

Mitteilungen aus dem Institut für Geophysik Nr. 209

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

Geotechnische Serie XIII. Lieferung, 11. Band

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der

Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Die Eisen- und Manganerze der Schweiz

Geophysikalische Untersuchung der Eisenoolithlagerstätte von Herznach-Wölflinswil

VON

PH. BODMER

KOMMISSIONSVERLAG: KÜMMERLY & FREY, GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN

1978

OFFSETDRUCK HELIOPRINT AG, ZÜRICH

VORWORT DER SCHWEIZERISCHEN GEOTECHNISCHEN KOMMISSION

An der Sitzung vom 27. November 1976 haben Prof. St. Müller und Dr. F. Gilliéron die Diplomarbeit von Herrn Ph. Bodmer „Geophysikalische Untersuchungen der Eisenoolithlagerstätte von Herznach-Wölflinswil“ vorgelegt mit der Bitte um Aufnahme in die „Beiträge zur Geologie der Schweiz“. Die Kommission hat diesem Wunsch gerne entsprochen, da in dieser Arbeit die Lagerstätte Herznach erstmals mit geophysikalischen Prospektionsmethoden untersucht wurde und die daraus resultierenden Vorratsschätzungen wesentlich höhere mögliche Erzreserven als bisher ergaben.

Die Kommission dankt dem Autor für diese interessante Arbeit.

Der Jura-Bergwerke AG möchte sie für den grosszügigen finanziellen Beitrag an die Druckkosten den besten Dank aussprechen, ebenso Herrn Prof. E. Niggli für seine Bemühungen.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Autor allein verantwortlich.

Für die Schweiz. Geotechnische Kommission
Der Präsident: V. Trommsdorff

Zürich, im März 1978

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	5
Zusammenfassung	6
Abstract	7
1. Einleitung	9
2. Geologische Verhältnisse	11
2.1 Stratigraphie	11
2.1.1 Das Liegende des Erzhorizontes	11
2.1.2 Erzhorizont (Anceps – athleta –, Lamberti – Mariae – Schichten	11
2.1.3 Das Hangende des Erzhorizontes	12
2.2 Bohrungen und Schürfungen	15
2.3 Tektonik	16
2.4 Die altmiozäne Erosionsoberfläche	16
3. Problemstellung	17
4. Geophysikalische Untersuchungen	18
4.1 Einleitung	18
4.2 Geoelektrik	20
4.2.1 Feldmessungen	20
4.2.2 Labormessungen	23
4.3 Magnetik	25
4.3.1 Beschreibung des Messgeräts	25
4.3.2 Magnetische Feldmessungen	26
4.3.3 Detaillierte Beschreibung der Profile	27
4.3.3.1 Allgemeines	27
4.3.3.2 Das Grabensystem von Wölflinswil	27
4.3.3.3 Der tertiäre Erosionsrand bei Herznach	34
4.3.3.4 Die Grundmoränenüberdeckung bei Junkholz	34
4.3.4 Magnetische Labormessungen	34
4.3.4.1 Allgemeines	34
4.3.4.2 Messresultate	35
4.3.4.3 Bestimmung des Q-Faktors von Magnetikproben	37
4.4 Seismik	38
4.4.1 Einleitung	38
4.4.2 Auswertung der Profile S1, S2 und S3	40
4.4.3 Profile S4 und S7 – S14	41
4.4.4 Seismik im sedimentären Eisenerzbergbau	43
4.4.5 Profile S6, S15 und S16	44
4.4.6 Allgemeine Bemerkungen zu den Seismikprofilen	44

5 Vorratsberechnung	57
5.1 Die Oberfläche des Flözes	58
5.2 Die Mächtigkeit des Flözes	58
5.3 Dichte und Eisengehalte	59
5.4 Die Erzvorräte	59
5.4.1 Der Erzvorrat des ursprünglich bekannten Lagers	59
5.4.2 Der Erzvorrat der gesamten Lagerstätte	60
6 Schlussfolgerungen	61
Literatur	63

VORWORT

Diese Publikation stellt eine gekürzte Fassung der Diplomarbeit dar, welche unter dem Titel „Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von geophysikalischen Verfahren für die Lösung verschiedener geologischer Probleme bei der Eisenoolithlagerstätte von Herznach-Wölflinswil“ geschrieben worden ist.

Gegenüber der Originalschrift, welche nur in drei Ausführungen existiert, wurden hier insbesondere die theoretischen Grundlagen zu den einzelnen geophysikalischen Verfahren, sowie auch Aspekte der Messtechnik und der Auswertung von Messresultaten nur teilweise berücksichtigt.

Ich habe meine Diplomarbeit im Sommer 1975 am Geophysikalischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. St. Müller geschrieben. Die Korreferenz übernahm freundlicherweise Herr Dr. F. Gilliéron, welcher mir das Thema zu dieser Arbeit vorgeschlagen hat, und mir während der Zeit wertvolle Hilfe geleistet hat. Herr P. D. Dr. L. Rybach stellte sich für die direkte Leitung bei der Interpretation der seismischen Messungen zur Verfügung. Herr Dr. F. Heller und Herr Dr. H. Scriba berieten mich bei den Untersuchungen in Magnetik und Elektrik. Ganz besonders möchte ich die Bemühungen von Herrn R. Berger hervorheben, ohne dessen Hilfe, unter anderem bei den seismischen Feldmessungen, diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre. Die Redaktion für den Druck dieser Arbeit unterstand Herrn A. Gautschi im Auftrag der Schweizerischen Geotechnischen Kommission. Allen, auch den übrigen Mitarbeitern des Instituts für Geophysik bin ich für ihre Hilfe zu grossem Dank verpflichtet.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Mutter, bei Fräulein C. Moser und bei meinem Bruder für die Mitarbeit bei der Reinschrift des Manuskriptes herzlichst bedanken.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Herznacher Eisenoolithlagerstätte im Tafeljura des Kantons Aargau wurde mit geophysikalischen Prospektionsmethoden untersucht.

Aus geologischen Beobachtungen und zahlreichen Sondierungen war bis anhin der Ausbiss der Erzschicht gegen Norden und ein ausgeprägtes Grabensystem mit Sprunghöhen über 100 m bekannt, nicht aber ihre südliche Abgrenzung, deren Verlauf von einer tertiären Erosionsfläche bestimmt wird. Da ein neuer Einsatz von Sondierbohrungen sehr aufwendig ist, stellte sich die Frage, ob gewisse geologische Probleme nicht einfacher mit geophysikalischen Untersuchungsmethoden gelöst werden könnten.

Die Abklärungen wurden mittels geoelektrischen, magnetischen und seismischen Verfahren durchgeführt. Zudem waren einige Labormessungen notwendig, um die physikalischen Eigenschaften der Gesteine dieses Gebiets zu bestimmen.

Von den drei Methoden eignete sich die Elektrizität am wenigsten, da keine genügenden Leitfähigkeitskontraste in der stratigraphischen Umgebung des Erzhorizontes zu finden sind.

Mit der Magnetik konnten lediglich ausgewählte Probleme, wie die Lokalisierung der Randverwerfung des zuvor erwähnten Grabensystems, gelöst werden.

Die Seismik erwies sich als die tauglichste Untersuchungsmethode in diesem Gebiet. Obwohl die mesozoischen Schichten, in welchen sich auch der gesuchte Erzhorizont befindet, nicht mit genügender Sicherheit voneinander unterschieden werden konnten, war es trotzdem möglich, den südlichen Rand des Flözes auf indirektem Wege zu finden. Es zeigte sich, dass sich der mittlere Teil der Lagerstätte viel weiter nach Süden ausdehnt, als man gemäss früheren Untersuchungen vermutet hatte.

Mit Hilfe der Seismik konnte zudem ein bisher nur schlecht bekanntes Bruchsystem in der Umgebung des Bergwerks Herznach kartiert werden. Die aus der geophysikalischen Vermessung zusätzlich gefundene Fläche der Lagerstätte ergibt einen möglichen zusätzlichen Erzvorrat von rund 40 – 50 % an Roherz gegenüber den Werten aus älteren Vorratsberechnungen. Für den abbauwürdigen Teil des Flözes konnte ein Gesamtvorrat von 27.82 Mio. Tonnen Roherz gefunden werden.

ABSTRACT

The sedimentary iron ore deposits of the minette type in the Mesozoic of the Swiss „Tafeljura“ near Frick have been examined with geophysical prospecting methods.

Geological observations and numerous wells have yielded informations about the outcrop of the sedimentary plate in its northern part and about a fault system with offsets of more than 100 m. In the southern area, where the plate must have been cut by Tertiary erosion, only very few investigations had been carried out until then.

