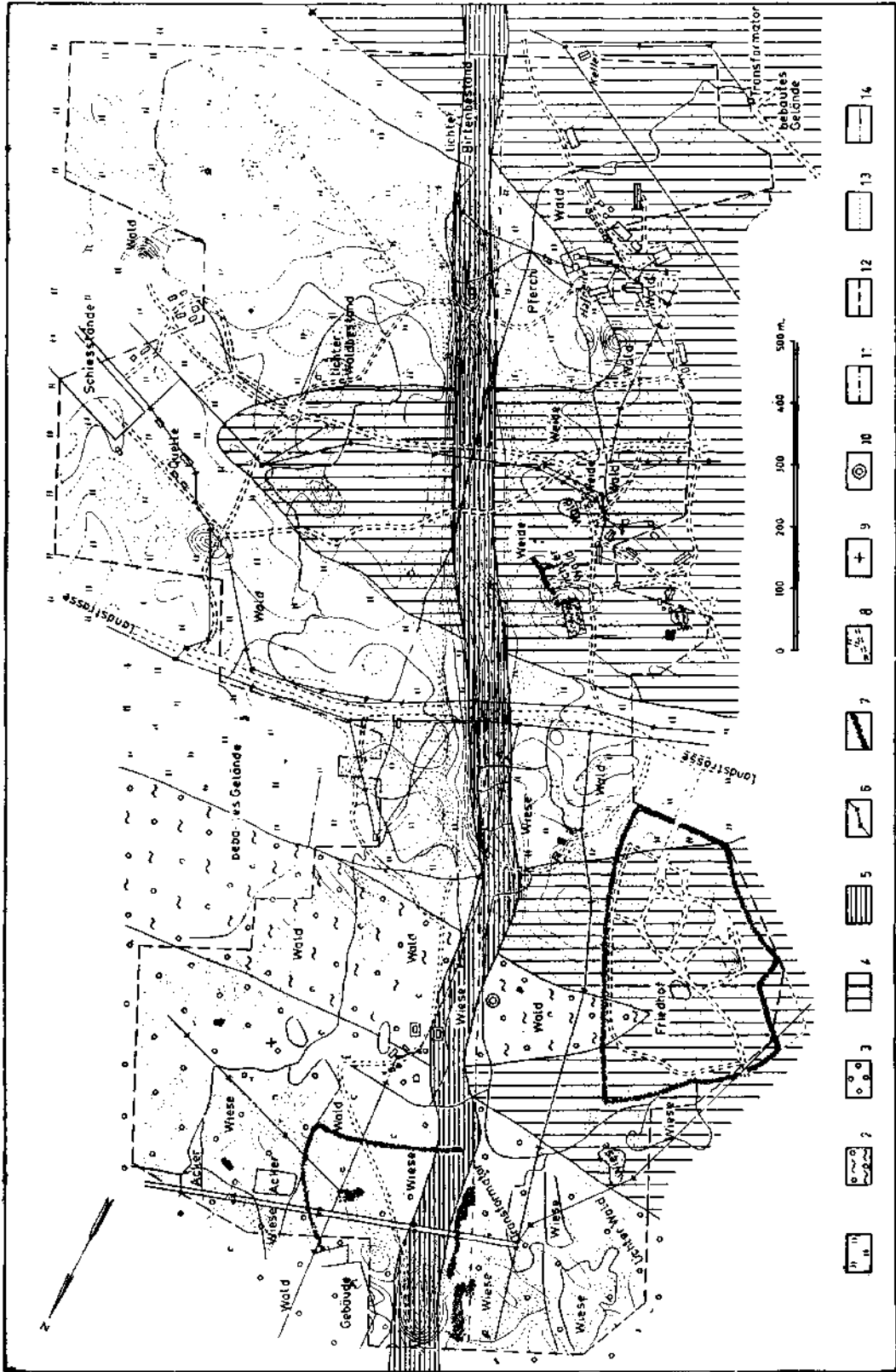
$$\cos \alpha = \frac{M_x}{M}$$

$$\cos \gamma = \frac{M_z}{M}$$

Ergebnisse

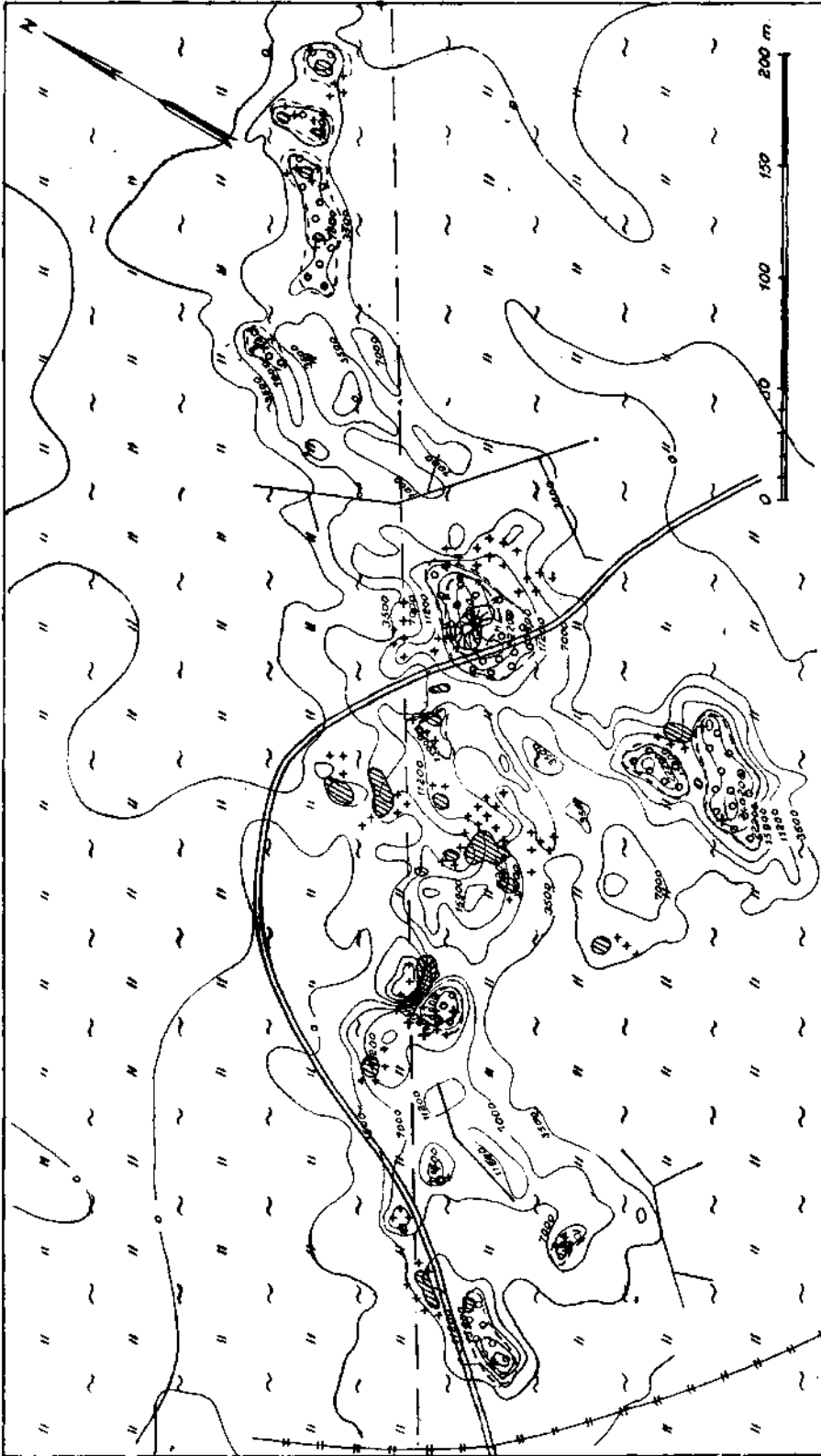
Es wurden ca. 70 Gesteinsproben an 55 Stellen gerichtet entnommen, und zwar in den Untersuchungsgebieten A, B, C, südlich von Falun dem Gebiet D, nördlich von Falun. Ausserdem im Gebiet E, ostnordost des Blotbergfeldes. Die Proben F stammen aus dem Tagebau von Blotbergsgruvorna und dienen zur Gewinnung von Vergleichsmaterial.

