GEOLOGISCHE
LANDESAUFNAHME

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
GEOTECHNISCHE SERIE
KLEINERE MITTEILUNGEN
Nr. 11

Magnetische Messungen an der Mangan-Eisenerzlagerstätte Fianell (Val Ferrera)

von

ERNST NIGGLI

BUCHDRUCKEREI AG. GEBR. LEEMANN & CO. ZÜRICH 2
KOMMISSIONSVERLAG: KÜMMERLY & FREY, BERN
1946

Vorwort der Geotechnischen Kommission

Die nachstehende Abhandlung „Magnetische Messungen an der Mangan-Eisenerzlagerstätte Fianell (Val Ferrera)" wurde vom Verfasser Dr. Ernst Niggli in dankenswerter Weise für die Aufnahme in die Serie der „Kleineren Mitteilungen" zur Verfügung gestellt.

Für die Geotechnische Kommission der S. N. G.
Der Präsident: Prof. Dr. *P. Niggli.*
Der Aktuar: Dr. *F. de Quervain.*

Sonderdruck aus „Schweiz. Min. Petr. Mitt.", Band XXVI, Heft 2, 1946

Magnetische Messungen an der Mangan-Eisenerzlagerstätte Fianell (Val Ferrera)

Von *Ernst Niggli* (Leiden-Zürich)
(unter Mitwirkung von J. Altmann und H. Vos).

Abstract. The small alpine manganese-iron ore deposit of Fianell (Switzerland) shows remarkable peculiarities in the magnetic properties of its ores. The iron ores (mostly hematite) are very weakly magnetic here (volume susceptibility $\varkappa < 0{,}0005$), whereas the greater part of the manganese ores (occuring as small lenses) has a $\varkappa$ running from 0,002 to 0,091 and shows typical ferromagnetic properties (hysteresis). The very strong magnetism of the latter ores is caused by jacobsite, $(Mn, Fe)_3O_4$, which together with braunite builds up the manganese ores of Fianell. Chapter 4 reports the results of the magnetic survey of the deposit which lies at a height of 7560 ft above sea-level. Very strong positive anomalies are found over outcropping manganese ores (maximum vertical intensity anomaly: $+ 1113\ \gamma$), whereas the magnetic field over iron ore is fairly normal. So it was possible to trace the manganese ore lenses within the ore body. The described survey is one of the very rare examples of direct manganese ore location with magnetic methods.

Chapter 3 gives a compilation and discussion of all numerical data on magnetic properties of manganese minerals and ores which could be found in scientific literature.

Die Manganerze unterscheiden sich zumeist in ihren geophysikalischen Eigenschaften wenig von ihren Nebengesteinen und sind daher nur selten einer geophysikalischen Prospektion zugänglich. Es mag daher von Interesse sein, über einen Fall zu berichten, bei welchem ein stark magnetisches Manganerz, linsenartig in nur schwach magnetischem Eisenerz vorkommend, eine magnetische Vermessung als angezeigt erscheinen liess, die zum Zwecke hatte, den Umfang des nur teilweise aufgeschlossenen Vorkommens zu bestimmen.

Im Jahre 1944 machte Dr. A. GLAUSER, der im Auftrage des Bureaus für Bergbau des Kriegs-Industrie- und Arbeitsamtes die Erzlagerstätte von Fianell (Val Ferrera) untersuchte, die Beobachtung, dass dort die Manganerze einen sehr starken Magnetismus besitzen. Es drängte sich für das Vorkommen die Anwendung der magnetischen Methode der angewandten Geophysik auf, und das Institut für Geo-

physik der Eidg. Technischen Hochschule (Leitung: Prof. Dr. F. GASSMANN) erhielt denn auch im Jahre 1945 von der Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung schweizerischer Erzlagerstätten den Auftrag, im Gebiete der Erzlagerstätte Fianell eine magnetische Feldvermessung durchzuführen.

Wir danken der Studiengesellschaft und im besonderen Herrn Dr. h. c. H. FEHLMANN für die Erlaubnis, die wissenschaftlich interessanten Ergebnisse publizieren zu dürfen.

1. Zur Geologie der Lagerstätte

Die Erzlagerstätte von Fianell ist durch ARN. HEIM und CH. TARNUZZER in (5), S. 237—239, näher beschrieben worden; sie wird ferner erwähnt von O. WILHELM (28) und ist auch auf dessen „Geologischer Karte der Landschaft Schams" (27) eingezeichnet.

Die Flurbezeichnung „Fianell" ist im Siegfriedatlas nicht enthalten, nach (5), S. 237, „bezeichnen mit Fianell die Geologen den N-Abhang des Piz Mazza". Der Piz Mazza liegt 3 km südöstlich von Ausserferrera [1]) (siehe auch Fig. 4). Am Nordabhang dieses Berges liegen, in vermutlich triasischem Marmor eingelagert, mehrere kleinere Eisen-Manganerzvorkommnisse. Das bedeutendste, in (5) „Fianell I" genannt, liegt auf einer Höhe von 2270 bis 2300 m. Zur gleichen Gruppe von Vorkommen gehören die Lagerstätten von Starlera, Mazzakessel, Bergwiesen und Schmorras-Grat.

Die Tektonik des Gebietes ist eine recht komplizierte; wir befinden uns im Hangenden der Surettadecke, wo in der Gegend des Piz Mazza und Piz Grisch eigenartige, nach Süden gerichtete Rückfaltungen auftreten (siehe Profile von O. WILHELM in (27)). Die Vorkommnisse von Fianell liegen in der Trias zwischen den Gneisen der Grisch- und der Samadafalte.

O. WILHELM (28) rechnete diese Falten schon zur höheren Margnadecke (als verschleppte, tauchende Stirnfalten), ARN. HEIM in (5) und R. STAUB in (11), Fasc. XIV, Exkursion No. 97 dagegen fassen sie als Teile der Surettadecke auf. Die Gesteine der Rückfaltungen des Piz Grisch sind alle recht stark alpin metamorph; die kalkigen und dolomitischen Gesteine der Trias liegen als Marmore vor.

Über die lokalen geologischen Verhältnisse von Fianell I orientiert Fig. 1.

---

[1]) Ausserferrera (Kt. Graubünden) liegt im Val Ferrera, dessen Fluss (Averserrhein) dem Hinterrhein tributär ist.

Die Hämatitquarzite von Fianell I besitzen einen Fe-Gehalt von 20—32 Gew.-%, reichere Eisenerze einen solchen bis 42 %; die hochwertigeren Manganerze enthalten 15—39 Gew.-% Mn. Innerhalb des Manganerzhorizonts treten die manganreicheren Partien in Form von kleinen Linsen auf, die eine Grösse von nur wenigen Tonnen erreichen (1—10 t). Gegen Osten sticht der Erzhorizont in den Berg hinein, unter den N-S verlaufenden Rücken, zu welchem die in Fig. 1 mit „± 2330 m" angeschriebene Erhebung gehört. Auf der anderen Seite des nicht sehr steilen Rückens, ca. 300 m weiter ENE von Fianell I, erscheint das Erz wieder in Form von kleinen Ausbissen (Fianell III von (5)), genau im Streichen und in ungefähr gleicher Höhe wie bei Fianell I. Nach Süden keilt das Erz rasch aus. Das Vorkommen Fianell II liegt $\frac{1}{2}$ km SW von Fianell I.

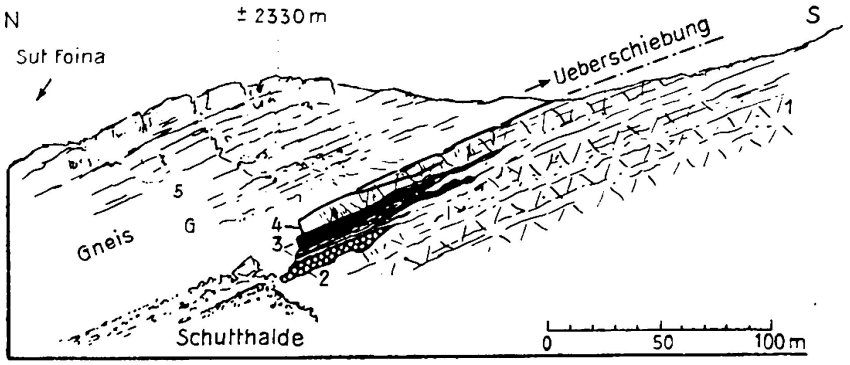


Fig. 1. Profilansicht der Eisen-Manganerzlagerstätte Fianell I (nach (5), etwas abgeändert).

1: Marmor und Marmorbrekzie (? Trias), stellenweise mit Nestern und Gängen von Hämatit; 2: 1—3 m Manganerz, enthaltend hochwertigeres Manganerz in Form von kleinen Linsen; 3: 8—10 m Hämatitquarzit, oben z. T. Hämatitfels; 4: Marmor (? Trias); 5: Gneis (Rofnagneis) der Grischfalte.

Die Erzlagerstätten des Val Ferrera werden zur Zeit von zwei Schülern des Mineralogisch-Petrographischen Institutes der E. T. H. (Jak. Altmann und H. Vos) untersucht, wobei vor allem die Genesis dieser Lagerstätten abgeklärt werden soll. Es sei diesen Untersuchungen daher nicht vorgegriffen, sondern nur erwähnt, dass neben der von O. Wilhelm (28) vertretenen Ansicht einer hydrothermal-metasomatischen Entstehung auch die Möglichkeit diskutiert werden muss, ob es sich nicht um eine durch die alpine Gebirgsbildung metamorphosierte sedimentäre Erzbildung handelt.

Mit Ausnahme von Probeschürfungen ist in neuerer Zeit kein Abbau der Lagerstätte erfolgt.