As the boring of drillholes would move very expensive, research was done with geophysical prospecting methods such as geoelectricity, geomagnetism and applied seismology. A few laboratory measurements were needed in order to determine the physical parameters of the sediments in that area.

The geoelectrical contrasts in the Mesozoic sediments of the „Tafeljura“ were not clear enough to provide informations about the ore body. The use of geomagnetism was restricted to the solution of some specific problems such as the location of big fault systems. It proved inadequate to fathom the depths of sedimentary plates. The seismic method has given the best results in this respect. Although it wasn't possible to differentiate the Mesozoic sedimental layers accurately enough, the southern limit of the deposit could be located indirectly. The results have demonstrated that this limit is much further south than was previously assumed.

Furthermore the seismic investigations have given informations about a badly known fault system in the vicinity of Herznach's old mine.

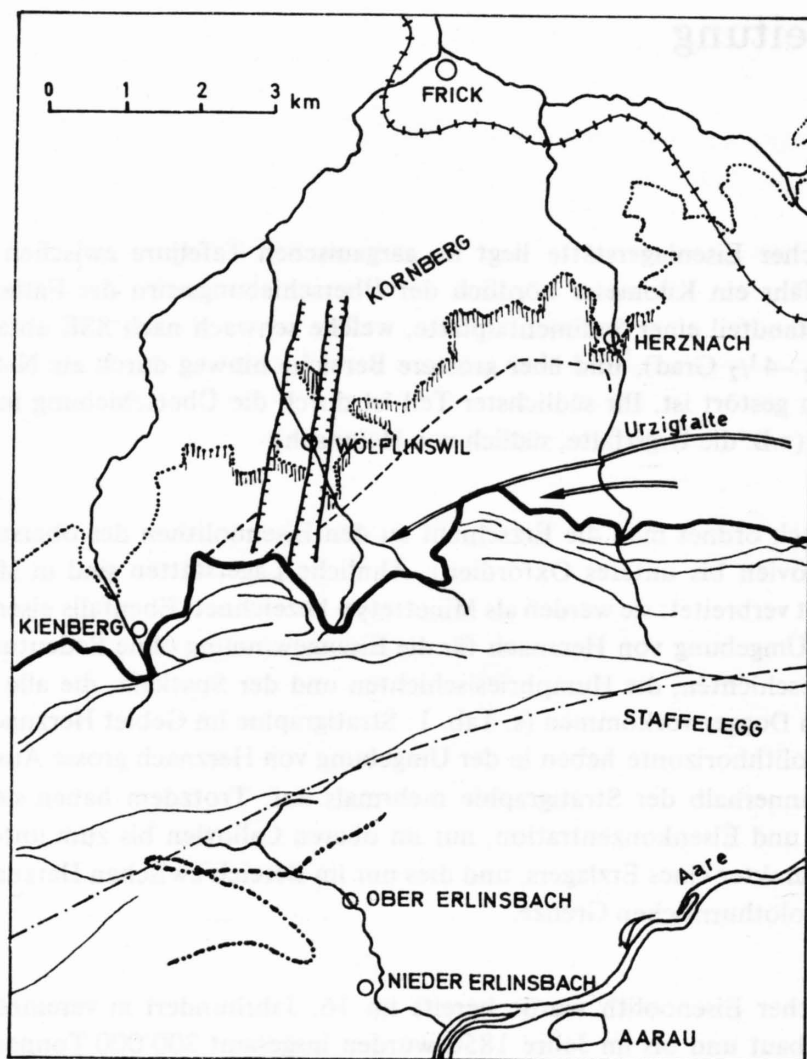
The possible new reserves of the additional area of the deposit, detected by geophysical prospecting, increases the ore reserves by 40 - 50 %. The exploitable total can be assessed at 27.82 million tons of iron ore.

1. Einleitung

Die Herznacher Eisenlagerstätte liegt im aargauischen Tafeljura zwischen Aarau und Frick, ungefähr ein Kilometer nördlich der Überschiebungstirn des Faltenjuras. Das Flöz ist Bestandteil einer Sedimentalplatte, welche schwach nach SSE abtaucht (Fallwinkel: $3\frac{1}{2}$ – $4\frac{1}{2}$ Grad), und über grössere Bereiche hinweg durch ein N-S laufendes Bruchsystem gestört ist. Ihr südlichster Teil ist durch die Überschiebung in Falten gelegt worden (z.B. die Urgizfalte, südlich von Herznach).

Stratigraphisch ordnet man die Erzschiebt zu den Eisenoolithen des obersten Doggers (oberes Callovien bis unteres Oxfordien). Ähnliche Lagerstätten sind in Mitteleuropa ziemlich weit verbreitet: sie werden als Minettetyp bezeichnet. Ebenfalls eisenoolithisch, aber in der Umgebung von Herznach für die Eisengewinnung ohne Bedeutung, sind die Murchisonaeschichten, die Humphriesischen und der Spatkalk, die alle im unteren bis mittleren Dogger vorkommen (s. Tab. 1: Stratigraphie im Gebiet Herznach Wölflinswil). Eisenoolithhorizonte haben in der Umgebung von Herznach grosse Ausdehnungen und treten innerhalb der Stratigraphie mehrmals auf. Trotzdem haben sie, bezüglich Mächtigkeit und Eisenkonzentration, nur im oberen Callovien bis zum unteren Oxfordien den Charakter eines Erzlagere, und dies nur im Bereich zwischen Herznach und der aargauisch-solothurnischen Grenze.

Der Herznacher Eisenoolith wurde bereits im 16. Jahrhundert in vereinzelt Schürfungen abgebaut und bis im Jahre 1850 wurden insgesamt 300'000 Tonnen Erz gefördert. Anfangs des 19. Jahrhunderts wurden in diesem Gebiet erstmals geologische Untersuchungen durchgeführt und die Schicht einigermaßen in die Stratigraphie eingegliedert. In den Jahren 1870 – 1880 wurde in einem Steinbruch auf dem Chornberg der sogenannte Chornbergstein im unmittelbaren Liegenden des Oolithen für den Bau der Bözbergbahnlinie, welche später für die Existenz des Herznacher Bergwerks von grosser Bedeutung war, abgebaut. Erst 30 Jahre später untersuchte der Geologe Alfred Amsler das eigentliche Flöz. Im Auftrag der Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung der schweizerischen Erzlagerstätten wurde, im Hinblick auf eine Konzessionserwerbung, eine Anzahl Schürfungen und Kernbohrungen zur Abklärung des Erzvorrates durchgeführt. Ausserdem wurde bei Herznach ein 30 m langer Versuchsstollen vorgetrieben. Im Jahre 1935 wurden die Untersuchungen wieder aufgenommen. Mit ungefähr 60 Schürfungen und 15 Kernbohrungen wurde vor allem der Wölflinswilergraben (S. Kapitel Tektonik) untersucht. Aufgrund der erworbenen Resultate beschloss man die Lagerstätte in grossem Rahmen abzubauen. In den folgenden Jahren produzierte das Bergwerk Herznach insgesamt etwa zwei Millionen Tonnen Roherz. Der Betrieb wurde im Jahre 1969 aus wirtschaftlichen Gründen endgültig eingestellt.



LEGENDE



AUSBISS DES EISENOOLITHS
VON HERZNACH-WÖFLINSWIL



EROSIONSRAND DES FLÖZES



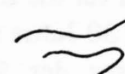
GRABENVERWERFUNGEN
VON WÖFLINSWIL



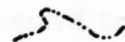
FALTEN AM SÜDRAND
DES TAFELJURAS



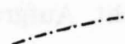
STIRN DES
KETTENJURAS



AUFSCIEBUNGEN
IM KETTENJURA



AUSBISS DES EISENOOLITHS
VON ERLINSBACH



UNGEFÄHRER VERLAUF
DER AARE - DONAU VOR
BEGINN DER JURAFALTUNG
(NACH AMSLER, 1921)

Fig. 1
Übersichtskarte (nach FEHLMANN und RICKENBACH, 1962)

2. Geologische Verhältnisse

2.1 STRATIGRAPHIE

Die Stratigraphie und das Studium von Fossilien wurde von JEANNET (1951) durchgeführt und bezieht sich auf die nähere Umgebung von Herznach. Korrelationen mit dem Wölflinswiler Teil der Lagerstätte sind nur beschränkt möglich. Da die Stratigraphie schon häufig beschrieben worden ist (JEANNET, 1951; FEHLMANN und RICKENBACH, 1962), möchte ich hier nur einen groben Überblick vermitteln.

2.1.1 DAS LIEGENDE DES ERZHORIZONTES

Opalinuston

80 – 90 m mächtiger Horizont, bestehend aus schwarzen, teilweise sandigen Tonen.

Murchisonae- bis Blagdeni-Schichten

Vorwiegend graue Mergelkalke, Mergel, oolithische bis spätige, z.T. eisenoolithische Kalke mit stellenweise sandig-glimmerigen Einlagerungen.