In den Tafeln Nr. 5, 6, 7 sind die Lagen der einzelnen Entnahmestellen dargestellt.



Tafel 5-6 - Untersuchungsgebiet D; Karte über Topographie, Geologie und magnetische Isanomalien

- 1 - Leptit, grau gleichkörnig; 2 - Leptitgneis mit Quarzagen; 3 - Granitgneis indermediär; 4 - Glimmerschiefer; 5 - Asbydiabas; 6 - Elektrische Leitung; 7 - Steinwall; 8 - Wege; 9 - Probenentnahme; 10 - Basislinie; 11 - Basislinie; 12 - Grenze des Mesogebietes; 13 - Ekuidistans 80 γ; 14 - Ekuidistans 100 γ



- 1 - Grenze des Messgebietes; 2 - Baseline; 3 - Halde; 4 - Gräben; 5 - Weg; 6 - Drahtzaun; 7 - Schürfung;
- 8 - Lepit durchsetzt mit jüngeren Granit; 9 - Erzinseln

Tafel 7 - Untersuchungsgebiet E Karte über Topographie, Geologie und Magnetischen isanomalien

1 - Grenze des Messgebietes; 2 - Baseline; 3 - Halde; 4 - Gräben; 5 - Weg; 6 - Drahtzaun; 7 - Schürfung;
8 - Lepit durchsetzt mit jüngeren Granit; 9 - Erzinseln

Sie verteilen sich auf die einzelnen Gebiete wie folgt :

<i>Gebiet</i>	<i>Anzahl Entnahmestellen</i>
A	27
B	4
C	11
D	1
E	8
F	4

Die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Proben sind in der Tafel Nr. 8 zusammengefasst.

In den Gebieten A, B, C, D stammen die Proben von Punkten mit Anomalien von ca. 500-1000 g. Dagegen zeigten die Entnahmepunkte in den Gebieten E, F erheblich höhere Werte. Um eine gleichwertige Beurteilung zu ermöglichen, wurde angestrebt die Proben von anstehendem Gestein zu gewinnen. Wie aus Tafel Nr. 8 hervorgeht wurde dieser Faktor durch entsprechende Bezeichnung der einzelnen Proben berücksichtigt.

Somit standen zur Untersuchung Amphibolite, Leptite, Gabbros, Gneis-Granit, Magnetit und Skarnerz zur Verfügung.

Bei der Untersuchung der Magnetisierungsrichtung ergab sich eine leichte Abweichung der Magnetisierungsrichtung der untersuchten Proben von der des Erdfeldes.

In Tafel Nr. 9 sind die Ergebnisse, zusammengestellt in einzelne Winkelbereiche, prozentual dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Bereiche für θ von 16° bis 30° und 31° bis 45° den überwiegend grossen Anteil haben.

In Tafel Nr. 10 sind ohne Berücksichtigung der z-Komponente die Magnetisierungsrichtungen der einzelnen Proben im Einheitskreis eingezeichnet.

Eine Darstellung mit Berücksichtigung aller dreier Komponenten in der Einheitskugel in Raumkoordinaten wird in Tafel Nr. 11 gegeben. Wobei die in den Bereich $\theta = 16^\circ$ bis $\theta = 45^\circ$ fallenden Proben durch ihre resp. Vektoren hervorgehoben wurden.

Aus den Tafeln geht eindeutig die bevorzugte Richtung für $\theta = 30^\circ$ hervor. Die hier auftretenden Streuungen sind durchweg auf die Inhomogenität der Proben zurückzuführen. Von den grösseren Abweichungen konnte jede für sich begründet werden. Bei den Proben 25b, 54a, 54b lag bestimmt kein anstehendes Gestein vor, vielmehr stammen sie sehr wahrscheinlich von Moranenblöcken her. Die Proben 17, 18, 21, 46a, 46b, 55a kommen mit Sicherheit von anstehendem Gestein, jedoch liegt jede inmitten einer grossen regionalen Störung, etliche wurden sogar von tiefer liegenden Teilen des Störkorpers entnommen (Grube, Abhang). Die Wirkung der regionalen Störung überdeckt natürlich die des Erdfeldes, so dass diese Proben zur Beurteilung der Magnetisierungsrichtung nicht herangezogen werden konnten. Bei Probe 46a, 46b, kommt wegen sehr schlechter Form noch eine erheblich grössere Fehlermöglichkeit bei der Messung in Betracht als bei alien

Tafel 8 - Zusammenstellung der entnommenen Gesteinsproben
Collection of rock specimens