2. Die magnetischen Eigenschaften der Erze und Nebengesteine und ihr Zusammenhang mit der mineralogischen Zusammensetzung

Noch vor der magnetischen Feldvermessung wurden einige von Herrn Dr. A. GLAUSER gesammelte Erz- und Gesteinsproben auf ihre magnetischen Eigenschaften untersucht, um ein besseres Bild über die Möglichkeiten einer magnetischen Prospektion zu erhalten. Nach der Feldvermessung gelangten noch weitere, von J. ALTMANN gesammelte Probestücke zur Untersuchung.

Die Messung der magnetischen Eigenschaften der Probestücke erfolgte mit einer im Institut für Geophysik der E. T. H. von F. GASSMANN und E. NIGGLI ((10), nur vorläufige Notiz) entwickelten ganz einfachen Methode, die gestattet, bei schwachen Feldern die Suszeptibilität sowie Richtung und Stärke des Eigenmagnetismus [2]) von Gesteinen und Erzen zu messen, wenn $\varkappa$, die Volumensuszeptibilität, grösser als 0,0005 ist.

In Kürze mitgeteilt, besteht die Methode darin, dass Erz- oder Gesteinsproben unter Markierung der Orientierung der Stücke im Raume dem Anstehenden entnommen, würfelförmig zugeschnitten und hierauf in zweiter Gauss'scher Hauptlage in den 24 möglichen Stellungen vor einem magnetischen Vertikalvariometer aufgestellt werden. Die Gesteinsprobe wird durch das anwesende (und gemessene) Erdfeld magnetisiert und bewirkt im Variometer einen Ausschlag des Messmagneten. In gleicher Weise wirkt ein allfällig vorhandener Eigenmagnetismus der Probe. Probe sowie Variometer befinden sich in einer grossen Eichspule, die mittels regulier- und messbarem Gleichstrom ein magnetisches Feld im Innern der Spule erzeugen kann. Der von der Probe auf den Messmagneten des Variometers bewirkte Ausschlag wird nun durch Regulierung des elektrischen Stromes in der Spule kompensiert und gemessen.

Die magnetischen Untersuchungen ergaben, dass die Nebengesteine (Marmor und Gneis) beide nur sehr schwach magnetisch sind, d. h. $\varkappa$ [3]) bedeutend kleiner als 0,0005 ist. Ebenfalls nur schwach magmatisch ist die Hauptmasse der Hämatitquarzite und Hämatitfelse, deren $\varkappa$ ebenfalls unter 0,0005 liegt. Hämatit kann zwar nach der Literatur recht stark magnetisch sein, doch scheinen an künstlichem Hämatit ($= \alpha$-Fe_2O_3) vorgenommene Unter-

---

[2]) Unter „Eigenmagnetismus" wird in dieser Arbeit der nach Richtung und Stärke fest mit dem Gestein verbundene Anteil der natürlichen Gesamtmagnetisierung verstanden, der von anderen Autoren auch „natürliche remanente Magnetisierung" genannt wird.

[3]) Volumensuszeptibilität.

suchungen zu zeigen, dass reines α-Fe_2O_3 nur ein $\varkappa$ von ca. 0,0001 besitzt und bei Zimmertemperatur paramagnetisch ist. Höheres $\varkappa$ und Ferromagnetismus von Hämatit wären dann wohl auf fein verteilte Einlagerungen anderer Kristallarten (Magnetit, γ-Fe_2O_3) zurückzuführen. Im vorliegenden Fall liegt offenbar ziemlich reines α-Fe_2O_3 vor; immerhin sei bemerkt, dass die Hämatiterze von Fianell mit sehr starken Stabmagneten in geringem Masse remanent magnetisiert werden können, also, wenn auch nur in unbedeutendem Masse, Ferromagnetismus besitzen. Eine Ausnahme von der Regel, dass die Hämatiterze von Fianell nur schwach magnetisch sind, wurde bei einer kleinen Hämatitquarzitlinse im Vorkommen Fianell III (siehe Fig. 4) beobachtet. Es handelt sich um die in der Tafel bei der Anomalie G eingezeichnete kleine Erzlinse. Dieses Erz war stark magnetisch, mit einem $\varkappa$ um 0,01. Die erzmikroskopische Untersuchung ergab, dass neben Hämatit Magnetitoktaeder auftreten. Der Magnetit ist zum Teil hämatitisiert.

Tabelle 1

Volumensuszeptibilität $\varkappa$ und Dichte von Brauniterzen von Fianell

Nr.	(bei Zimmertemperatur gemessen)	$\varkappa$	Dichte
Fi 8	Braunitreiches Erz, mit ca. 15—20 Vol.-% Jakobsit und wenig Hämatit	0,091	4,38
Fi 6	Braunitreiches Erz, jakobsitführend	0,033	3,93
Fi 2	Braunitreiches Erz, jakobsitführend	0,011	4,04
Fi 1	Braunitreiches Erz (Zusammenzetzung in Vol-%: 50 % Braunit, 45½% Rhodochrosit + Mangansilikate, ½% Hämatit, 4 % Jakobsit)	0,0095	3,88
Fi 9	Braunitreiches Erz mit sehr wenig Jakobsit (um ½ Vol.-%)	0,0019	4,24

Stark magnetisch, und zwar ferromagnetisch, ist der grösste Teil der hochwertigeren Manganerze. Die Messresultate sind in Tab. 1 zusammengestellt. Alle Proben der Tab. 1 entstammen den in Abschnitt 1 erwähnten Taschen manganreicher Erze innerhalb des Manganerzhorizonts. Die Suszeptibilität $\varkappa = 0{,}091$ von Probe Fi 8 von Tab. 1 ist recht hoch; sie entspricht schon derjenigen von Magnetiterzen. Die manganärmeren Partien sind durchwegs schwach magnetisch mit einem $\varkappa$ unter 0,0008. Der Eigenmagnetismus der Proben, die alle mangels Stollen der Erdoberfläche entnommen werden mussten, schwankte nach Richtung und Stärke in weiten Grenzen; er betrug bis das Fünffache der induktiven Magnetisierung. Eigene Untersuchungen an anderen Erzlagerstätten (z. B. Eisenerzlagerstätte Erzegg) haben ergeben, dass dem Anstehenden auf der Erdoberfläche

entnommene Erz- oder Gesteinsproben oft einen sehr unregelmässigen, kräftigen Eigenmagnetismus besitzen, der in vielen Fällen durch Blitzschlagmagnetisierung erklärt werden muss und nur an der Erdoberfläche angetroffen wird. Die Frage, wie es sich mit dem Eigenmagnetismus unterirdischer Teile des Manganerzes von Fianell verhält, muss daher offen gelassen werden, da auch hier die Möglichkeit besteht, dass die gemessene Eigenmagnetisierung nur für die Erdoberfläche typisch ist.

Bemerkenswert erscheint, dass in Fianell der sehr seltene Fall vor uns liegt, dass in einer Eisen-Manganerzlagerstätte die Eisenerze in ihrer Hauptmasse nur schwach magnetisch sind, die Manganerze dagegen eine starke Magnetisierung besitzen.

Es erschien nun von Interesse, zu bestimmen, welches Mineral für die recht starke Magnetisierung der Manganerze verantwortlich ist. Nach ARN. HEIM in (5) soll das Hauptmineral der hochwertigeren Manganerze Polianit sein, O. WILHELM (28) vermutet Hausmannit und Rhodonit. Eigene erzmikroskopische und röntgenanalytische Untersuchungen liessen als Hauptmineral der hochwertigeren Manganerze Braunit, Mn_7SiO_{12}, erkennen. Dieser ist nun aber nach den Angaben in der Literatur ((9), (16)) nur schwach magnetisch ($\varkappa$ = 0,0004 bis 0,0007) und zwar bei Zimmertemperatur paramagnetisch. Neben Braunit wurden in grösseren Mengen Rhodochrosit, ferner andere nichtopake Mineralien festgestellt, deren Natur nicht näher untersucht wurde, da sie, wie Versuche zeigten, nicht den Magnetismus der Erze bewirken. Die genaue Untersuchung der gesamten Mineralparagenese erfolgt zur Zeit durch J. ALTMANN. Es wurde nun anfänglich vermutet, dass hier ein in magnetischer Hinsicht anomaler Braunit vorliege. Ein Vergleich von Braunitgehalt und Magnetismus resp. von Dichte und Magnetismus zeigte indessen bald, dass es unwahrscheinlich ist, dass der Magnetismus der Erze durch den Braunit verursacht wird. Da Braunit gegenüber den übrigen Mineralien der Paragenese durch eine sehr hohe Dichte ausgezeichnet ist, gibt die Dichte zugleich ein Mass für den Braunitgehalt. Fig. 2 zeigt nun aber in überzeugender Weise, dass zwischen Dichte (resp. Braunitgehalt) und Magnetismus kein Zusammenhang besteht.

Es wurden auch, allerdings selten, Manganerze, reich an Braunit, gefunden, die noch geringere Suszeptibilitäten besassen (bis 0,0006 hinunter). Es drängte sich daher die Vermutung auf, dass im Braunit in feiner Verteilung eine andere, stark magnetische Mineralart vor-

handen sein müsse. Mit Hilfe einer an einem Haar aufgehängten Nadel aus Magnetstahl (von der Grösse einer Nähnadel) wurde daraufhin die Oberfläche polierter Anschliffe stark magnetischer Manganerze abgetastet, um die Stellen stärkster Magnetisierung zu finden, die zugleich Anreicherungen der stark magnetischen Mineralart sein mussten.