Hauptrogenstein

An der Basis des 90 – 100 m mächtigen Horizontes liegen sandig-glimmerige Mergel, welche darüber von hellgrauen Mergeln, Kalkmergeln und Rogensteinschichten abgelöst werden.

Spatkalk

Eisenhaltiger, groboolithischer, spätiger Kalk oder reiner Spatkalk mit ca. 10 – 15 m Mächtigkeit.

Variansschichten

8 m mächtige Schicht bestehend aus Kalken und Mergeln.

Macrocephalusschichten

10 – 20 m gebankte, feinspätige, sandige, diagonalgeschichtete Echinodermenbrekzie. Darunter liegen leicht sandige, graue Mergel. Die Basis des Horizontes, welche besonders in der Umgebung des Chornberges auftritt, bildet eine ungefähr 10 cm mächtige Eisenoolithschicht.

2.1.2 ERZHORIZONT (ANCEPS-ATHLETA-, LAMBERTI-, MARIAE-SCHICHTEN)

Die Mächtigkeit der Eisenoolithschicht variiert innerhalb des Lagers von 1.5 bis maximal 7.5 m. Ebenfalls veränderlich ist die Eisenkonzentration, welche bei Herznach durchschnittlich 30 % beträgt und gegen Westen bis auf etwa 22 % absinkt.

Ausserhalb des Flözes nehmen sowohl Mächtigkeit wie auch Eisengehalt rapid ab.

Die grösste Vererzung findet man in zwei, durch eine eisenarme, mergelige, feinglimmerige Zwischenschicht getrennten Flözen, dem oberen Wölflinswiler- und dem unteren Herznacher Flöz.

In den Ooiden bestehen beide hauptsächlich aus Limonit und Hämatit, die ihrerseits in einer eisenhaltigen, mergeligen Grundmasse eingebettet sind.

Das Herznacherflöz weist durchwegs eine höhere Eisenkonzentration (durchschnittlich 30 %) auf als das Wölflinswilerflöz (rund 27 %). Die Zwischenschicht ist in ihrer Zusammensetzung sehr variabel. Hier nimmt der Erzgehalt gegen Süden und Westen ab, von durchschnittlich 25 % bis etwa 15 %. Die eisenhaltigen Schichten im Liegenden und im Hangenden des Flözes haben deutlich niedrigere Gehalte und relativ variable Zusammensetzungen. Die Werte schwanken um 13.5 %.

Innerhalb des Erzlagers kann man feststellen, dass das Eisen nicht über die gesamte Mächtigkeit der Schicht regelmässig verteilt ist. Inhomogenitäten lassen sich auch im Bereich des Handstücks feststellen: die Ooiden haben einen weit höheren Eisengehalt als die Grundmasse (ca. 10 % mehr). In der Zusammenstellung der Bohrprofile (s. Kapitel 3.2) sind die Konzentrationen der einzelnen Flözabschnitte dargestellt.

2.1.3 DAS HANGENDE DES ERZHORIZONTES

Cordatusschichten

Bezüglich Mächtigkeit (ca. 25 cm) und Zusammensetzung ist diese Schicht, im Gegensatz zum eigentlichen Erzlager, sehr konstant. Die Schicht besteht aus Mergeln und Kalken mit wenigen, aber groben limonitischen Ooiden.

Argovien

Von dem ursprünglich weit über 100 m mächtigen, aus grauen Mergeln, Mergelkalken und Kalkbänken bestehenden Schichtkomplex sind infolge Erosion zur Tertiärzeit in der Regel noch höchstens 50 m übriggeblieben.

Als eigentliches Dach der Flözzone – die dünne Cordatenschicht kann nicht als solches gelten – ist die Ausbildung der unteren Zone des Argovien, der Birmensdorferschichten, für den Bergbau von Bedeutung. Sie ist gekennzeichnet durch einen auffallenden Glaukonitgehalt und das Auftreten von Schwämmen. Die Grenze zu den hangenden Effingerschichten ist nicht sehr scharf. Die Mächtigkeit der Birmensdorferschichten mag im Mittel 2.5 bis 3.5 m betragen.

Besonders deutlich auf der Herznacher Seite ist im oberen Teil des Horizontes ein meist geschlossener Komplex von 2 bis 3 hellen, etwas körnigen Kalkbänken von zusammen

1.0 bis 1.5 m ausgebildet, die ziemlich reichlich Glaukonitkörnchen führen. Diese sogenannte „Grenzbank“ scheint gegen Westen an Mächtigkeit zu verlieren. Sie bildet, zuweilen abgelöst durch eine tiefer liegende, stärker entwickelte Schwammbank, eine sehr konstante Terrainkante, die nur durch starke Moränenbedeckung verwischt wird. Grenzbank und Schwammkalke wurden früher ausgebeutet und bilden im Abschnitt von Herznach ein haltbares Dach beim Abbau des Erzlagers.

Die Effingerschichten bestehen aus abwechselnden grauen Mergeln und Kalkbänken. Unmittelbar über den Birmensdorfer-Schichten liegen einige sandig-mergelige Bänke.

Tertiär

Das Tertiär liegt stark transgressiv auf dem mesozoischen Untergrund. Es wurde erst nach einer längeren Erosionsphase abgelagert, und besteht deshalb lediglich aus Sedimenten des Miozäns. Die Ablagerungen sind rein kontinental (limnisch und fluviatil), und bestehen aus Kalken und Mergeln, nebst Konglomeraten, der sogenannten Jura-nagelfluh.

Quartär

Die Sohle der unteren Täler liegt weit unterhalb der heutigen Talböden. Die Füllung besteht aus Schottern, welche teilweise schon vor der grossen Rissvergletscherung abgelagert worden sind. Die Rissgrundmoränen setzen sich hauptsächlich zusammen aus tonig-lehmigen Horizonten mit jurassischen und alpinen Geschieben. Besonders grosse Moränenmächtigkeiten konnten in Bohrung 58 auf Widenmatt (16 m) und Bohrung 205 im Junkholz (36.6 m) festgestellt werden.

Gehängeschutt kommt vor allem auf der Stirnseite der Urgizfalte vor.

Die Ausbisslinien des Erzlagers im Norden können im Gelände meist nur auf indirekte Weise bestimmt werden, da diese oft verwittert und meist von der Vegetation stark überwachsen sind. Die Lage des Flözausbisses lässt sich oft an der roten Farbe des Bodens und an der Geländekante der widerstandsfähigen Schichten des Hangenden erkennen. Somit ist sein Verlauf, abgesehen von der grossen Verwerfungszone bei Wölflinswil und zwei Sektoren mit Moränenüberdeckung zwischen Herznach und der solothurnischen Kantonsgrenze, aus den Feldbeobachtungen und auch aus den Ergebnissen der früheren Schürfungen mit genügender Genauigkeit festzustellen.

Vollständig offen bleibt dagegen die Frage, wo die südliche Abgrenzung der Lagerstätte durchzuziehen ist. Südlich der Linie Herznach-Wölflinswil bis zum N-W Rand des Faltenjuras sind an der Oberfläche praktisch nur tertiäre und quartäre Ablagerungen vorhanden und aus den Terrainbeobachtungen lassen sich keine zuverlässigen Schlüsse aus dem Verhalten des tiefer liegenden Erzhorizontes ziehen. Dieser taucht jedoch ein Kilometer südlich von Herznach in der ersten Jurakette wieder auf, ist dort aber nur noch etwa 1.2 m mächtig.

Tabelle 1: Stratigraphie im Gebiet Herznach–Wölflinswil
(nach FEHLMANN und RICKENBACH, 1962)

	Formation	Stufe	Fossil- u. Fazieszonen	Mächtigkeit (m)
QUARTAER		Alluvium	Gehängeschutt etc.	—
		Diluvium	Schotter, Grundmoräne	bis ca. 30 m
TERTIAER	Miozän	Tortonien	Süßwasserkalk, Mergel	bis ca. 80 m
		Helvetien	Helicitenmergel, Jura- nagelfluh	bis ca. 150 m
			Citharellenkalk, Grob- kalk, Austernnagelfluh.	—
JURA	Malm	Argovien	Effingerschichten	bis 125
			Birmensdorferschichten	2.5 – 3.5
		Oxfordien	Cordatusschichten	0.15 – 0.35
			Mariaesch.	Eisen- oolith 1 – 7
			Lambertisch.	
	Dogger	Calovien	Anceps-athletasch.	10 – 24
			Macrocephalussch.	
		Bathonien	Varianssch.	6 – 8
			Spatkalk eisenoolithisch	0 – 10 (– 15)
		Bajocien	Hauptrogenstein	90 – 100
			Blagdenisch.	30
			Humphriesisch. eisenool.	2 – 5
			Sauzeisch.	20 – 30
			Sowerbyisch.	
		Aalenien	Concavussch.	ca. 90
			Murchisonaesch. eisenool.	
			Opalinuston	
	(Lias)	—	—	—

Man könnte also annehmen, dass der Eisenoolith unter der tertiären und quartären Bedeckung weiterhin vorhanden ist, aber gegen Süden an Mächtigkeit verliert.