Gebiet	Nr.	Vol. (cm ³)	θ°	K (Oe)	k 10 ⁻⁶ (cgs)	geologischer Befund
A	1 !	57,12				Amphibolit
	29 a!	57,84	89	4,049	4199	basisch. Leptit
	b!	61,88	77		4686	— » —
	2 !	65,36				Kont. i. Amphibolit Pegmatit
	43 !	58,42	18		4430	Leptit
	23 !	58,95	47		305	Kalileptit
	37	58,65	70	14,691	4204	Amphibolit
	36	59,68	30		6011	Amphibolit
	3 !	62,76				Amphibolit
	4	65,68	39			Diorit-Gabbro
	24 !	61,89	15		179	Amphibolit
	5 !	59,40				Amphibolit
	6 !	56,14				Leptit, kalireich
	44 a!	63,98	176	5,419	3540	Leptit, natronr.
	b!	60,74	167		4531	— » —
	38 !	57,32	12		5480	biotitr. Leptit
	7	54,68				Leptit, nantronr.
	42 a	61,25	42		6060	Leptit
	b	44,45	9		7083	— » —
	25 a	35,04				Uralitgabbro
	b	53,14	81		1545	Leptit
	30 ?	61,34	27		2659	Amphibolit
	8	61,79				Leptit, natronr.
	31 a	36,08	8		4531	Amphibolit
	b	25,32	18		4870	— » —
	32	59,18	38		3760	Amphibolit
	45	68,73	42		6966	Leptit
	39	51,44	28		4363	Amphibolit
	9	61,22				Amphibolit
	40	58,84	50	8,379	6166	basisch. Leptit
10	62,82				Leptit	
41 a?	60,66	22		6197	Leptit	
b?	53,84	22	6,508	5852	— » —	
B	33 a!	58,98	27		2074	gneisig. Leptit
	b!	55,97	23		2011	— » —
	12 !	64,46				Uralitgabbro
	26 !	55,02				Uralitgabbro
13 !	67,87				Uralitgabbro	
C	14 !	55,32				Uralitgabbro
	34 a	52,99	38		4619	Uralitgabbro
	b	37,30				gneisig. Leptit
	15 !	60,95				Uralitgabbro
	16 ?	63,20				Uralitgabbro
	17 !	57,92	94			Uralitgabbro
	35 a	59,05	70	6,022	2439	Uralitgabbro
	b	40,54	104		1971	— » —
	27	67,65	59	18,314	206	Uralitgabbro
	18 !	56,51	75			Uralitgabbro
	19 ?	49,92				Uralitgabbro
20 !	58,59	90			Uralitgabbro	
21 !	59,48	148			Uralitgabbro	

Tafel 8 (2. Forts.)

Gebiet	Nr.	Vol. (cm ³)	θ°	K (Oe)	k 10 ⁻⁶ (cgs)	geologischer Befund
D	11	64,88				Leptit
	28 a	60,88	23		1428	Gneis-Granit
	b	53,30	36		1278	— » —
	c	56,31	37		1134	— » —
E	46 a	37,64	99		237388	Magnetit m. Hornblende
	b	56,33	84		192208	— » —
	47 a	30,16			27270	Leptit-Gneis
	b	33,00			34556	— » —
	48	28,44			21004	Skarnerz
	49 a	58,64	27	6,488	159002	biotitr, Magnetit
	b	53,34	19		134630	— » —
	c	42,27			174580	— » —
	d	43,40	43		149058	— » —
	f	41,13	86		176000	— » —
	50 a	49,60	58	6,786	19394	biotitr, Magnetit
	b	48,76	74		3664	Kalifeldspatader in Leptit
	51	62,73			138201	Magnetit m. Skarnrand
	54 a	40,10	125	3,750	4677	Skarnerz
	b	48,98	84		43141	— » —
	60	47,24	59		97442	Magnetit m. grün. Hornbl.
	62	58,24	41		196878	— » —
	062	14,10		13,569		— » —
	63	54,63	5		185699	— » —
	64	53,52	19		187592	— » —
	65	57,52	40		192280	— » —
	66	50,20	71		200878	— » —
67	46,26	20		179376	— » —	
69	41,77	32		181986	— » —	
070	15,43		12,129	234320	— » —	
071	39,32		13,021	164798	— » —	
F	55 a	53,89	59	8,431	171109	Skarnerz
	055 a	25,71		10,894	349910	— » —
	b	51,22			187892	— » —
	056	13,56		3,767	253587	Skarnerz
	057 a	12,43		12,838	154298	Skarnerz
	0 b	12,44		9,355	209145	— » —
	058	13,10		8,234	235380	Skarnerz

A - Untersuchungsgebiet.

29a - laufende Nummer der einzelnen Proben. Die Buchstaben weisen daraufhin, dass diese Proben etwa in 1 m Umkreis des Punktes aus verschiedenen Gesteinspartien entnommen wurden, können allerdings auch aus einem Handstück geschnitten sein.

Die Nummern 60 bis einschl. 071 sind aus einem Handstück geschnitten.

O - vor der Nummer bedeutet zylindrische Form der untersuchten Probe im Gegensatz zu den würfelförmigen.

! - mit Sicherheit anstehendes, festes Gebirge.