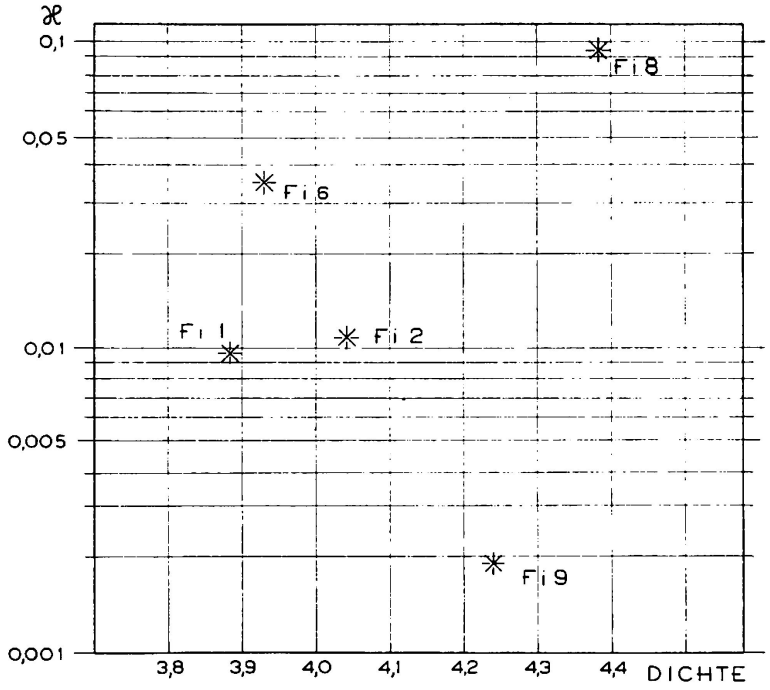


Fig. 2. Dichte und Volumensuszeptibilität von Brauniterzen von Fianell.

Es gelang schliesslich so, das Vorhandensein von Jakobsit $(Fe, Mn)_3O_4$ (Spinellgitter, ferromagnetisch) festzustellen, der damit für die Schweiz das erstemal nachgewiesen worden ist. Dieser ist erzmikroskopisch nur mit Mühe und nur mit Immersion von Braunit zu unterscheiden (siehe (22)), was auch der Grund für das anfängliche Übersehen dieser Mineralart in den Anschliffen ist. Der sichere Nachweis gelang uns mit Hilfe der Röntgengemischanalyse an einer Probe, die sehr reich an Jakobsit war. Herrn Prof. Dr. E. BRANDENBERGER möchte ich auch an dieser Stelle für die Herstellung der Pulveraufnahmen meinen besten Dank aussprechen.

In Fig. 3 sind die Pulverdiagramme von 4 Proben reproduziert (Fe-K-Strahlung). Diagramm 1 ist ein Pulverdiagramm einer Mischung von Magnetit und Hämatit, hergestellt aus Magnetit- und Hämatitkristallen aus der Sammlung des Mineralog. Institutes der E. T. H.; Diagramm 2 stammt von einer besonders jakobsitreichen Partie eines

Manganerzes von Fianell, die neben Jakobsit noch reichlich Hämatit führte, Diagramm 3 ist die Pulveraufnahme eines jakobsitärmeren, braunitreichen rhodochrositführenden Erzes von Fianell, und Diagramm 4 schliesslich, ein Vergleichsdiagramm, stammt von einem Brauniterz von Falotta (Oberhalbstein). Aus Fig. 3 ist nun ersichtlich, dass in Diagramm 2 von Fig. 3 die Linien eines Spinellgitters

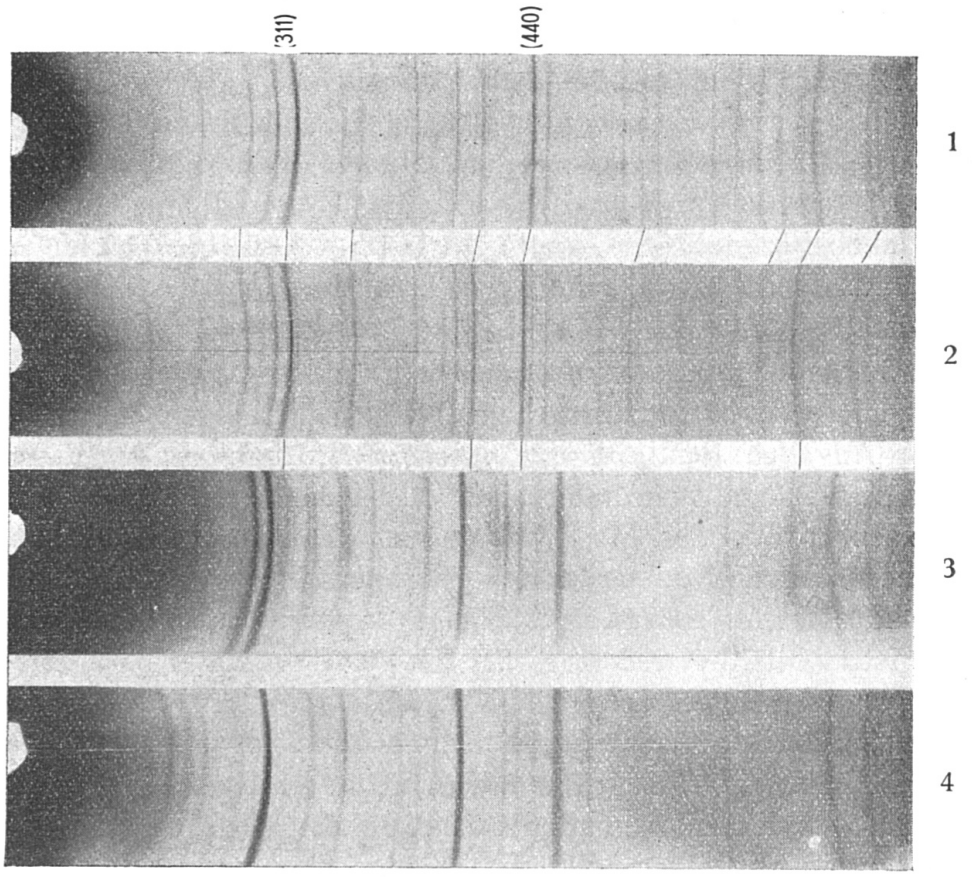


Fig. 3. Erklärung siehe Text.

(wie es auch der Magnetit besitzt) zwar vorkommen, jedoch in ihrer Lage gegenüber den Linien des Magnetits etwas nach links verschoben sind, und zwar werden die Unterschiede bei grösseren Glanzwinkeln grösser. Das bedeutet, dass hier ein Spinellgitter mit grösserer Elementarzelle, als sie dem Magnetit entspricht, vorliegt, was bei Jakobsit der Fall sein muss, da durch Eintritt des Mangans das Spinellgitter aufgeweitet wird. Die übrigen, nicht dem Jakobsit zuschreibbaren Linien sind alle als solche von Hämatit deutbar. Eine Berechnung der Kantenlänge a des Elementarkubus ergab für den Jakobsit von Fianell 8,49 ÅE. (Der Magnetit von Diagramm 1 besitzt ein a = 8,39 ÅE, in Übereinstimmung mit den Angaben der Literatur.)

Nach B. MASON (20) hat ein Jakobsit mit a = 8,49 ÅE 45 Mol.-% Mn_3O_4 und 55 Mol.-% Fe_3O_4.

Die stärkeren Jakobsitlinien (insbesondere (311) und (440)) sind auch in Diagramm 3 noch zu erkennen, dessen zugehöriges Erz nur ca. 5—6 Gew.-% Jakobsit enthält. Ferner sind in Diagramm 3 durch Vergleich mit Diagramm 4 (Braunit) die Linien von Braunit gut zu sehen. Die nicht Braunit und Jakobsit zugehörenden Linien in Diagramm 3 stammen von Rhodochrosit.

Bei der erzmikroskopischen Untersuchung wurden eigenartige Verzahnungsstrukturen zwischen Jakobsit und Braunit konstatiert, die an Suturlinien von Ammoniten erinnern. Die Kontakte zwischen Hämatit und Jakobsit sind dagegen immer geradlinig. Die Grösse der Jakobsitkristalle und -aggregate beträgt 0,001 bis 0,5 mm, selten bis 1 mm. Recht häufig sind in den Jakobsitaggregaten kleine Hämatitkristalle (0,004—0,05 mm).

Der Jakobsit ist nun auch der Träger des Ferromagnetismus der Manganerze von Fianell. Nach zahlreichen qualitativen wie quantitativen Angaben der Literatur (siehe Tab. 2) ist Jakobsit immer stark ferromagnetisch und besitzt Volumensuszeptibilitäten von der Grössenordnung des Magnetits ($\varkappa$ um 1). Als ferromagnetisches Element im Jakobsit ist nach den Untersuchungen von B. MASON (20) Fe und nicht Mn anzunehmen. Der Ferromagnetismus der Manganerze ist also schliesslich doch auf Fe, das in geringer Menge in den Manganerzen immer vorhanden ist, zurückzuführen. — Quantitative Angaben über den Volumengehalt an Jakobsit der Erze von Fianell sind in Tab. 1 zu finden; der mit dem Integrationstisch vermessene Jakobsitgehalt genügt in allen Fällen, um den Ferromagnetismus der Erze auch quantitativ zu erklären.

Paragenetisch bedeutsam erscheint nun, dass offenbar in dem wohl metamorphen Mineralbestand der Manganerze von Fianell das Spinellgitter nur in Form des Mn-Spinells-Jakobsits stabil ist, Magnetit dagegen unstabil ist und Hämatit mit Korundgitter als stabiles, reines Fe-Mineral auftritt. So kann der vorerst paradox erscheinende Fall eintreten, dass in ein und derselben Lagerstätte die Manganerze weit stärker magnetisch als die Eisenerze sind. In eindrücklicher Weise wird so übrigens auch die Abhängigkeit der magnetischen Eigenschaften von der Kristallstruktur beleuchtet.

Diese Resultate hatten auch ihre praktische Bedeutung. Sie bedeuteten, dass nicht die hochwertigeren Manganerze schlechthin, sondern nur die jakobsitführenden Manganerze einer magnetischen Prospektion zugänglich sind. Von den zahlreichen untersuchten

Probestücken manganreicher Manganerze besassen 80 % einen beträchtlichen Jakobsitgehalt (über 2 %) und waren stark magnetisch, so dass eine magnetische Prospektion trotzdem angezeigt schien.