Andererseits haben vier Bohrungen, welche wenig südlich der Linie Herznach-Wölflinswil angesetzt worden sind, den Erzhorizont nicht durchquert, sondern haben unter dem Tertiär nur noch tieferliegende Schichten des Doggers angetroffen. Daraus haben frühere Bearbeiter dieser Lagerstätte (Fehlmann, Rickenbach und Amsler) den Schluss gezogen, dass der Eisenoolith hier vor der Ablagerung des Tertiärs praktisch vollständig erodiert worden sei, und dass infolgedessen die südliche Begrenzung des Erzlagers etwas ausserhalb der oben erwähnten Linie verlaufe.

Über Lage und Verlauf der Lagerstätte gibt Tafel 2 Auskunft. Gegen oben ist der Erzhorizont durch die dünne Cordatschicht scharf abgegrenzt, hingegen ist der Übergang gegen tiefere Schichten relativ diffus. Man kann annehmen, dass der Untergrund des Ooliths neu aufbereitet worden ist, da an gewissen Stellen Korrosionsspuren entdeckt worden sind.

2.2 BOHRUNGEN UND SCHÜRFUNGEN

Ich habe in der Einleitung dieser Arbeit erwähnt, dass eine grosse Anzahl Kernbohrungen und Schürfschächte im Auftrag der Studiengesellschaft zur Untersuchung der Eisenoolithlagerstätte durchgeführt worden ist. Es ist für die geophysikalische Untersuchung dieses Gebiets sehr wichtig, möglichst viele Informationen über diese Sondierungen zu beschaffen. Zum Beispiel ist die Interpretation refraktionsseismischer Profile unter den gegebenen geologischen Verhältnissen sehr schwierig ohne Kenntnis der Bohrresultate, da die seismische Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des Lagers variiert. Deshalb müssen immer wieder geologische Korrelationsmöglichkeiten gegeben sein.

Leider konnte ich die Befunde der Studiengesellschaft über diese Sondierungen nicht mehr ausfindig machen. Wahrscheinlich sind diese Aufzeichnungen nach der Auflösung des Bergwerks vernichtet worden oder verloren gegangen. Glücklicherweise sind in der Literatur immer wieder einzelne Angaben darüber zu finden. So habe ich mich bemüht, möglichst viele Daten zu sammeln, um sie zusammenfassend in einer Tabelle darstellen zu können.

Die meisten Werte entnahm ich den Arbeiten von FEHLMANN und RICKENBACH (1962) und GSELL (1968b).

Eine Zusammenstellung aller Bohrungen und Schürfunge, sowie eine Kopie der unpublizierten Arbeit GSELL (1968b) sind bei der SCHWEIZERISCHEN SAMMELSTELLE GEOLOGISCHER DOKUMENTE (Brunnhofweg 47, 3007 Bern) aufbewahrt.

2.3 TEKTONIK

Neben den im Süden von Herznach auftretenden Falten (Urgiz- und Emmatfalte) und der markanten Überschiebungstirn des Kettenjuras ist die Tektonik dieser Gegend vor allem von grossen N-S streichenden Verwerfungen geprägt. Ein zweites Bruchsystem in E-W streichender Richtung ist nur undeutlich ausgebildet. Beide Systeme haben praktisch senkrechte Fallwinkel. Die tektonische Aktivität fällt in die Periode zwischen dem Oberoligozän und dem Untermiozän: sie ist somit gleich alt wie die Bildung des Rheintalgrabens. In der Gegend der Ortschaft Wölflinswil erstreckt sich in nordsüdlicher Richtung ein Grabensystem mit ca. 100 m Versetzungsbetrag. Der Graben ist mindestens in zwei, vermutlich aber in mehrere versetzte Teilschollen aufgeteilt. Die genaue Anzahl und die Lage der Brüche ist mit geologischen Beobachtungen nicht bestimmbar, da die Oberfläche durch Moränen, Verrutschungen und glaziale Verwischung der Formationsgrenzen stark beeinflusst worden ist. In der Umgebung von Herznach kann ebenfalls ein Bruchsystem beobachtet werden, unter anderem auch im Bergwerk. Allerdings hat es nicht das Ausmass des Wölflinswilergrabens. Die Versetzungsbeiträge schwanken zwischen einigen Centimetern und einigen Metern, der grösste gemessene Wert für die Sprunghöhe war 3.6 m.

2.4 DIE ALTMIOZÄNE EROSIONSOBERFLÄCHE

Beobachtungen an Aufschlüssen und Bohrungen in der Nähe von Herznach und südlich von Wölflinswil haben ergeben, dass das Flöz nicht wie erwartet sich bis an die Stirn des Kettenjuras erstreckt, sondern dass es durch eine tertiäre Erosionsfläche abgeschnitten ist. Der Geologe Alfred Amsler vermutete (AMSLER, 1921), dass die teilweise sehr steil abfallende Erosionsterrasse durch einen von Westen nach Osten verlaufenden Fluss, wahrscheinlich das altmiozäne Aare-Donau System, gebildet worden ist. In der darauf folgenden Zeit ist von den Seitentälern her Juranagelfluh in das Haupttal abgelagert worden. Der genaue Verlauf der Fläche konnte bisher nicht angegeben werden, obwohl er für die genaue Erfassung des Erzlagers von grosser Bedeutung ist. Leithorizont der Tertiärüberdeckung ist eine Juranagelfluh mit Geröllen aus dem Macrocephalus und aus den Eisenoolithschichten, ferner Trümmer von älteren tertiären Ablagerungen. Die Nagelfluh bildet eine prägnante Terrainkante, welche in der Nähe der Herznacher Kirche schön ausgebildet ist.

3. Problemstellung¹⁾

Im Rahmen dieser Arbeit ist eine neue Beurteilung der Erzvorräte der Eisenooolithlagerstätte Herznach-Wölflinswil vorgesehen. Ohne Zweifel sind immer noch grössere Erzvorräte vorhanden, welche insbesondere im Hinblick auf allfällige Versorgungskrisen interessant sein könnten.

In lagerstättenkundlichen Feldpraktiken an der ETH wurde in den Jahren 1974/75 und 1976 bereits die Frage überprüft, mit welcher Zuverlässigkeit sich die noch verbliebenen Erzvorräte aufgrund der Daten, welche aus der früheren Bergbau- und Prospektions-tätigkeit sowie aus Feldbeobachtungen erhältlich sind, berechnen lassen.

Es zeigte sich, dass sie in einigen Sektoren über die geologische Begrenzung und die strukturellen Verhältnisse des Erzhorizontes nur eine sehr lückenhafte Auskunft liefern. Infolgedessen bestehen auch noch einige Unsicherheiten über die Struktur des geometrischen Modells, welches von der Lagerstätte für die Volumenberechnung und die Bestimmung weiterer Einflussgrössen erstellt werden muss. Es stellt sich nun die Frage, auf welche Weise entscheidende, zusätzliche Informationen am besten beschafft werden können, und insbesondere, ob sich dafür geophysikalische Verfahren eignen würden.

Insbesondere ist die oben erwähnte, von den früheren Bearbeitern angenommene süd-östliche Begrenzung der Lagerstätte ziemlich fraglich. Es könnte zum Beispiel möglich sein, dass der in den Bohrungen konstatierte direkte Kontakt zwischen Tertiär und Dogger nicht durch Erosion, sondern durch Verwerfungen zustande gekommen ist. Das würde aber bedeuten, dass der Erzhorizont nicht abgetragen, sondern nur lokal unterbrochen und versetzt worden ist. Wenn diese Interpretation zutreffen sollte, so könnten im Gebiet zwischen Herznach und der nördlichsten Jurakette noch beträchtliche, zusätzliche Erzvorräte vorhanden sein.

Für eine Berechnung der noch verbleibenden Erzreserven kommt der Abklärung dieser Frage deshalb die grösste Bedeutung zu.

Des weiteren könnte die Abschätzung der geologischen und technischen Vorräte noch verbessert werden durch:

- die genauere Festlegung des Verlaufs der drei Hauptverwerfungen im Gebiet von Wölflinswil, die im Gelände nicht direkt beobachtbar sind,
- die eingehendere Untersuchung des Gebiets zwischen Herznach und Wölflinswil auf das Vorhandensein von weiteren Verwerfungen,
- die genauere Festlegung der nördlichen Grenze des Erzhorizontes unter den ausge-dehten Grundmoränen.