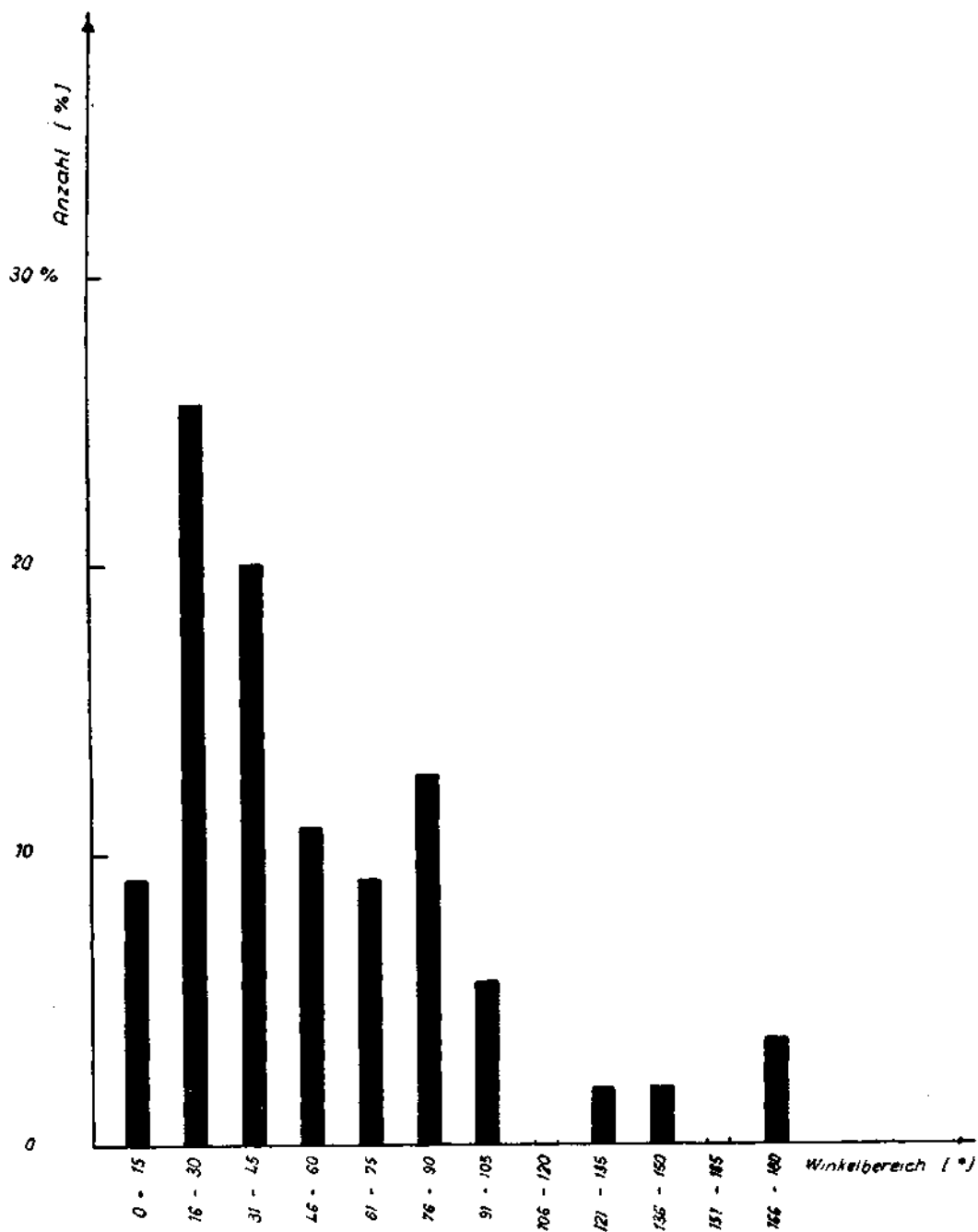
? - es ist fraglich, ob festes Gebirge vorliegt, jedoch wahrscheinlich, kann allerdings auch grosser Moränenblock sein.

Bei den Nummern ohne ! oder ? können keine Aussagen gemacht werden, ob anstehendes Gebirge vorliegt oder nicht, auch nicht ob ev. ein grosser Moränenblock vorliegt.

θ° - Winkel zwischen Totalintensität *T* und Magnetisierung *M*.

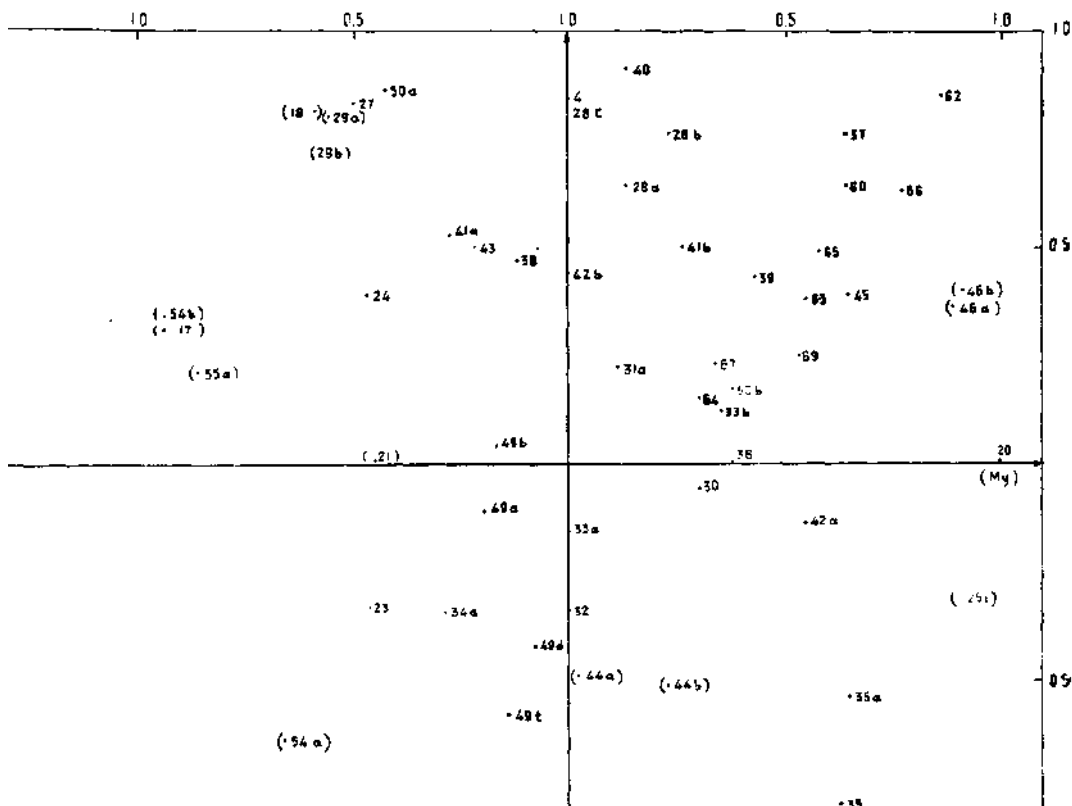
K (Oe) - Koerzitivkraft.

k-10⁻⁶ (cgs) - Suszeptibilität.



Tafel 9 - Diagramm über die prozentuale Verteilung der Magnetisierungsrichtung in den einzelnen Winkelbereichen

Diagram for percentage distribution of the direction of magnetization in the individual sectors