3. Zusammenstellung quantitativer Angaben der Literatur über die magnetischen Eigenschaften von Manganmineralien und -erzen

In manchen Mineralogiehandbüchern sind irrige Angaben über die magnetischen Eigenschaften der Manganmineralien zu finden. So sind im „neuen Dana" (21) S. 699 „jacobsite and franklinite weakly magnetic". Beide Mineralien sind nun aber ebenso stark magnetisch wie Magnetit. Es erschien daher als nicht unerwünscht, einmal die aus der Literatur mir bekannten quantitativen Angaben über die magnetischen Eigenschaften von Manganmineralien tabellarisch zusammenzustellen, was in Tab. 2 versucht worden ist. Die Tabelle dürfte auch der angewandten Geophysik nützlich sein. Es wurden auch Messungen an künstlich hergestellten Kristallarten berücksichtigt, wenn sicher feststand, dass die künstliche Substanz dieselbe Kristallart wie das natürliche Mineral repräsentiert.

Da, wo die Massensuszeptibilität χ und nicht die Volumensuszeptibilität $\varkappa$ vom Autor angegeben ist, wurde erstere in der Tabelle in der entsprechenden Kolonne aufgeführt und die Volumensuszeptibilität mit Hilfe der Dichte daraus berechnet ($\varkappa = \chi \cdot d$, wenn d die Dichte ist). Solche von mir mit Hilfe mittlerer Dichtewerte berechnete Volumensuszeptibilitäten stehen eingeklammert. Aus Tab. 2 folgt, dass die Mehrzahl der Manganmineralien nur schwach magnetisch und zwar paramagnetisch ist. Ein Vergleich mit anderen paramagnetischen Mineralien zeigt indessen, dass die Manganmineralien für Paramagnetismus recht hohe Werte von $\varkappa$ besitzen (bis 0,0007), die bedeutend höher sind als bei den meisten gesteinsbildenden Mineralien. Trotzdem ist in fast allen Fällen die Suszeptibilität noch zu gering, um die Manganerze von ihren Nebengesteinen sich deutlich in den magnetischen Eigenschaften abheben zu lassen. Auch gewöhnliche Gesteinsarten besitzen oft ähnliche Werte für $\varkappa$, was fast immer auf einen geringen Magnetitgehalt zurückzuführen ist. — Ferromagnetisch mit hohem $\varkappa$ sind unter den Manganmineralien allein die in der Spinellstruktur kristallisierenden Fe-haltigen Mineralien Jakobsit und Franklinit. SCHNEIDERHOEHN (22) schreibt, dass auch Sitaparit (nach (20) identisch mit Bixbyit) stark ferromagnetisch sei. Die in Tab. 2 angeführte quantitative Bestimmung von $\varkappa$ eines künstlichen Bixbyit, die einen Wert von nur 0,0004 ergab, lässt die Angabe von SCHNEIDERHOEHN als zweifelhaft erscheinen (Ferromagne-

Tabelle 2

Magnetische Suszeptibilitäten von Manganmineralien und -erzen

(Messungen bei Zimmertemperatur)

Abkürzungen: N = Messung an natürlichem Mineral,
K = Messung an künstlich hergestellter Substanz.
P = paramagnetisch, F = ferromagnetisch } bei Zimmertemperatur.

a) Mineralien

Name, chem. Zusammensetzung, Dichte	N oder K	Massensuszeptibilität χ	Volumensuszeptibilität $\varkappa$	P oder F	Autor und Literaturstelle
Manganosit MnO	K	$73{,}38 \cdot 10^{-6}$	$(382 \cdot 10^{-6})$	P	BATHNAGAR (2)
Dichte = 5,2	K	$56{,}10 \cdot 10^{-6}$	$(281 \cdot 10^{-6})$	P	WEDEKIND u. HORST (26)
	K	$67{,}46 \cdot 10^{-6}$	$(351 \cdot 10^{-6})$	P	THEODORIDES (zit. in (2))
Hausmannit Mn_3O_4	K	$65{,}5 \cdot 10^{-6}$	$(311 \cdot 10^{-6})$	P	WEDEKIND u. HORST (26)
Dichte = 4,7—4,8	K	$74{,}3 \cdot 10^{-6}$	$(353 \cdot 10^{-6})$	P	FEYTIS (zit. in (2))
	N	$95 \cdot 10^{-6}$	$(451 \cdot 10^{-6})$	P	DEB (zit. in (20))
Mischkristalle					
Hausmannit-Jakobsit $(Mn,Fe)_3O_4$					
0 Mol% Fe_3O_4 *(= Hausmannit)*	K	$66 \cdot 10^{-6}$	$(314 \cdot 10^{-6})$	P	MASON (20)
10 Mol% „ *(= α-Vredenburgit)*	K	$800 \cdot 10^{-6}$		?	MASON (20) [4]
20 Mol% „ *(= α „ „)*	K	$6500 \cdot 10^{-6}$		?	MASON (20) [4]
40 Mol% „ *(= α „ „)*	K	$68000 \cdot 10^{-6}$		F	MASON (20) [4]
50 Mol% „ *(= Jakobsit)*	K	$125000 \cdot 10^{-6}$		F	MASON (20)
55 Mol% „ *(= Jakobsit)*	K	$248000 \cdot 10^{-6}$	$(1180000 \cdot 10^{-6})$	F	MASON (20)
Jakobsit $(Mn,Fe)_3O_4$ (häufig mit Mg)	N	$>90000 \cdot 10^{-6}$	$(>430000 \cdot 10^{-6})$	F	DEB (4)
(Dichte = 4,75)					
Bixbyit (= Sitaparit) $(Mn,Fe)_2O_3$					
Dichte = 4,9—5,0					
α-Mn_2O_3 (ohne Fe; Bezeichnung nach MASON (20))	K	$89{,}32 \cdot 10^{-6}$	$(442 \cdot 10^{-6})$	P	BATHNAGAR (2)
Polianit MnO_2	K	$26{,}03 \cdot 10^{-6}$	$(130 \cdot 10^{-6})$	P	BATHNAGAR (2)
Dichte = 5,0	K	$44{,}58 \cdot 10^{-6}$	$(223 \cdot 10^{-6})$	P	WEDEKIND u. HORST (26)
	K	$27 \cdot 10^{-6}$	$(135 \cdot 10^{-6})$	P	MEYER (zit. in (2))
	K	$37{,}3 \cdot 10^{-6}$	$(186 \cdot 10^{-6})$	P	WISTRAND (zit. in (2))
	K?	$14{,}58 \cdot 10^{-6}$	$(73 \cdot 10^{-6})$	P	zit. in (17)
Pyrolusit z. T. MnO_2	N		$128 \cdot 10^{-6}$	P	STUTZER (24)
Dichte = ~ 5					
Psilomelan MnO_2	N		$268 \cdot 10^{-6}$	P	STUTZER (24)
Dichte = 0,2—4,3 (!)					

[4]) Name „α-Vredenburgit" nach B. MASON (19).

Name, chem. Zusammensetzung, Dichte	N oder K	Massensuszeptibilität χ	Volumensuszeptibilität $\varkappa$	P oder F	Autor und Literaturstelle
Braunit Mn_7SiO_{12} Dichte = 4,7—4,9					
54% Mn, 1,2% Fe Anisotropie: $\chi_\perp - \chi_{//} = 0{,}364 \cdot 10^{-6}$	N	$145{,}5 \cdot 10^{-6}$	$(700 \cdot 10^{-6})$	P	Krishnan und Banerjee (16)
54% Mn, 2,5% Fe	N	$83 \cdot 10^{-6}$	$(400 \cdot 10^{-6})$	P	Rao (zit. in (16))
Franklinit (Zn, Mn) Fe_2O_4 Dichte = 5,0—5,2	N		ca. $35640 \cdot 10^{-6}$	F	Stutzer (24)
Rhodochrosit $MnCO_3$ Dichte = 3,3—3,6					
96% $MnCO_3$ 0,036—0,241% $FeCO_3$ (Mittel aus 4 Kristallen) Anisotropie: $\chi_{//} - \chi_\perp = 0{,}016 \cdot 10^{-6}$ (extrapoliert für 0% Fe)	N	$100 \cdot 10^{-6}$	$(350 \cdot 10^{-6})$	P	Krishnan und Banerjee (15)
	?N	$96 \cdot 10^{-6}$	$(333 \cdot 10^{-6})$	P	Sucksmith (zit. in (15))
	N		$380 \cdot 10^{-6}$	P	Stutzer (24)
Rhodonit $MnSiO_3$ Dichte = 3,4—3,68	N		$475 \cdot 10^{-6}$	P	Stutzer (24)

b) Erze

Name und Herkunft	Massensuszeptibilität χ	Volumensuszeptibilität $\varkappa$	Autor und Literaturstelle
Manganerz, Kambrium, Vallée de la Lienne (Belgien)	$45 \cdot 10^{-6}$		Evrard u. Koenigsfeld (8)
Manganerz (ca. 90% Braunit) Falotta (Oberhalbstein, Schweiz)		$500 \cdot 10^{-6}$	E. Niggli
Manganerze, Fianell (Val Ferrera, Schweiz)	siehe Tab. I		E. Niggli (diese Arbeit)

tismus vielleicht durch Einlagerungen bedingt?). In der anorganischen Chemie sind Fe-freie Mn-Legierungen bekannt (z. B. Heuslersche Legierungen), die bei Zimmertemperatur ferromagnetische Eigenschaften besitzen und wo das Mangan den Ferromagnetismus bewirkt (siehe z. B. (23)). Unter den natürlichen Mangan-Mineralien ist keines bekannt, dessen Ferromagnetismus auf Mangan zurückzu-

führen wäre. Sowohl Jakobsit und Franklinit sind durch ihren Fe-Gehalt ferromagnetisch.