1) Nach der Formulierung von F. Gilliéron, welcher auch die lagerstättenkundlichen Feldpraktiken organisierte und leitete.

Grundsätzlich könnten diese Aufgaben auch mit Hilfe von Bohrungen gelöst werden, doch müsste zum vorneherein damit gerechnet werden, dass eine grosse Anzahl von Bohrlöchern erforderlich wäre, um einigermaßen interpretierbare Resultate zu erhalten.

Es stellt sich deshalb die Frage, ob die fehlenden Informationen nicht vorteilhafter, zumindest teilweise, durch den Einsatz von geophysikalischen Verfahren beschafft werden könnten.

Zu ihrer Beantwortung wäre zunächst zu untersuchen, ob gegebenenfalls und wenn ja bis zu welcher Tiefe

- der Eisenoolith-Horizont und/oder
- die altmiozäne Erosionsfläche
- die einzelnen Schichtpakete
- die Hauptverwerfungen von Wölflinswil sowie kleinere tektonische Störungen geophysikalisch erfasst und kartiert werden können.

Da keine ausgeprägten Kontraste in der physikalischen Beschaffenheit zwischen den einzelnen geologischen Horizonten vorhanden sind, ist als erster Schritt eine grössere Reihe von Versuchen notwendig.

4. Geophysikalische Untersuchungen

3.1 EINLEITUNG

Zur Untersuchung der eisenoolithischen Lagerstätte mit geophysikalischen Verfahren drängten sich vor allem drei Methoden auf:

Geoelektrik

Es ist anzunehmen, dass ein eisenoolithisches Gestein, verglichen mit reinen Kalken und Mergeln, einen relativ niedrigen spezifischen Widerstand hat. Diese Aussage gilt nur, wenn die Eisenkonzentration genügend gross ist und wenn die einzelnen eisenreichen Komponenten gleichmässig im Gestein verteilt sind und zueinander in Kontakt stehen. Die Geoelektrik hat den Vorteil, dass das zu untersuchende Flöz zugleich als Leit-
horizont der Messmethode verwendet wird.

Geomagnetik

Ein eisenhaltiges Gestein unterscheidet sich in seinen magnetischen Eigenschaften, z.B. in seiner Suszeptibilität, von eisenarmen Horizonten. Eines der Anwendungsgebiete von geomagnetischen Feldmessungen ist die Tiefenbestimmung von magnetischen

Schichten anhand von im Felde bestimmten Anomalien und von im Labor ermittelten Parameter von Proben aus jenem Gebiet (z.B. Bohrkern). Solche Methoden sind nur dann zweckmässig, wenn die Geologie geometrisch einigermaßen erfasst werden kann und nicht allzu kompliziert ist.

Im Gebiet Herznach-Wölflinswil sind die Schichten jedoch in Bezug auf den Eisengehalt starken lokalen Variationen unterlegen. Zusätzlich existieren, wie aus den stratigraphischen Untersuchungen von JEANNET (1951) zu entnehmen ist, neben dem wirtschaftlich interessanten Erzlager zahlreiche andere eisenhaltige Schichten. Zudem enthält das Tertiär, welches teilweise aus erodiertem Material älterer Schichten dieses Gebiets besteht, dementsprechend auch schwer erfassbare, eisenreiche Horizonte.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Magnetik, das sich speziell in diesem Gebiet gut anwenden lässt, ist die Bestimmung von versteckten Schichträndern in relativ geringen Tiefen, an Stellen, wo eine eisenreiche Schicht durch eine Verwerfung, oder durch Erosion abgeschnitten wird.

Das magnetische Totalfeld sollte, wie Fig. 2 illustriert, jenseits dieser Trennfläche sprunghaft ändern. Die Auswertung ist sehr einfach, da Tiefen und magnetische Eigenschaften für die Lokalisierung dieser Fläche belanglos sind, vorausgesetzt dass der Kon-

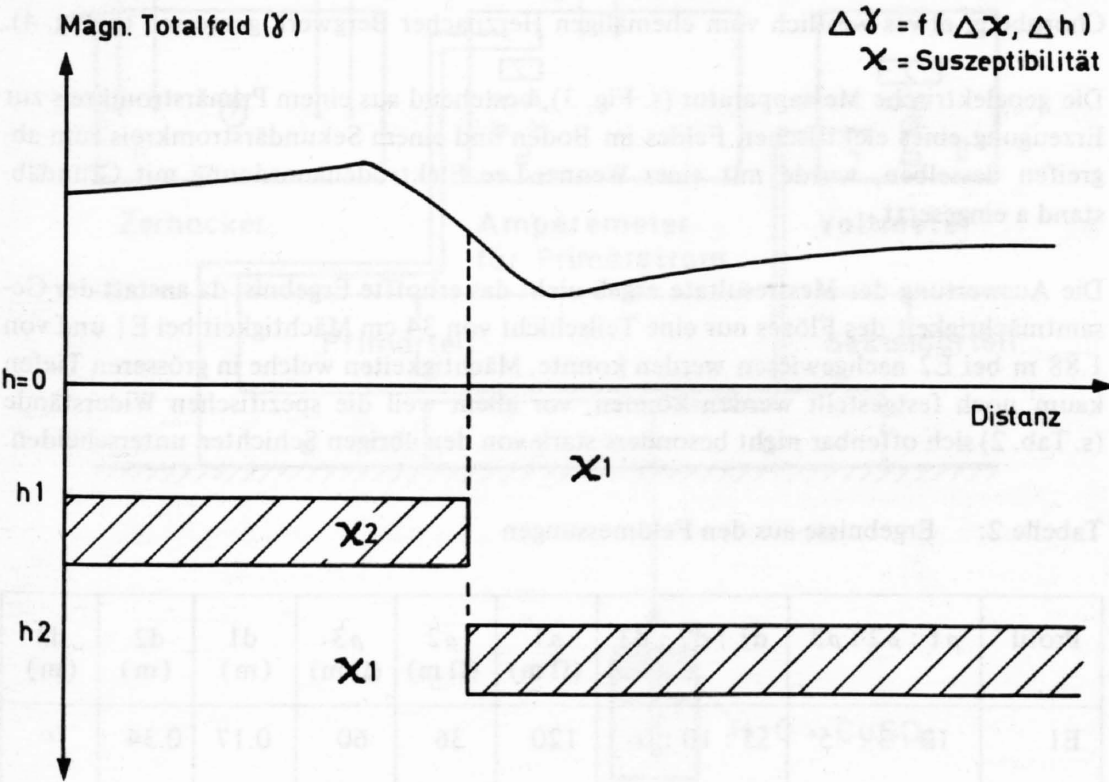


Fig. 2
Variation des magnetischen Totalfeldes über einer geologischen Trennfläche.

Grundsätzlich könnten diese Aufgaben auch mit Hilfe von Bohrungen gelöst werden, doch müsste zum vorneherein damit gerechnet werden, dass eine grosse Anzahl von Bohrlöchern erforderlich wäre, um einigermassen interpretierbare Resultate zu erhalten.

Es stellt sich deshalb die Frage, ob die fehlenden Informationen nicht vorteilhafter, zumindest teilweise, durch den Einsatz von geophysikalischen Verfahren beschafft werden könnten.

Zu ihrer Beantwortung wäre zunächst zu untersuchen, ob gegebenenfalls und wenn ja bis zu welcher Tiefe

- der Eisenoolith-Horizont und/oder
- die altmiozäne Erosionsfläche
- die einzelnen Schichtpakete
- die Hauptverwerfungen von Wölflinswil sowie kleinere tektonische Störungen geophysikalisch erfasst und kartiert werden können.

Da keine ausgeprägten Kontraste in der physikalischen Beschaffenheit zwischen den einzelnen geologischen Horizonten vorhanden sind, ist als erster Schritt eine grössere Reihe von Versuchen notwendig.

4. Geophysikalische Untersuchungen

3.1 EINLEITUNG

Zur Untersuchung der eisenoolithischen Lagerstätte mit geophysikalischen Verfahren drängten sich vor allem drei Methoden auf:

Geoelektrik

Es ist anzunehmen, dass ein eisenoolithisches Gestein, verglichen mit reinen Kalken und Mergeln, einen relativ niedrigen spezifischen Widerstand hat. Diese Aussage gilt nur, wenn die Eisenkonzentration genügend gross ist und wenn die einzelnen eisenreichen Komponenten gleichmässig im Gestein verteilt sind und zueinander in Kontakt stehen. Die Geoelektrik hat den Vorteil, dass das zu untersuchende Flöz zugleich als Leit-
horizont der Messmethode verwendet wird.