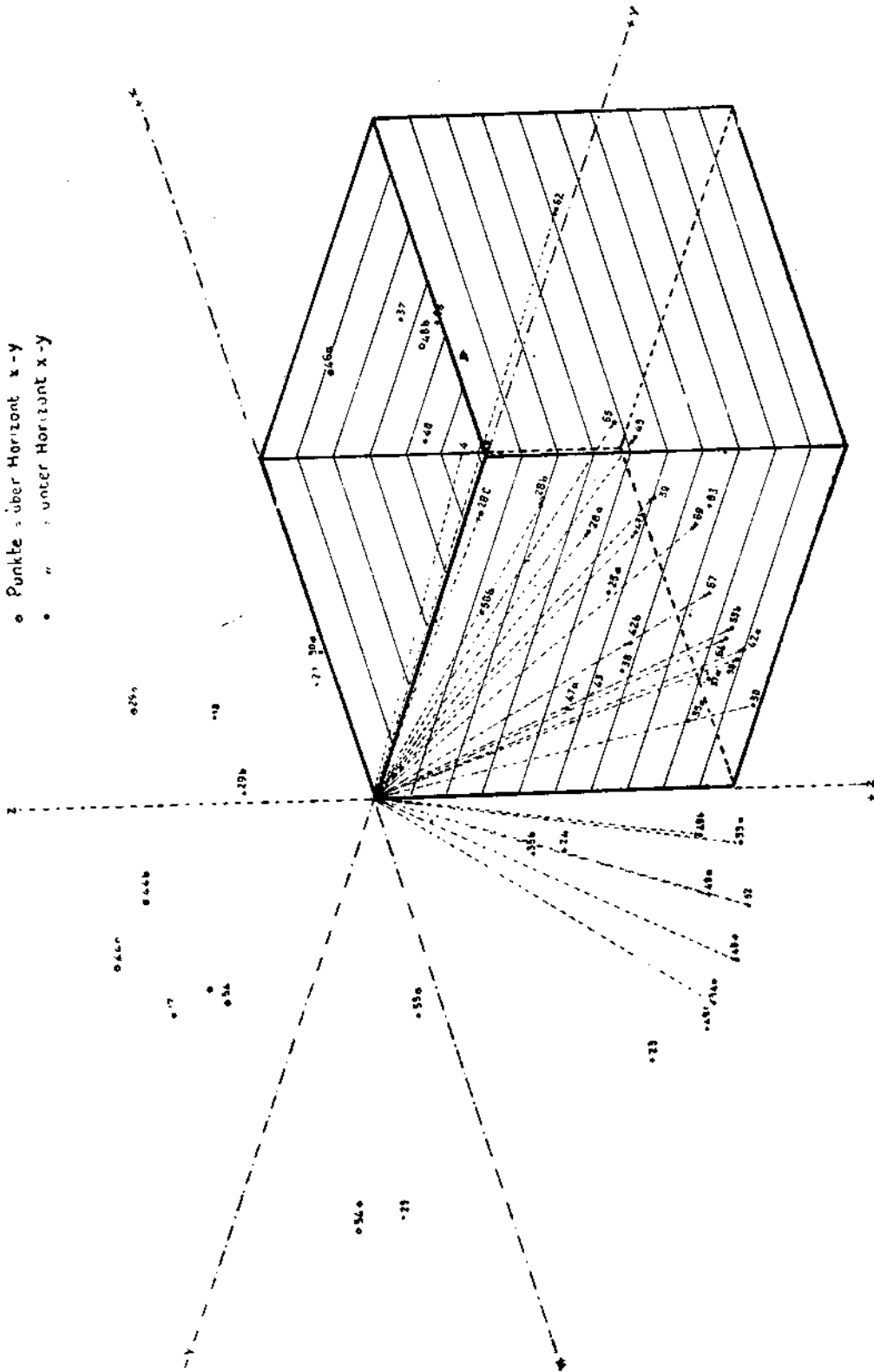
Tafel 10 • Diagramm über die Magnetisierungsrichtung der würfelförmigen Gesteinsproben
 Diagram for the direction of magnetization of cubical rock specimens

$$\frac{M_x}{M} = (M_x)_1; \frac{M_y}{M} = (M_y)_1 \text{ für } M = 1$$

() = nicht auswertbare Proben (Moränenblöcke u. ä.)

anderen. Die Proben 44a, 44b und 29a, 29b stammen aus der Differentiationszone Leptit-jüngerer Granit, resp. -Pegmatit. Die Untersuchung im Dünnschliff zeigte in diesen Proben Quarz in undulöser Auslöschung, also ein Zeichen, dass die Probe einer starken Beanspruchung durch Druck ausgesetzt war. Ausserdem stammen auch diese Proben aus einer regionalen Störung. Inwieweit die Druckbeanspruchung mit zur Erklärung der anormalen Magnetisierungsrichtung heranzuziehen ist, konnte wegen der geringen Probenzahl nicht untersucht werden. - In Tafel Nr. 12 wurde die Verteilung der Winkelbereiche für 0 bei den einzelnen Gesteinen prozentual dargestellt. Es zeigte sich, dass eine ungefähr gleiche Verteilung vorliegt und kein Gestein durch eine charakteristische Magnetisierungsrichtung gekennzeichnet ist.

Anknüpfend an S. K. Runcorns (1955) mitgeteilte Ergebnisse über charakteristische Magnetisierungsrichtungen der Gesteine in verschiedenen Zeitaltern, wurde anhand der vorliegenden Ergebnisse auch diese Frage untersucht. Jedoch zeigte eine Aufschlüsselung der Gesteine nach Alter und späterer Vergleich der Magnetisierungsrichtungen der verschieden alten Gesteinsgruppen miteinander keine für