4. Die Feldvermessung und ihre Resultate

Die Messungen im Felde wurden im Sommer 1945 von J. ALTMANN und H. VOS durchgeführt. Erschwerende Umstände lagen in der beträchtlichen Höhe über Meer (um 2300 m) und dem teilweise ungünstigen Gelände (steil, grober Blockschutt). Mit Sicherheit sind nur 2—3 Monate im Jahr schneefrei. Die mit der Vermessung Beauftragten kampierten, um eine lange tägliche Anmarschzeit zu vermeiden, im Zelt auf 2300 m Höhe. Um in kurzer Zeit möglichst viele Punkte vermessen zu können, wurde gleichzeitig mit 2 Apparaten gearbeitet. Wir benutzten das Universalvariometer von J. KOENIGSBERGER[5]), mit dessen Hilfe Relativwerte der erdmagnetischen Vertikal- und Horizontalintensität gemessen wurden, sowie eine kleine Askania-Vertikalwaage, die uns von Prof. E. POLDINI (Vevey) zur Verfügung gestellt wurde. Bei Genauigkeitgversuchen (mehrmalige Vermessung der gleichen Station) wurde bei beiden Instrumenten eine Genauigkeit von $\pm$ 10γ (oft auch $\pm$ 5γ) festgestellt. Genauer arbeitende Instrumente hätten in dem topographisch recht unruhigen Gebiet keinen Sinn gehabt. Beide Instrumente stimmten bei Parallelmessungen gut miteinander überein.

Als erste Feldarbeit wurde die Frage in Angriff genommen, wie das „normale" erdmagnetische Feld ausserhalb der Erzlagerstätte beschaffen ist, ob auch hier kleinere oder grössere Unregelmässigkeiten, beruhend auf Unterschieden im Gesteinsmagnetismus, auftreten, und wie gross der regionale Gradient in dieser Gegend ist.

Zu diesem Zwecke wurde von Ausserferrera über Alp Sut Foina bis gegen den Piz Mazza an 17 Stationen magnetisch gemessen (Lage der Stationen in Fig. 4). Die Gesteinsunterlage war hierbei an den verschiedenen Stationen sehr verschieden (Gneis, Marmor, Moräne, Bergsturzschutt usf.). Die Resultate der Vermessung sind in Tab. 3 zusammengestellt. Es handelt sich um Relativwerte, d. h. um die Abweichungen der Werte der verschiedenen Stationen von den Werten der Basisstation, die in der Gegend von Station 10 der Fig. 4 gewählt worden ist (Koord. +155011/—43420; Höhe über Meer: 2316,39 m). An dieser Basisstation (die in Fig. 4 nicht eingezeichnet ist) sind

[5]) Beschrieben in: J. KOENIGSBERGER, Messung lokaler erdmagnetischer Anomalien zur Bestimmung des Gesteinsmagnetismus im Feld und zur Vergleichung mit dem Handstück; Beschreibung eines Variometers für den erdmagnetischen Vektor. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. 23 (1929), 248—268.

daher die Relativwerte für die Vertikal- und Horizontalintensität = 0 γ. Die Basisstation wurde nahe dem engeren Messgebiet gewählt, um auch bei der eigentlichen Vermessung als Basisstation dienen zu können. Wo in der Tab. 3 zwei Zahlen in der gleichen Spalte angegeben sind, handelt es sich um zwei unabhängige Messungen an der

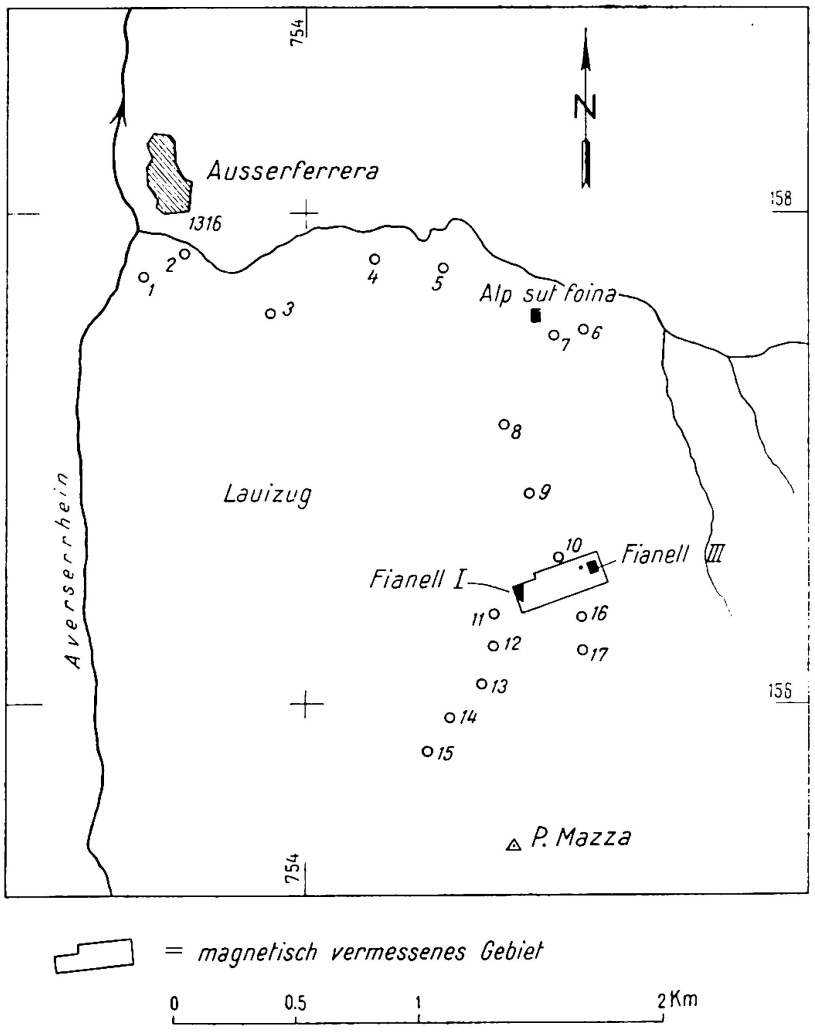


Fig. 4. Übersichtsskizze mit Angabe der Lage der Stationen von Tabelle 3.

gleichen Station, die übrigens zugleich einen Einblick in die Genauigkeit des Instrumentes (Variometer KOENIGSBERGER) geben. Tab. 3 zeigt, dass die Werte in recht engen Grenzen schwanken, das magnetische Feld also an den 17 Stationen überall ungefähr gleich gross ist. Die Relativwerte der Vertikalintensität variieren an den 17 Punkten nur von — 10 γ bis + 26 γ (totale Variation also 36 γ), diejenigen der Horizontalintensität von — 38 γ bis + 43 γ, wobei aber letzterer Wert wahrscheinlich fehlerhaft ist.

Tabelle 3

Relativwerte der in Fig. 4 enthaltenen Stationen

Stations-Nr. (siehe Fig. 4)	Geologie (Station liegt auf:)	Relativwerte der Vertikalintensität in γ	Relativwerte der Horizontalintensität in γ
1	Gneis	+ 7 , + 18	+ 1 , − 3
2	Schutt (Gneis)	+ 14	0
3	Gneis	+ 8	− 3
4	Gneis	+ 17	+ 1
5	Wiesboden	+ 22 , + 13	− 14 , + 8
6	Schutt (Gneisblöcke)	− 10	+ 3
7	Bergsturz (Gneismaterial)	+ 26	− 1
8	Bergsturz (Gneismaterial)	+ 5 , − 2	− 4 , + 8
9	Gneis	+ 19 , − 1	+ 4 , − 2
10	Gneis	+ 23	− 4
11	Schutt, grob (Marmor, Quarzit)	+ 12 , − 4	+ 2 , + 43(?)
12	Marmor	− 6	− 16
13	Wiesboden, darunter Marmor	+ 13	− 19
14	Marmor	+ 11	− 22
15	Wiesboden, darunter Marmor	− 10	+ 10
16	Schutt (Marmor, Quarzit)	− 9	− 38
17	Wiesboden, darunter Marmor, 10 m südl. davon Gneisblöcke	− 2	− 1

Trotz den grossen Unterschieden in der Gesteinsunterlage und den raschen Gesteinswechseln auf kurze Distanz (altkristalline Gesteine einerseits und mesozoische sedimentäre Gesteine andererseits) und trotz der hochalpinen Topographie ist das Feld ausserhalb der Erzlagerstätten recht homogen. Zu beachten ist, dass in den Werten der Tab. 3 der regionale Gradient nicht eliminiert worden ist; die Kurven gleicher Intensität laufen hier offenbar ungefähr Nord-Süd, da sich ja eine regionale Änderung von Norden nach Süden in den Werten nicht bemerkbar macht.

Es sei darauf hingewiesen, dass überhaupt im alpinen Orogen die altkristallinen Gesteine (in den Zentralmassiven und den penninischen und ostalpinen Deckenkernen) sich magnetisch von den jungsedimentären Gesteinen nicht wesentlich unterscheiden. Es geht dies deutlich aus den Karten der erdmagnetischen Vermessung der Schweiz von W. Brückmann (Annalen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt, 1930—1931) hervor, wo sich z. B. das Auftauchen der Zentralmassive unter den helvetischen Decken und dem autochthonen Sedimentmantel magnetisch gar nicht bemerkbar macht.

Aus diesen vorbereitenden Messungen wurde geschlossen, dass hier das „normale" Feld keine grösseren Schwankungen als $\pm 40\,\gamma$

besitzt und dass Relativwerte, die diese Grenzen überschreiten, als eigentliche Anomalien betrachtet werden können, die eine besondere Ursache (Einlagerung eines stärker magnetischen Körpers, meist wohl Erz) haben. Dr. E. WANNER von der Meteorologischen Zentralanstalt hatte die Freundlichkeit, uns an zwei Stationen der Fig. 4 und Tab. 3 die Absolutwerte des erdmagnetischen Vektors zu messen, wofür ihm auch an dieser Stelle herzlich gedankt sei. Seine Messungen, die unsere Relativwerte an die absoluten anschliessen, sind in Tab. 4 wiedergegeben.