Geomagnetik

Ein eisenhaltiges Gestein unterscheidet sich in seinen magnetischen Eigenschaften, z.B. in seiner Suszeptibilität, von eisenarmen Horizonten. Eines der Anwendungsgebiete von geomagnetischen Feldmessungen ist die Tiefenbestimmung von magnetischen

Schichten anhand von im Felde bestimmten Anomalien und von im Labor ermittelten Parameter von Proben aus jenem Gebiet (z.B. Bohrkern). Solche Methoden sind nur dann zweckmässig, wenn die Geologie geometrisch einigermaßen erfasst werden kann und nicht allzu kompliziert ist.

Im Gebiet Herznach-Wölflinswil sind die Schichten jedoch in Bezug auf den Eisengehalt starken lokalen Variationen unterlegen. Zusätzlich existieren, wie aus den stratigraphischen Untersuchungen von JEANNET (1951) zu entnehmen ist, neben dem wirtschaftlich interessanten Erzlager zahlreiche andere eisenhaltige Schichten. Zudem enthält das Tertiär, welches teilweise aus erodiertem Material älterer Schichten dieses Gebiets besteht, dementsprechend auch schwer erfassbare, eisenreiche Horizonte.

Ein weiteres Anwendungsgebiet der Magnetik, das sich speziell in diesem Gebiet gut anwenden lässt, ist die Bestimmung von versteckten Schichtträgern in relativ geringen Tiefen, an Stellen, wo eine eisenreiche Schicht durch eine Verwerfung, oder durch Erosion abgeschnitten wird.

Das magnetische Totalfeld sollte, wie Fig. 2 illustriert, jenseits dieser Trennfläche sprunghaft ändern. Die Auswertung ist sehr einfach, da Tiefen und magnetische Eigenschaften für die Lokalisierung dieser Fläche belanglos sind, vorausgesetzt dass der Kon-

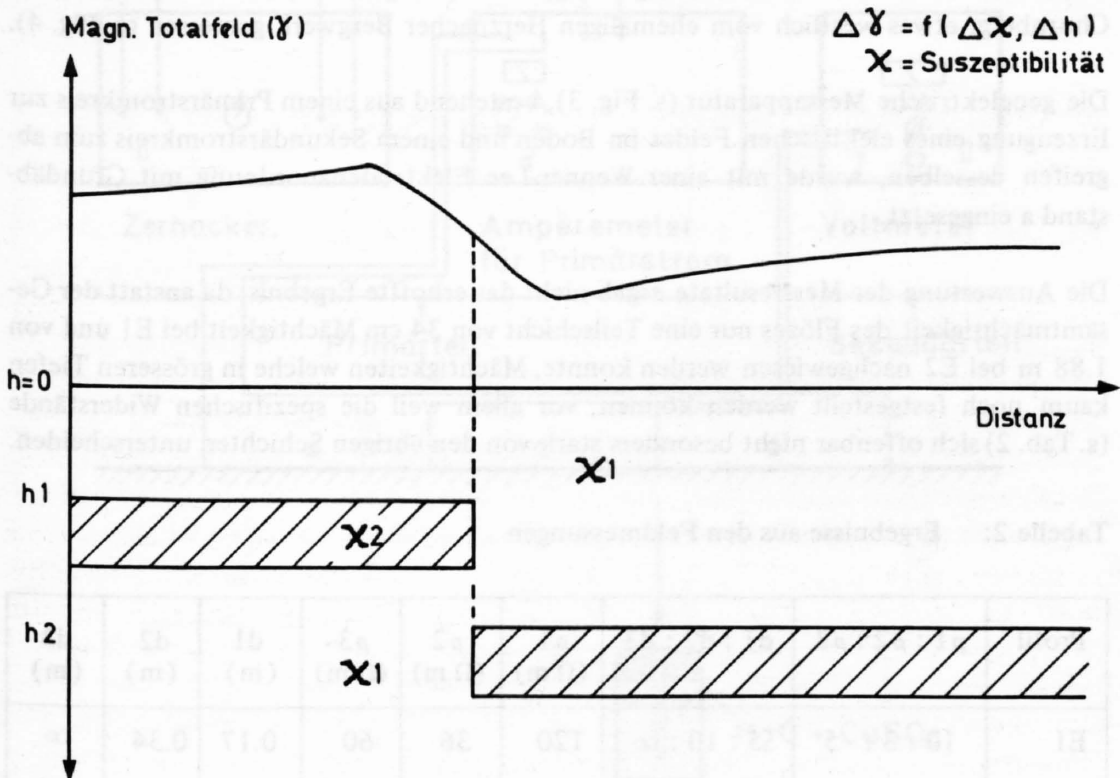


Fig. 2
Variation des magnetischen Totalfeldes über einer geologischen Trennfläche.

trast genügend gross ist. Totalfeldmessungen brauchen wenig Zeit und können ohne grossen Materialaufwand durchgeführt werden. Deshalb fand ich diese Methode geeignet, um damit das Wölflinswiler Grabensystem zu lokalisieren.

Seismik

Obwohl im Mesozoikum des Tafeljuras keine grossen Geschwindigkeitskontraste zu erwarten sind, eignet sich die Seismik im allgemeinen, besonders bei grossen Überdeckungen, gut für Tiefenbestimmungen und zur Lokalisation von Brüchen. Zumindest zur Bestimmung der Tertiärmächtigkeit dürfte sich diese Methode bewähren.

4.2 GEOELEKTRIK

4.2.1 FELDMESSUNGEN

Mit zwei an ausgewählten Stellen angelegten Profilen wurde die Frage abgeklärt, ob sich die Eisenoolithschichten für geoelektrische Messungen als Leithorizont eignen. Es wurden für die Messungen zwei oberflächennahe Flözabschnitte ausgewählt, bei welchen die geologischen Verhältnisse wohl bekannt waren. Das erste Profil (E1) wurde am westlichen Rand des Wölflinswilergrabens, bei Schlingholden, das zweite (E2) am Chornberg, etwas westlich vom ehemaligen Herznacher Bergwerk gemessen (s. Fig. 4).

Die geoelektrische Messapparatur (s. Fig. 3), bestehend aus einem Primärstromkreis zur Erzeugung eines elektrischen Feldes im Boden und einem Sekundärstromkreis zum abgreifen desselben, wurde mit einer Wenner-Lee Elektrodenanordnung mit Grundabstand a eingesetzt.

Die Auswertung der Messresultate ergab nicht das erhoffte Ergebnis, da anstatt der Gesamtmächtigkeit des Flözes nur eine Teilschicht von 34 cm Mächtigkeit bei E1 und von 1.88 m bei E2 nachgewiesen werden konnte, Mächtigkeiten welche in grösseren Tiefen kaum noch festgestellt werden können, vor allem weil die spezifischen Widerstände (s. Tab. 2) sich offenbar nicht besonders stark von den übrigen Schichten unterscheiden.

Tabelle 2: Ergebnisse aus den Feldmessungen

Profil	$\rho 1 : \rho 2 : \rho 3$	$d1 : d2 : d3$	$\rho 1$ (Ω m)	$\rho 2$ (Ω m)	$\rho 3$ (Ω m)	d1 (m)	d2 (m)	d3 (m)
E1	10 : 3 : 5	5 : 10 : ∞	120	36	60	0.17	0.34	∞
E2	10 : 9 : 20	1 : 4 : ∞	53.5	48	107	0.47	1.88	∞

Wie lässt sich dieses Resultat erklären? – Offenbar ist das Gestein bezüglich elektrischer Leitfähigkeit nicht homogen. Chemische Analysen, welche im Hinblick auf den Abbau des Erzlagers gemacht worden sind, haben ergeben, dass die Ooide viel grössere Erzkonzentrationen aufweisen als die Grundmasse. Folgende Zahlen, die ich von Fehlmann und Rickenbach übernommen habe, sollen dies verdeutlichen:

Fe Gehalt des Roherzes		Zusammensetzung der Ooiden			
		Fe %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %
a)	30.62	50.28	4.48	6.06	1.78
b)	?	50.04	4.85	6.30	1.65

Fe Gehalt des Roherzes		Zusammensetzung der Grundmasse			
		Fe %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %
a)	30.62	10.00	19.39	5.68	30.37
b)	?	7.58	51.44	12.15	12.94