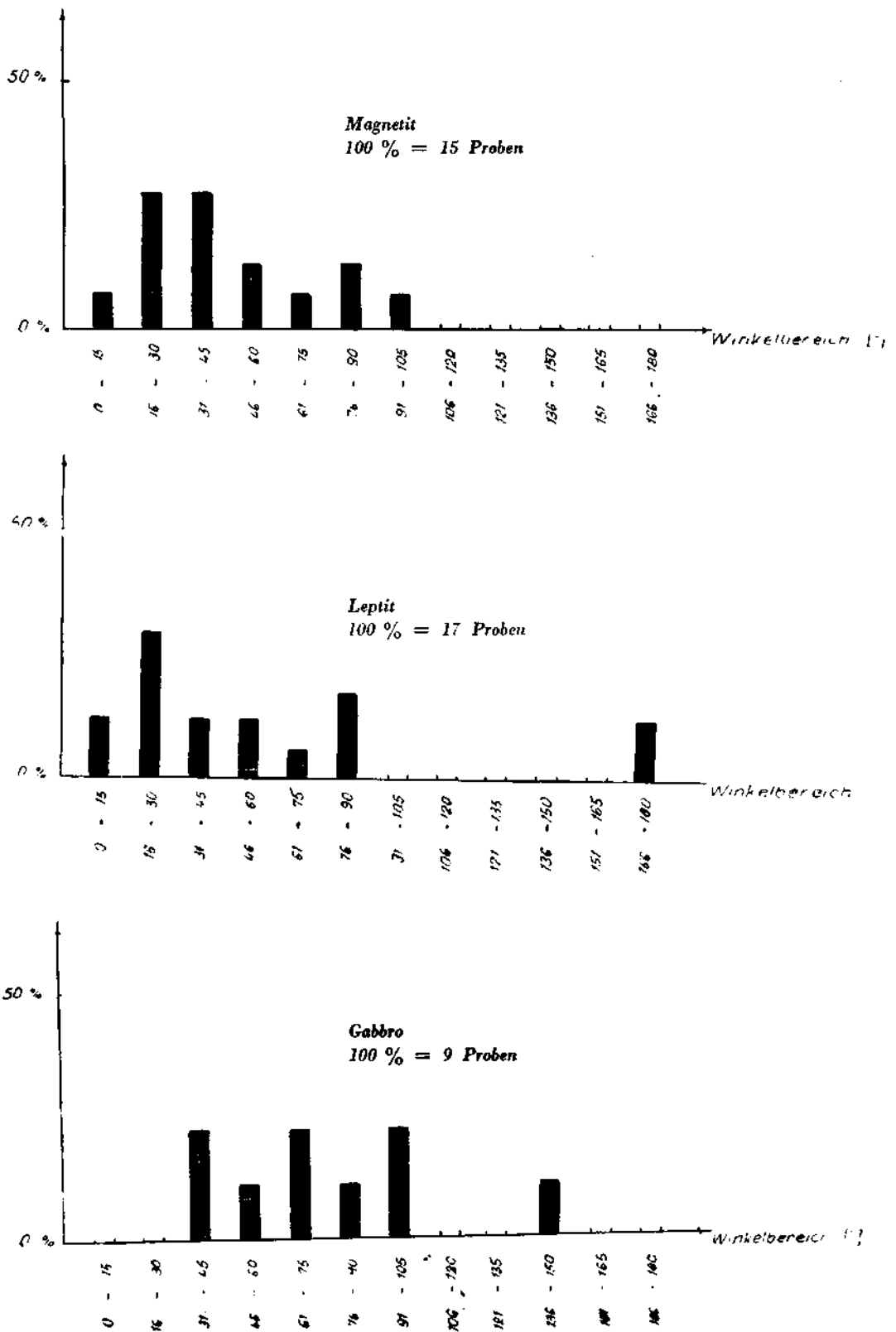


o Punkte über Horizont x-y
 • " unter Horizont x-y

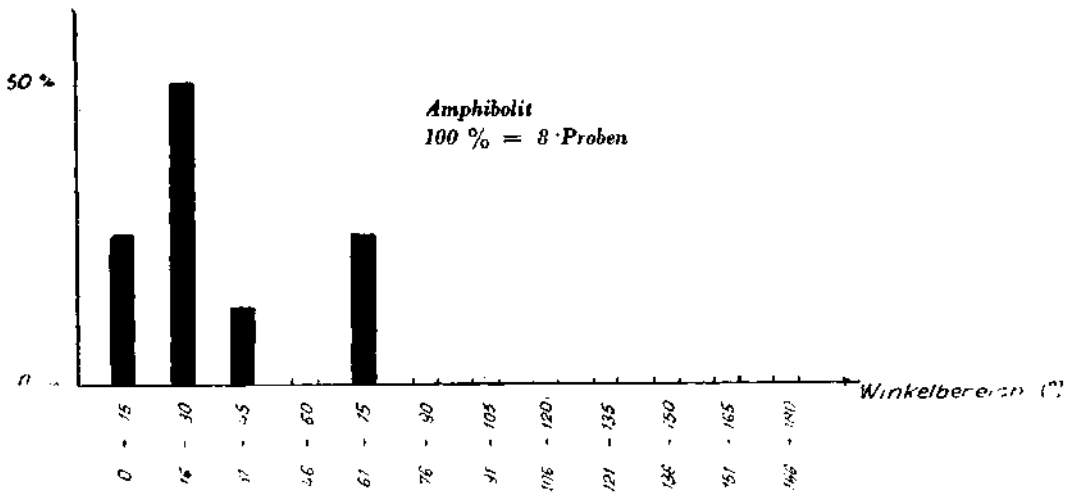
Tafel 11 - Diagramm über die Magnetisierungsrichtung der würfelförmigen Gesteinsproben
 Diagram for the direction of magnetization of cubical rock specimens

Tafel 12 - Diagramm über die prozentuale Verteilung der Winkelbereiche der Magnetisierungsrichtung bei den verschiedenen Gesteinen

Diagram for the percentage distribution of the direction of magnetization of different rocks

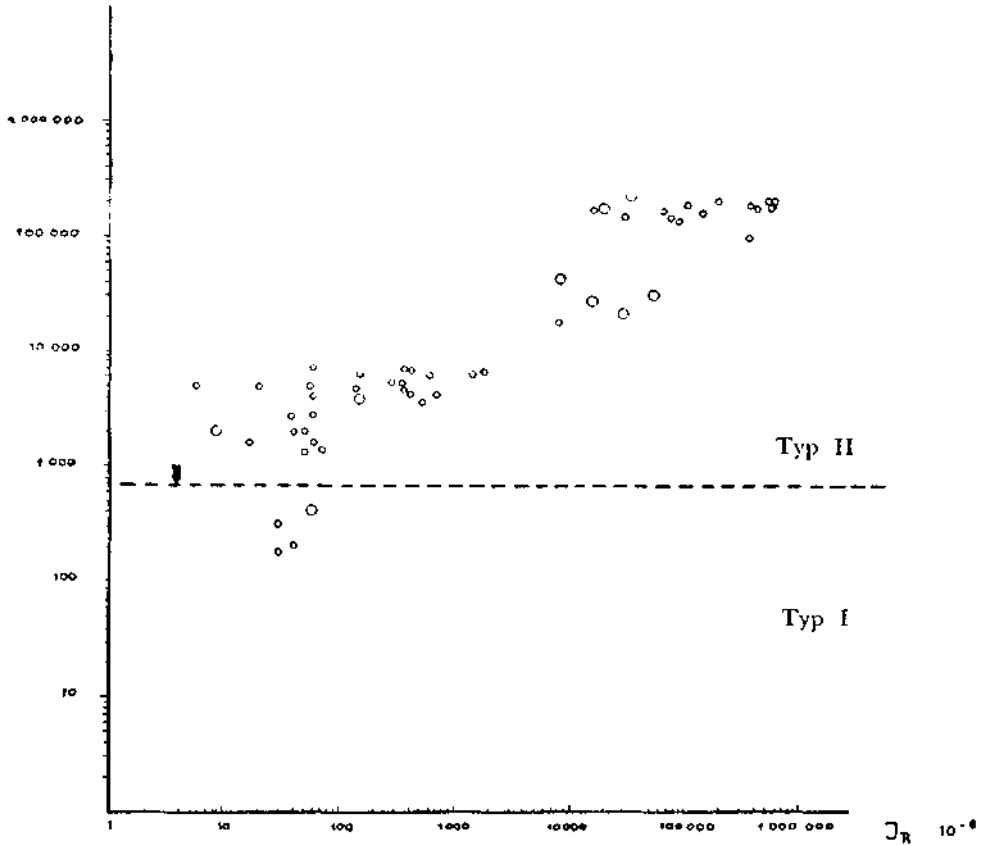


Tafel 12 (2. Forts.)