Tabelle 4

Absolutwerte der Vertikal- und Horizontalintensität und der Deklination der Stationen 1 und 2 (bei Ausserferrara) von Fig. 4 und Tab. 3 (gemessen von Dr. E. WANNER *am 21. 8. 45; tägliche Variation reduziert)*

(1 $\Gamma = 100000\,\gamma$)

Stat. Nr.	Vertikalintensität in Γ	Horizontalintensität in Γ	Deklination
1	Zwei Messungen: 0,40527 0,40525	0,21035	6° 19,5 W
2	Zwei Messungen: 0,40526 0,40521	0,21032	

Die Lage und Umgrenzung des engeren Vermessungsgebietes ist aus Fig. 4 zu ersehen. Das Stationsnetz überdeckt eine ungefähr rechteckige Fläche von 340 m Ost-West und 120 m Nord-Süd-Erstreckung. Das vermessene Gebiet umfasst also einen Gebietsstreifen, der die Erzausbisse „Fianell I" und „Fianell III" verbindet. Nach Abschnitt 1 ist wahrscheinlich, dass der Erzhorizont von Fianell I unter dem Gneisrücken der Fig. 1 durchzieht und in Fianell III wieder an die Erdoberfläche kommt. Zwischen Fianell I und Fianell III befindet sich also ein N-S-verlaufender Rücken; die maximale Tiefe des Erzhorizonts unter dem Rücken kann auf etwa 40—50 m veranschlagt werden. Aufgaben der Vermessung waren: erstens festzustellen, wie gross die Ausdehnung des nicht aufgeschlossenen Teiles des Manganerzteilhorizontes von Fianell I ist und zweitens abzuklären, ob event. zwischen Fianell I und Fianell III eine grössere Anreicherung magnetischen Manganerzes in der Tiefe vorhanden ist. Angesichts der sehr kleinen Linsen des reicheren Manganerzes in den Aufschlüssen von Fianell I war diese Frage im Hinblick auf einen eventuellen Abbau besonders wichtig. Die magnetischen Messungen, sowie die zusätzlichen Arbeiten, wie Verpflockung, topographische Einmessung der

Stationen, Gesteinsprobeentnahme, wurden vom 30. Juli bis 14. September 1945 durchgeführt. Mit den magnetischen Messinstrumenten wurde dabei an 22 Tagen gearbeitet. Insgesamt gelangten 1100 Stationen zur magnetischen Messung. In Rücksichtnahme auf die Kleinheit der aufgeschlossenen Manganerztaschen wählten wir kleine Stationsabstände: ein erstes Stationsnetz mit 20 m Stationsabständen wurde später überall auf 10 m, stellenweise auf 5 und 2,5 m verdichtet. Die Horizontalintensität wurde nur im 20-m-Netz überall gemessen. Die Reduktion der täglichen Variation des erdmagnetischen Vektors nahmen wir so vor, dass mit den Instrumenten mehrmals am Tage (bis 6mal) auf der Basisstation gemessen wurde, um den lokalen täglichen Gang zu erhalten, der dann zur Reduktion benützt wurde. Die der Arbeit beigegebene Tafel entspricht einer vereinfachten Skizze unserer Karte der Anomalien der Vertikalintensität.

Aus der Tafel ist ersichtlich, dass Anomalien nur ganz im Westen und ganz im Osten, in der Umgebung der Ausbisse Fianell I und III auftreten und dass sich dazwischen ein anomalienfreies Gebiet erstreckt. Die ersten Kurven sind bei $+40\gamma$ und bei -40γ gezogen worden, so dass in einem kurvenfreien Gebiet die Werte zwischen $+40\gamma$ und -40γ liegen müssen. Sehr deutlich ist zu erkennen, dass sich die Anomalien im Detail n i c h t mit den Aufschlüssen des Gesamterzkörpers decken. An den meisten Stellen von Fianell I ist über und am Rande des Erzkörpers das Feld normal. Im Osten (Fianell III) ist es zwar so, dass die Anomalien in der Umgebung der Ausbisse zu finden sind, sie zeigen jedoch keinen eindeutigen Zusammenhang mit diesen. Alle diese Tatsachen stehen in bester Übereinstimmung mit den in Abschnitt 2 dargelegten Untersuchungen der magnetischen Eigenschaften der Erze. Die die Hauptmasse des Erzlagers ausmachenden Eisenerze sind fast immer sehr schwach magnetisch und vermögen das magnetische Feld auch dann nicht zu verändern, wenn sie direkt an der Erdoberfläche aufgeschlossen sind. Erwartet werden musste indessen, dass Aufschlüsse von Manganerz zu Anomalien Anlass geben. Dass dem so ist, zeigt Fig. 5, die den westlichsten Teil des vermessenen Gebiets im Detail wiedergibt. Die stärksten gefundenen Anomalien ($>640\gamma$) liegen in Aufschlüssen von Manganerz (links oben in Fig. 5).

In Fianell III ist kein Manganerz aufgeschlossen; dagegen steht hier der Zusammenhang der Anomalie G in der Tafel mit dem in Abschnitt 2 erwähnten kleinen Vorkommen magnetitführenden Hämatitquarzits fest.

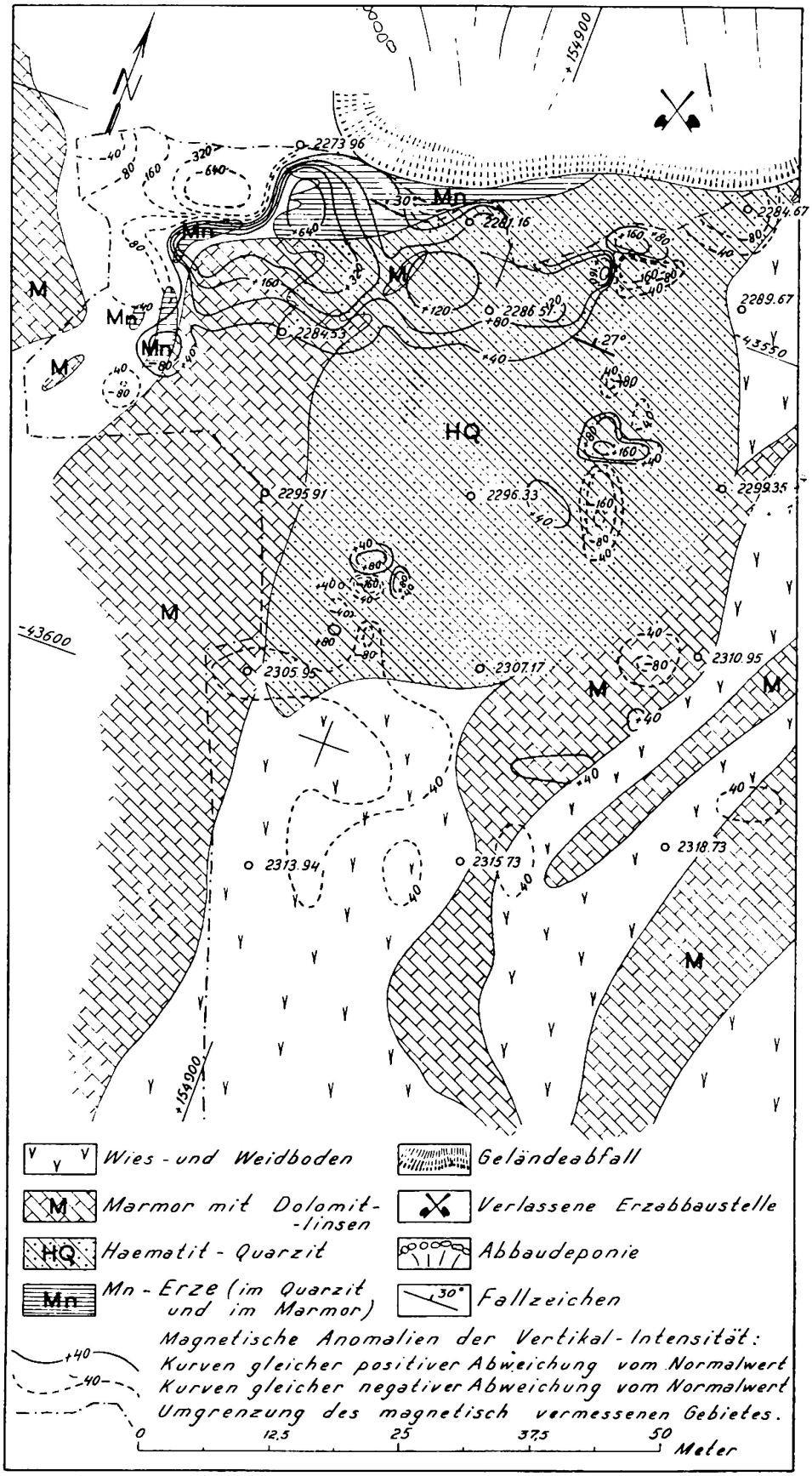


Fig. 5. Geologisch-magnetische Kartenskizze des westlichsten Teiles des vermessenen Gebiets. Geologie kartiert von J. ALTMANN.

Es wurden lokal recht hohe Störungswerte gemessen. Für die Vertikalintensität lauten die Extremwerte -1075γ und $+1113\gamma$ (über anstehendem Manganerz). Die Extreme der Horizontalintensität betragen -878γ und $+269\gamma$.