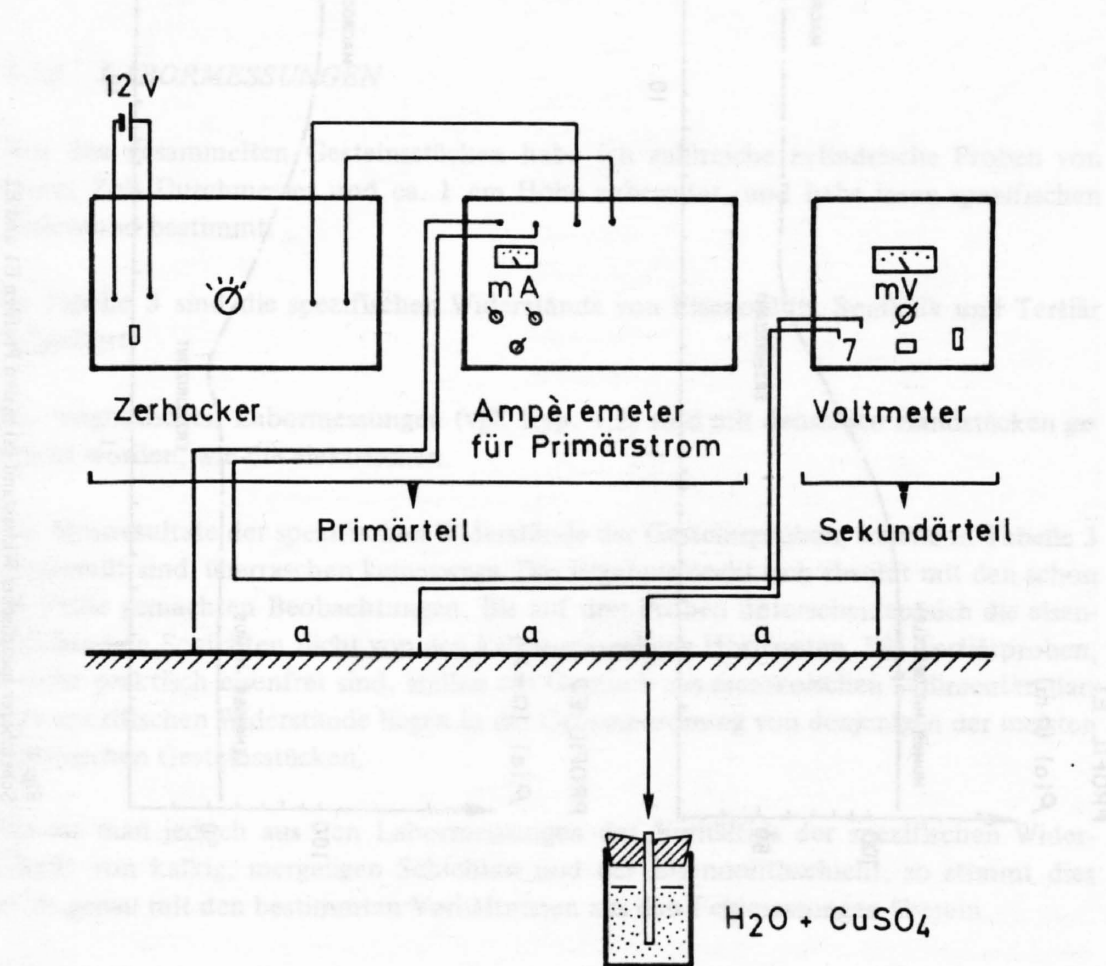


Fig. 3
Messapparat für die Geoelektrik

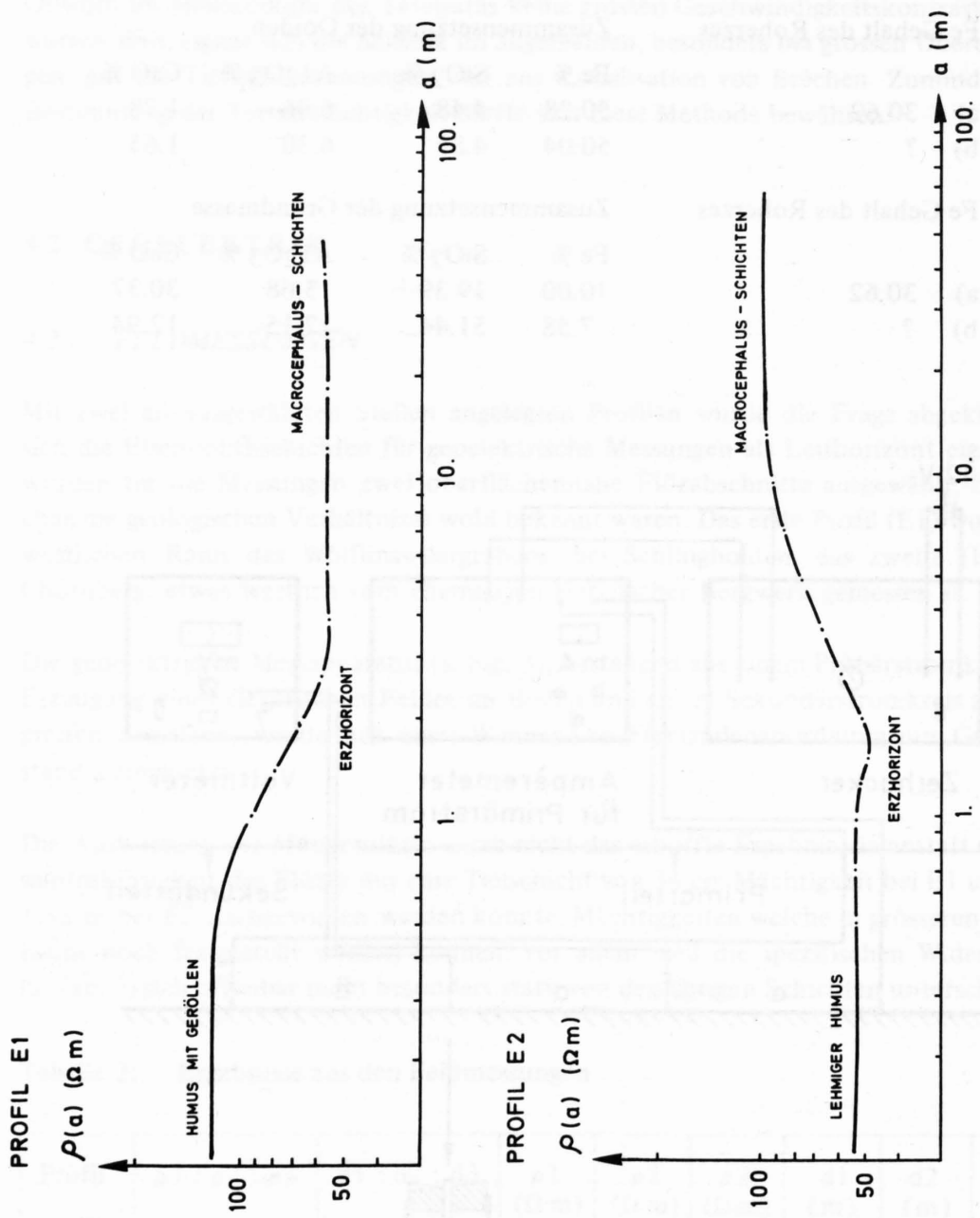


Fig. 4
Scheinbarer spezifischer Widerstand (ρ) in den Profilen E1 und E2.

Probe a) stammt aus den eisenoolithischen Kalken im oberen Teil, Probe b) aus den oolithischen Mergeln im unteren Teil des Herznacher Flözes.

Aus diesen Analysen, zusammen mit den geoelektrischen Profilen, kann folgender Schluss gezogen werden:

Die Ooide haben zueinander keinen Kontakt, ausgenommen in einer Schicht von wenigen cm, und deshalb wird die Leitfähigkeit im Wesentlichen von den Eigenschaften der eisenarmen, somit schlecht leitenden Grundmasse beeinflusst.

Unter diesen Voraussetzungen erweist sich die Geoelektrik nicht als die richtige Prospektionsmethode in diesem Gebiet.

Zur Kontrolle habe ich an verschiedenen Stellen des Erzlagers Handstücke gesammelt, um den spezifischen Widerstand im Labor zu bestimmen. Gleichzeitig habe ich auch Proben aus dem Spatkalk und aus der Juranagelfluh untersucht.

4.2.2 LABORMESSUNGEN

Aus den gesammelten Gesteinsstücken habe ich zahlreiche zylindrische Proben von einem Zoll Durchmesser und ca. 1 cm Höhe zubereitet, und habe ihren spezifischen Widerstand bestimmt.

In Tabelle 3 sind die spezifischen Widerstände von Eisenoolith, Spatkalk und Tertiär aufgeführt.

Die magnetischen Labormessungen (vgl. Kap. 4.2) sind mit denselben Handstücken gemacht worden, wie die elektrischen.

Die Messresultate der spezifischen Widerstände der Gesteinsproben, welche in Tabelle 3 dargestellt sind, überraschen keineswegs. Das Ergebnis deckt sich absolut mit den schon im Felde gemachten Beobachtungen. Bis auf drei Proben unterscheiden sich die eisenoolithischen Schichten nicht von den kalkig-mergeligen Horizonten. Die Tertiärproben, welche praktisch eisenfrei sind, stellen ein Gemisch aus mesozoischen Sedimenten dar. Ihre spezifischen Widerstände liegen in der Grössenordnung von denjenigen der meisten oolithischen Gesteinsstücken.