irgendeine Epoche hervorstechende Magnetisierungsrichtung. Zwar sind die untersuchten Gesteine alle svionisch, doch überstreicht das Svionium immerhin einen Zeitraum von ca. 200 Millionen Jahre. Man kann demnach, um überhaupt das unterschiedliche Alter der Gesteine deutlich zu machen, das Svionium unterteilen in Früh-, Mittel- und Spät-Svionium, wobei nach P. Eskola und H. Stille (1944) das Spätsvionium etwa dem Präbottnium gleichgesetzt werden kann. Der überstrichene Zeitraum wäre an und für sich gross genug, um unterschiedliche Magnetisierungsrichtungen erwarten zu können. So berichtet doch S. K. Runcorn (1955) von dem heutigen Erdfelde entgegengesetzter Magnetisierungsrichtung bei gewissen Schichten der praecambrischen (ungefähr = bottnisch) Torridonsandsteinen Nordwestschottlands. Ebenso wird bei H. Gellertich (1937) von entgegengesetzter Magnetisierung bei altpaläozoischen Gesteinsgängen in Südafrika berichtet. U. Schmucker (1957) teilt eine ebenfalls umgekehrte Magnetisierung eines miozänen Feldspatbasaltvorkommens am westlichen Leinetalgrabenrand (Deutschland) mit. Zwar konnte bei den hier vorliegenden Messresultaten keine ausgesprochen entgegengesetzte Magnetisierung festgestellt werden, aber doch immerhin eine deutlich merkbare Abweichung der Magnetisierungsrichtung im Svionium von der des heutigen Erdfeldes. Die hier untersuchten Gesteine sind durchweg älter als die von den anderen Verfassern erwähnten. Die Leptite sind frühsvionisch, während die «Grünsteine» (Amphibolite, Gabbros, Diorite) als frühe spätsvionische Gesteine angesehen werden können. Da, wie die Darstellung in Tafel Nr. 12 zeigt, alle Gesteine im Mittel eine gleichmässige Magnetisierungsrichtung zeigen, darf angenommen werden, dass während des gesamten Svioniums keine Änderung der Magnetisierungsrichtung stattgefunden hat.

Die Untersuchung der Abhängigkeit von induzierter und remanenter Magnetisierung ergab für die Suszeptibilitäten der Grössenordnung $k = 10^{-3}$, dass die remanente Magnetisierung etwa um den Faktor 10 kleiner ist als die induzierte.



**Tafel 13 - Abhängigkeit von Suszeptibilität und Remanenz bei Erdfeldstärke
Darstellung in logarithmischen Koordinaten**

Relationship between susceptibility and remanence for the strength of the earth's magnetic field
Representation in logarithmic coordinates

○ = + J_R = Positive Remanenz - positive remanence
 ◻ = - J_R = Negative Remanenz - negative remanence

Für Suszeptibilitäten der Grössenordnung $k = 10^{-1}$ war die remanente grösser resp. grössenordnungsmässig gleich der induzierten Magnetisierung. Da nun auch alle Proben mit grösserer remanenter als induzierter Magnetisierung die gleiche Magnetisierungsrichtung wie die übrigen Proben aufweisen, kann angenommen werden, dass während des gesamten Svioniums die hier gefundene Magnetisierungsrichtung geherrscht hat und diese bis heute beibehalten worden ist.

Eine Aufschlüsselung der Werte der Suszeptibilität ergab prinzipiell zwei Hauptgruppen, abgesehen von den Erzproben. Die eine Gruppe zeigt für alle vorkommenden Gesteine, also Amphibolit, Gabbro und Leptit, der Grössenordnung nach $k = 50 \cdot 10^{-6}$ (cgs). Die zweite Gruppe lässt folgende grössenordnungsmässige Aufschlüsselung zu :

Amphibolit	=	4 000 · 10 ⁻⁶	(cgs)
Gabbro	=	3 000 · 10 ⁻⁶	(cgs)
Leptit	=	4 500 · 10 ⁻⁶	(cgs)
Magnetit	=	180 000 · 10 ⁻⁶	(cgs)

Diese hier vorliegenden Werte sind Mittelwerte unter Weglassung einiger weniger Extremwerte.

Wie aus dieser Aufschlüsselung hervorgeht, liegen hier also bei Betrachtung magnetischer Eigenschaften je zwei verschiedene Grundtypen Amphibolit, Gabbro und Leptit vor.

	Typ I	Typ II
Amphibolit	= $50 \cdot 10^{-6}$ (cgs)	= $4\ 000 \cdot 10^{-6}$ (cgs)
Gabbro	= $50 \cdot 10^{-6}$ (cgs)	= $3\ 000 \cdot 10^{-6}$ (cgs)
Leptit	= $50 \cdot 10^{-6}$ (cgs)	= $4\ 500 \cdot 10^{-6}$ (cgs)

Eine petrographische Untersuchung der oben mit Typ I und II bezeichneten Gesteinsgruppen ergab für Typ I einen Magnetitgehalt der Grössenordnung 1 %, für Typ II 10 %. Diese Tatsache bestätigt wie auch schon bei anderen Verfassern festgestellt wurde, die Abhängigkeit der Suszeptibilität vom Magnetitgehalt (vgl. speziell hierzu S. Werner (1949) und U. Schmucker (1957)).

Das Ergebnis der Untersuchung der Abhängigkeit der Suszeptibilität von der Remanenz bei Erdfeldstärke ist in Tafel Nr. 8 in logarithmischen Koordinaten dargestellt. Obwohl die Werte eine gewisse Streuung zeigen, lässt sich doch erkennen, dass mit steigender Remanenz auch die Suszeptibilität zunimmt. Ebenso tritt auch der Unterschied der zu Typ I und Typ II gehörenden Proben klar hervor.