Was die Deutung des Anomalienbildes im Detail betrifft, so kann etwa folgendes gesagt werden: Anomalien A und B der Tafel sind auf anstehendes Manganerz zurückzuführen, Anomalie C lässt auf eine nicht aufgeschlossene Manganerzlinse in geringer Tiefe und von geringer Tonnage (wenige Tonnen) schliessen, die hier unter dem anstehenden Hämatitquarzit und in der streichenden Fortsetzung des Manganerzhorizonts liegt. Das sehr rasche Abklingen der Anomalie A-B-C nach Süden und Osten muss durch ein rasches Auskeilen des Manganerzhorizonts in diesen Richtungen erklärt werden. Die Anomalien A-B-C, die eine grössere zusammenhängende Anomalie ausmachen, geben durch die kleinen, ausgeprägten Maxima deutlich das linsenartige Auftreten der hochwertigeren, stark magnetischen Manganerze innerhalb des Manganerzhorizonts wieder. In den westlichen Aufschlüssen (= Fianell I) geben also die Anomalien grosso modo die Verbreitung des Manganerzes innerhalb des ganzen Erzlagers wieder.

Anomalie G im Osten ist, wie schon erwähnt, auf einen Aufschluss von magnetithaltigem Hämatitquarzit (Linse von ca. 2 t) zurückzuführen. Die übrigen Anomalien sind nicht eindeutig deutbar. Bei einem Teil wird es sich um Anomalien handeln, die von kleinen, nicht aufgeschlossenen Manganerztaschen herrühren, wobei die Tiefe dieser Körper gering (wenige Meter) und ihre Grösse sehr klein ist (wenige Tonnen). Ein Teil dieser Anomalien kann indessen auch durch weitere Vorkommen von magnetitführendem Hämatitquarzit verursacht sein. Magnetit ist ja hier zwar im Eisenerz sehr selten, kommt jedoch vor und kann, wie Anomalie G zeigt, auch zu Störungen des Magnetfeldes führen.

Das anomalienfreie Gebiet zwischen Fianell I und III lässt das Vorkommen grösserer nicht aufgeschlossener jakobsitführender Manganerzkörper als unwahrscheinlich erscheinen. Bei 38,2 m Mittelpunktstiefe würde ein jakobsitführender Manganerzkörper (mit einem mittleren $\varkappa$ von 0,04) von 3000 t immer noch eine Störung der Vertikalintensität von 80γ bewirken.

In praktischer Hinsicht waren also die Resultate der magnetischen Vermessung im grossen und ganzen gesehen negativ, es wurden keine bisher unbekannten grösseren Manganerzkörper entdeckt. Die Vermessung konnte aber doch zeigen, dass, wie schon die

magnetische Untersuchung der Erzproben vermuten liess, in Fianell die reicheren Manganerze tatsächlich recht kräftige magnetische Anomalien hervorzurufen vermögen und dass mit Hilfe der magnetischen Methoden der angewandten Geophysik wichtige Aussagen über die Ausdehnung der Manganerzkörper gemacht werden können. Fig. 6 gibt noch einige geologische und magnetische Profile des vermessenen Gebietes wieder.

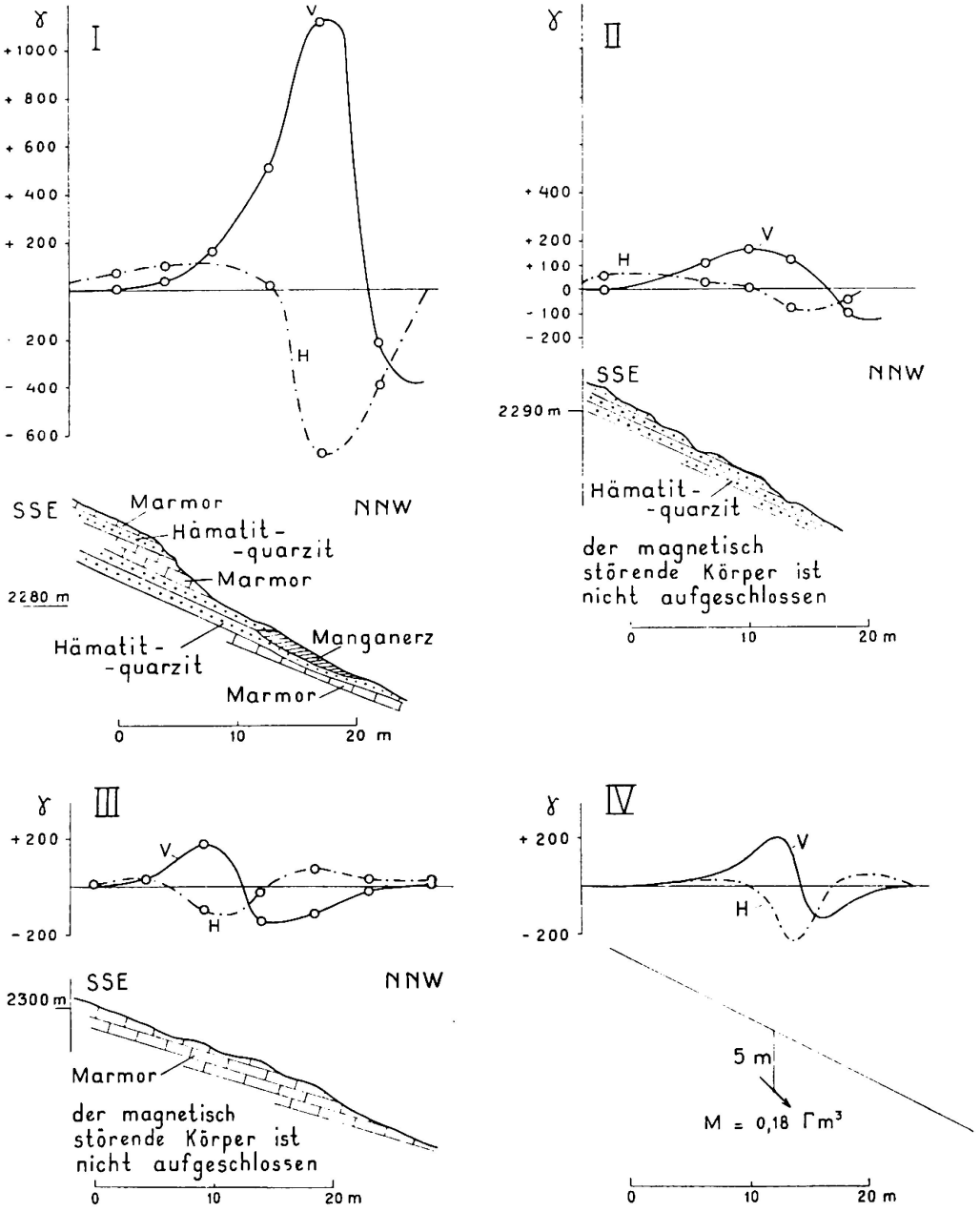


Fig. 6. Geologische und magnetische Profile. V = Vertikalintensität, H = Horizontalintensität.

Profil I ist durch Anomalie A der Tafel gelegt. Die im Maximum 1000 γ übersteigende Anomalie liegt über anstehendem Manganerz und wird durch dieses verursacht. Profil II liegt in Anomalie C der Tafel. Der die magnetische Störung bewirkende Körper ist nicht aufgeschlossen, vermutlich ist in geringer Tiefe eine Linse von magnetischem Manganerz vorhanden. Profil III geht durch Anomalie H. Auch hier ist der die Anomalie verursachende Körper nicht aufgeschlossen. In Profil IV schliesslich ist ein zum Vergleich berechnetes theoretisches Beispiel wiedergegeben. Ein punktförmiger Dipol von angegebener Richtung und einem magnetischen Moment M von 0,18 I' m^3 liegt in 5 m Tiefe unter der Erdoberfläche. Für das angegebene Geländeprofil (schräg verlaufende Linie, den Geländeprofilen I—III ähnlich gewählt) wurden die Störungswerte für V und H berechnet. Das so berechnete magnetische Profil stimmt nach Form und Grösse recht gut mit Profil III überein und zeigt, dass der störende Körper in Profil III (und auch in Profil II) in geringer Tiefe liegt und klein an Grösse sein wird. Die Richtung des Dipols in Profil IV musste, um die Kurven für V und H einigermassen denen von Profil III anzupassen, nicht genau parallel zum erdmagnetischen Normalfeld dieser Gegend gewählt werden, er liegt etwas flacher. Vermutlich wird durch Form und Lagerung der Manganerzlinsen die Magnetisierung im Manganerz in ihrer Richtung etwas verändert, oder es ist eine starke Eigenmagnetisierung in dieser Richtung vorhanden.

5. Allgemeines zu geophysikalischen Messungen an Manganerzlagerstätten

Manganerze sind im allgemeinen nur schwierig mit geophysikalischen Methoden aufzuspüren, und es sind denn auch in der geophysikalischen Literatur nur wenige Beispiele von solchen Messungen zu finden. C. A. HEILAND (13) gab 1942 einen kurzen Überblick über die geophysikalische Prospektion von Manganlagerstätten. Nach diesem Autor kommen als direkte Methode die magnetische und als indirekt-strukturelle die magnetischen und elektrischen Methoden in Frage. Er schreibt: „. . . , sedimentary deposits of the oxide minerals, when fairly large and close to the surface, may be expected to produce small magnetic anomalies". HEILAND erwähnt Messungen in Cuba, in Virginia (in Verbindung mit elektrischen Methoden (siehe auch (3)) und eine magnetische Vermessung bei Nicopol in Russland, die von N. TRUBIATCHINSKY (United Geol. Prosp. Service U. S. S. R. Trans. 166, 1932) beschrieben worden ist. Bei diesen letzteren Messungen wurde das Manganerz indirekt-strukturell aufgespürt. In

Taschen einer alten Graniterosionsoberfläche befindet sich Manganerz (Pyrolusit, Psilomelan, Polianit, Wad). Der Granit ist dreimal stärker magnetisch als das Manganerz. Die magnetische Vermessung gab ein ungefähres Bild über die alte, heute durch jüngere Ablagerungen verdeckte Granitoberfläche. Depressionen in dieser Oberfläche waren wahrscheinliche Orte für Manganerztaschen. Die durch Bohrungen kontrollierten Resultate sind allerdings nicht sehr überzeugend ausgefallen.

P. EVRARD und L. KOENIGSFELD (8) berichteten 1944 über magnetische Aufnahmen an Manganlagerstätten im Kambrium Belgiens. Die magnetische Suszeptibilität der Erze (χ^6) $= 45 \cdot 10^{-6}$) war allerdings nur unwesentlich grösser als die der Nebengesteine ($\chi \leq 20 \cdot 10^{-6}$). Es wurden denn auch nur sehr schwache Anomalien gefunden (meist 50—60 γ, ausnahmsweise 150 γ an zwei Punkten), die nicht immer an die Erzlager gebunden waren. An einzelnen Stellen gaben Manganerzlinsen sogar negative Anomalien (Nebengestein magnetischer als Erz?). Die Autoren fassen ihre Erfahrungen wie folgt zusammen:

„Malgré toutes ces conditions assez défavorables au levé geomagnétique jointes à la faible susceptibilité de différentes niveaux de la sédimentaire, on peut cependant faire certain rapprochement entre l'allure d'ensemble des profils magnétiques et la tectonique générale du bassin".

In letzter Zeit sind auch in Grossbritannien geophysikalische Messungen an Manganlagerstätten durchgeführt worden; die Publikationen darüber sind mir bisher leider nicht zugänglich gewesen.

Die angeführten Beispiele zeigen, dass Manganlagerstätten nur selten mit Erfolg direkt durch magnetische Messungen aufgespürt oder abgegrenzt werden können (siehe auch Abschnitt 3); in den meisten Fällen wird man sich mit indirekt-strukturellen Verfahren begnügen müssen. Das Beispiel von Fianell belegt indessen, dass bei Auftreten von Jakobsit (der wohl meist metamorpher Entstehung und daher an metamorphe Lagerstätten gebunden ist) magnetische Methoden im direkten Verfahren anwendbar sind.

Institut für Geophysik der
Eidg. Technischen Hochschule, Zürich.
Rijksmuseum van Geologie en Mineralogie,
Leiden (Nederland).

---

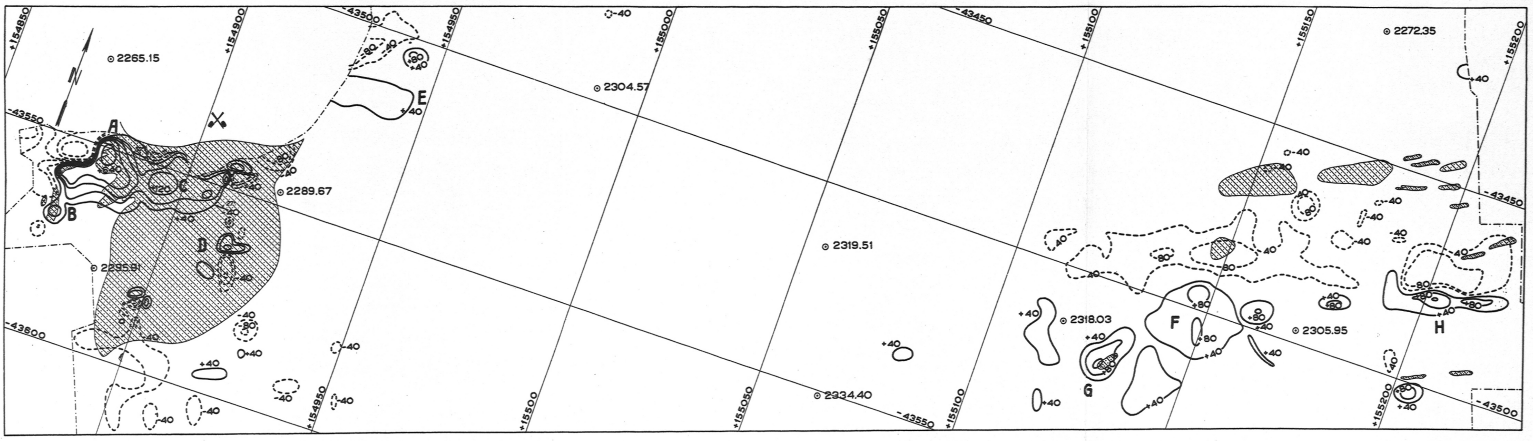
[6]) Massensuszeptibilität.

Literaturverzeichnis

1. G. Aminoff, Lattice dimension and space group of Braunite. Kungl. Sved. Vetensk. Akademiens Handlingar, Bd. 9, No. 5 (1931), 14—22.
2. S. S. Bhatnagar, A. Cameron et al., The magnetic susceptibilities of metallic oxides, with special reference to those of Chromium and Manganese. J. of the Chemic. Soc., London (1939), 1433.
3. L. W. Blau, Magnetic Surveys. Mining and Metallurgy (1941), 78.
4. S. Deb, Données nouvelles sur les propriétés physiques des constituants minéralogiques de la Vredenburgite des Indes. Compt. rend. 209 (1939), 518—520.
5. Die Eisen- und Manganerze der Schweiz (1. Lieferung). Beitr. zur Geol. der Schweiz, Geotechn. Serie, XIII. Lieferung, Bd. 1 (1923).
6. P. Dubois, Contribution à l'étude des oxydes du manganèse. Annales de Chimie I, Tome 5 (1936), 411—482.
7. H. V. Eckermann, Some remarks on the Fe_3O_4-Mn_3O_4 system. Geol. Fören. Förhandl., Bd. 65, H. 3 (1943), 258—260.
8. P. Evrard et L. Koenigsfeld, Levé géomagnetique du Salmien supérieur manganésifère de la vallée de la Lienne. Ann. Soc. Géol. de Belgique, Mémoires, Bd. 67 (1943—1944), 473—491.
9. L. L. Fermor, The manganese-ore deposits of India. Memoirs of the Geol. Survey of India, Vol. XXXVII (1909).
10. F. Gassmann und E. Niggli, Magnetische Untersuchung von Eisenerzen. Verh. der Schweiz. Natf. Ges. Sils (1944), 105—106.
11. Geologischer Führer der Schweiz, herausgegeb. v. d. Schweiz. Geol. Ges. Basel (1934).
12. A. L. Hall, The manganese deposits near Postmasburg, West of Kimberley. Trans. of the Geol. Soc. of South Africa, Vol. XXIX (1926), 17—46.
13. C. A. Heiland, Geophysics in war. Colorado School of Mines Quarterly, Vol. 37, No. 1 (1942).
14. K. Johansson, Mineralogische Mitteilungen IV, 4. Jacobsit. Z. für Krist., Bd. 68 (1928), 107—118.
15. K. S. Krishnan and S. Banerjee, Magnetic studies on Rhodochrosite $MnCO_3$. Z. f. Krist., Bd. 99 (1938), 499—508.
16. — Magnetic studies on Braunite, $3\,Mn_2O_3 . MnSiO_3$. Z. für Krist., Bd. 101 (1939), 507—511.
17. Landolt-Boernstein, Physikalisch-chemische Tabellen, 2 Bde., Berlin (1923); Ergänzungsbände: (1927, 1931, 1935).
18. B. Mason, Bixbyite from Långban. Geol. Fören. Förhandl., Bd. 64, H. 2 (1942), 117.
19. — Alpha-vredenburgite. Geol. Fören. Förhandl., Bd. 65, H. 3 (1943).
20. — Mineralogical aspects of the system $FeO - Fe_2O_3 - MnO - M_2O_3$. Geologiska Förenin. i Stockholm Förhandl., Bd. 65 (1943), 97—180.
21. Ch. Palache, H. Berman, C. Frondel, The system of mineralogy of Dana. New York, Bd. I (1944).
22. H. Schneiderhoehn und P. Ramdohr, Lehrbuch der Erzmikroskopie. Berlin, 2 Bde. (1931).
23. E. C. Stoner, Magnetism and matter. London (1934).

Karte der Anomalien der magnetischen Vertikalintensität der Mangan-Eisenerzlagerstätte Fianell

Schweiz. Min. Petr. Mitt. Bd. XXVI, Heft 2, 1946



VERLASSENE ERZABBAUSTELLE

FALLZEICHEN

ANSTEHENDER HÄMATITQUARZIT, HÄMATITERZ, MANGANERZ

+40 KURVEN GLEICHER POSITIVER ABWEICHUNG VOM NORMALWERT IN γ

-40 KURVEN GLEICHER NEGATIVER ABWEICHUNG VOM NORMALWERT IN γ

UMGRENZUNG DES MAGNETISCH VERMESSENEN GEBIETES

0 12,5 25 37,5 50 62,5 75 87,5 100 Meter

Lage des vermessenen Gebietes siehe Fig. 4. Links (westlich) Fianell I, rechts (östlich) Fianell III.

Zahlen wie „2305.95" geben die Höhe über Meer an.

Kartierung der Erzausbisse von J. ALTMANN.

Mangan- und Eisenerz sind hier nicht auseinandergehalten.

Leere Seite
Blank page
Page vide

24. F. Stutzer, W. Gross, K. Bornemann, Über magnetische Eigenschaften der Zinkblende und einiger anderer Mineralien. Metall u. Erz, Jg. 15 (1918), 1—9.
25. E. J. Verwey and M. G. van Bruggen, Structure of solide solutions of Fe_2O_3 in Mn_3O_4. Z. für Krist., Bd. 92 (1935), 136—138.
26. Wedekind und Horst, Die Magnetisierbarkeit der Oxyde des Mangans, Chroms etc. Ber., 48 (1915), 105—112.
27. O. Wilhelm, Geologische Karte der Landschaft Schams, 1 : 50 000. Beitr. zur geol. Karte der Schweiz, Spezialkarte Nr. 114 A. Profile dazu Nr. 114 B. (1929).
28. — Geologie der Landschaft Schams (Graubünden). Beitr. zur geol. Karte der Schweiz, N.F. 64. Lfg. (1933).

Eingegangen: 3. Oktober 1946.