Manuscript received January 23, 1961

L I T E R A T U R

SGU = Sveriges geologiska undersökning

GFF = Geologiska föreningens förhandlingar

- BOSUM, W. (1955) : Um die stratigraphisch-tektonische Deutung der im Rahmen der bisherigen geophysikalischen Forschungsarbeiten im Scheldetal gemessenen erdmagnetischen Anomalien vorzubereiten, ist die magnetische Suszeptibilität von Handstürken und Bohrkernen zu bestimmen. Hierzu soll die bei den Hessischen Berg- und Hüttenwerken aufgebaute PUZICHA-Apparatur den praktischen Bedürfnissen der Lagerstättenforschung dadurch angepasst werden, dass sie zur Messung von Bohrkernen mit den dort gebräuchlichen Durchmessern hergerichtet wird. *Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Bergakademie Clausthal vom 4.1.1955.*
- BRUCKSHAW, J. M. (1955) : The initial adjustments of vertical Variometers. *Geophysical Prospection* Nr. 4 Dec. 1955.
- BUCHHEIM, W. u. LAUTERBACH, R. (1954) : Isanomalien-Richtungsstatistik als Hilfsmittel tektonischer Analyse. *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, Bd. 63, S. 88-98, 1954.
- DÜRSCHNER, H. (1954) : Ein Magnetometer zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften von Gesteinen. *Annales de Geophysique*, 10, 152, 1954.
- EKELIN, S. (1955) : Mündliche Mitteilungen betreffend ABEM-Magnetometer, 1955.
- GEBELEIN, IT. u. REITE, IT. J. (1951) : Statistische Urteilsbildung. *Verlag Springer*, 1951.

- GEIJER, P. (1916) : Falutraktens berggrund och malmfyndigheter. *SGU*, Ser. C, Nr. 275, Arsbok 10, (Nr. 1) 1916.
- GELLETTICH, H. (1937) : Über magnetitführende eruptive Gänge und Gangsysteme im mittleren Teil de; südlichen Transvaals. *Beitr. z. angeiv. Geophysik*, Bd. 6, S. 377-406, 1937, Leipzig, Akad. Verlags - Ges. m. b. H.
- GLITSCH, R. E. (1955) : Unveröffentlicher Bericht über Kontroll- und Anschlussmessungen an dem Observatorium des Kungl. Sjökarteverket, Lovö, Nov. 1955.
- (1957) : Magnetische Messungen innerhalb des svionischen Leptitzuges in Mittelschweden (Bergslagen). *Diss. a. d. Universität München*, 31.7.1957.
- HAALK, H. (1942) : Der Gesteinsmagnetismus, seine Beziehungen zu den Erscheinungen des Ferromagnetismus und zum erdmagnetischen Feld. *Akad. Verlags-Ges. Becker & Erler*, Leipzig, 1942.
- (1927) : Die magnetischen Verfahren der angewandten Geophysik. *Sammig, geoph. Schriften, herausgfg. von Prof. Dr. C. MAINKA*, Heft Nr. 7, 1927, Verlag : Gebr. Bornträger, Berlin.
- (1953) : Lehrbuch der angewandten Geophysik. Teil I, 1953, 2. Aufl.
- JOHANSSON, H. E. (1910) : Die eisenerzführende Formation in der Gegend von Grängesberg. *GFF* Nr. 268, 1910, Febr. Bd. 32, Hafte 2, S. 239.
- (1924) : Det kemiska sambandet mellan järnmalmerna och de malmförande bergarterna i Bergslagen. *Teknisk Tidskrift (Bergvetenskap Nr. 7)* 12.6.1924, Arg. 54, sida 49.
- KAISER, E. und BRINKMANN, R. (1948) : Abriss der Geologie, Band I, II *Ferd. Enke Verlag*, Stuttgart (1940, 1948).
- KOARK, H. J. (1953) : Orientierung zur Geologie der Faluner Grube. *Falu Kopparverk* 1953.
- KULLING, O. och HJELMQVIST, S. (1948) : Beskrivning till kartbladet Falun. *SGU*, Ser. A a Nr. 189, 1948.
- MAGNUSSON, N. H. (1938) : Neue Untersuchungen innerhalb des Grängesbergfeldes. *SGU*, Ser. C, Nr. 418, arsbok 32 (1938) Nr. 8.
- (1952) : Malmgeologi. Jernkontoret, Stockholm 1952.
- och LUXDQVST, G. (1933) : Beskrivning till kartbladet Grängesberg. *SGU*, Ser. A a Nr. 177, 1933.
- , GRANLUND, E. och LUNDQVIST, G. (1949) : Sveriges geologi. 2 uppl. *Svenska Bokförlag*, 1949 Norstedt-Stockholm.
- MATTWEBER, S. (1954) : Geophysikalische Aufschlussmessung en im Scheldetal (Dillkreis), ihre geologische und bergwirtschaftliche Bedeutung für den Eisenerzbergbau des Lahn-Dill-Gebietes. *Diss. a. d. Bergakademie Clausthal*, 3.2.1954.
- REICH, H. (1933) : Angewandte Geophysik für Bergleute und Geologen. *Akad. Verlags-Ges. m. b. H. Leipzig*, 1933.
- und ZWARGER, v. R. (1943) : Taschenbuch der angewandten Geophysik. *Akad. Verlags-Ges. m. b. H. Leipzig*, 1943.
- RUNCORN, S. K. (1955) : The Earth's Magnetism. *Scientific American*, Sept. 1955, vol. 193, No. 3, page 152.
- (1955) : The Permanent magnetization of rocks. *Endeavour*, vol. XIV, No. 55, July 1955.
- SCHMUCKER, U. (1957) : Gesteinsmagnetisch'e Untersuchungen und Experimente am Basalt des Steinberges bei Barlissen. *Abhandl. d. Akademie d. Wissenschaften*, Göttingen, math.-phys.-Klasse, 3. Folge, Nr. 26.
- STILLE, H. (1944) : Geotektonische Gliederung der Erdgeschichte. *Abhandl. Preuss. Akad. Wiss., math.-nat.-Kl.* 1944, 3.
- SUNDHOLM, H. (1898) : Nagra anteckningar om grufvorna inom Ludvika socken af kopparbergs län. *Jernkontorets annaler* 53, arg. 1898; sida 85.

TIBERG, B. (1931) : *Mineralfyndigheter Jernkontoret*, Stockholm, 1931.

TÖRNQVIST, G. (1952) : Om den matematisk - geologiska tolkningen av magnetiska anomalier.
Acta academica Aboensis, Mathematica et Physica XVIII: 2, Abo academi Abo, 1952.

WERNER, S. (1915) : Determinations of the magnetic susceptibility of ores and rocks from Swedish iron ore cleposits. *SGU*, Ser. C, Nr. 172, arsbok 39 (1915) Nr. 5.

(1919) : Interpretation of magnetic anomalies at sheet-like bodies. *SGU*, Ser. C, Nr. 508, arsbok 13 (1919) Nr. 6.