Nimmt man jedoch aus den Labormessungen das Verhältnis der spezifischen Widerstände von kalkig, mergeligen Schichten und der Eisenoolithschicht, so stimmt dies recht genau mit den bestimmten Verhältnissen aus den Feldmessungen überein.

Auf Grund dieser Feststellung kann die Geoelektrik für die Untersuchung des Herznacher Erzlagers ausgeschlossen werden.

Zum Vergleich der Werte aus Feld- und Labormessungen sei bemerkt, dass die Laborproben praktisch wasserfrei waren. So bestehen gewisse Unterschiede zu Gesteinen mit natürlicher Feuchtigkeit.

Tabelle 3: Spezifischer Widerstand von Gesteinsproben aus Erzhorizont, Spatkalk und Juranagelfluh.

Probennummer	Stratigraphischer Horizont	Spez. Widerstand (Ω m)
1a	Erzhorizont	79.9
1b	Erzhorizont	30.2
1c	Erzhorizont	237.2
1d	Erzhorizont	177.5
2a	Spatkalk	23.1
2b	Spatkalk	226.4
2c	Spatkalk	164.2
3a	Spatkalk	190.3
3b	Spatkalk	176.0
4a	Spatkalk	197.8
4b	Spatkalk	271.2
5a	Erzhorizont	175.1
5b	Erzhorizont	110.0
7a	Spatkalk	357.1
7b	Spatkalk	271.2
8a	Juranagelfluh	185.1
8b	Juranagelfluh	158.7
8c	Juranagelfluh	396.2
8d	Juranagelfluh	258.2
9a	Juranagelfluh	197.8
9b	Juranagelfluh	185.1
9c	Juranagelfluh	241.9

4.3 MAGNETIK

4.3.1 BESCHREIBUNG DES MESSGERÄTS

Die magnetischen Untersuchungen im Gebiet Herznach-Wölflinswil wurden mit einem Protonen Präzessions Magnetometer durchgeführt. Dieses Gerät erlaubt es, den Betrag der Totalintensität rasch und mit grosser Genauigkeit zu messen.

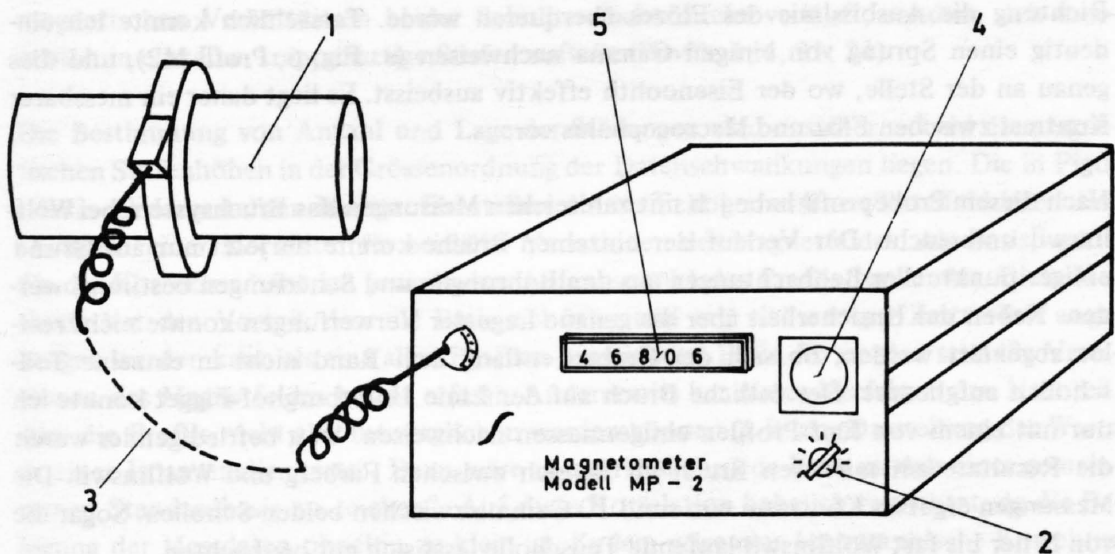


Fig. 5
Protonen Präzessions Magnetometer SCINTREX (Modell MP 2)

- Legende:
- 1) Sensor
 - 2) Messgerät mit Anzeigeteil
 - 3) Verbindungskabel
 - 4) Auslöseknopf für Messung
 - 5) Digitalanzeige für das Totalfeld in Gamma

Die gesamte Apparatur kann mit einer speziellen Tragvorrichtung mühelos von einer Person getragen werden. Eine lange Stange erlaubt es, den Sensorenteil bei Bedarf auf ca. 5 m Höhe zu tragen, um Störeffekte vom Boden (magnetisierte, metallische Gegenstände oder Gesteine) zu vermeiden. Grosse Fehlerquellen für die Messungen sind elektrische Leitungen, Wasserleitungen, Fahrzeuge etc.

4.3.2 MAGNETISCHE FELDMESSUNGEN

Zu Beginn der magnetischen Feldmessungen habe ich mit einem Probepprofil auf dem Chornberg nachgeprüft, ob ich zwischen der Erzschiebt und ihrem unmittelbaren Liegenden, den Macrocephalussschichten, einen messbaren Kontrast vorfinden würde. Auf dem Chornberg beisst das Erzlagere gegen N aus und ist wegen der Topographie, welche mehr oder weniger parallel zur Eisenoolithschicht verläuft, über eine grosse Fläche hinweg aufgeschlossen bzw. nur von einer dünnen Humusschicht bedeckt.

Falls ein Kontrast gefunden werden sollte, wollte ich zudem noch wissen, mit wie grossen Veränderungen des Magnetfeldes zu rechnen sei, wenn ich in senkrechter Richtung die Ausbisslinie des Flözes überqueren würde. Tatsächlich konnte ich eindeutig einen Sprung von einigen Gamma nachweisen (s. Fig. 6, Profil M2), und dies genau an der Stelle, wo der Eisenoolith effektiv ausbeisst. Es liegt daher ein messbarer Kontrast zwischen Flöz und Macrocephalus vor.

Nach diesem Probepprofil habe ich mit zahlreichen Messungen das Bruchsystem bei Wölflinswil untersucht. Der Verlauf der einzelnen Brüche konnte bis jetzt nur auf Grund einiger punktueller Beobachtungen aus den Bohrungen und Schürfungen bestimmt werden. Neben der Unsicherheit über die genaue Lage der Verwerfungen konnte nicht restlos abgeklärt werden, ob sich der Graben entlang dem Rand nicht in einzelne Teilschollen aufgliedere. Der östliche Bruch auf der Linie Unterburghof-Figget konnte ich nur mit einem von fünf Profilen einigermaßen nachweisen. Weit befriedigender waren die Resultate am mittleren Bruch im Bereich zwischen Fürberg und Wölflinswil. Die Messungen ergaben Kontraste von rund 10 Gamma zwischen beiden Schollen. Sogar die von N her bis fast Wölflinswil laufende Teilscholle lässt sich gut beobachten.

Südlich von Wölflinswil, vermutlich wegen zu hohen Quartär- und Tertiärmächtigkeiten, ist die Lokalisierung des Bruches nicht mehr möglich. Der östliche Grabenrand lässt sich im südlichen Abschnitt deutlich nachweisen, im nördlichen Teil jedoch nur mit grossen Schwierigkeiten. Schuld daran ist eine genau über dem Bruch verlaufende Starkstromleitung, welche die magnetischen Messungen stark stört.

Mit Hilfe von Profilen, welche ich südlich von Wölflinswil angelegt habe, konnte ich den östlichen Grabenrand bis auf die Höhe der Ortschaft Oberhof verfolgen.

Zusammenfassend geben die magnetischen Messungen, gemeinsam mit den Bohrungs- und Schürfungsergebnissen, ein gutes Bild über den Verlauf des Wölflinswilergrabens.

Nach dieser Messerie versuchte ich mit Hilfe der Magnetik den tertiären Erosionsrand des Flözes zu bestimmen. Diese Messungen führte ich in der Gegend westlich von Herznach durch, da das Flöz dort nicht stark überlagert ist, und weil dort das Mesozoikum sehr scharf vom Tertiär abgeschnitten ist. Dennoch konnte ich mit keinem Profil die Grenze des Erzlagers mit Bestimmtheit lokalisieren, da die magnetischen Kontraste im Vergleich zu den Schwankungen der Messungen offenbar zu klein waren.

4.3.3 DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER PROFILE

4.3.3.1 ALLGEMEINES

An ungestörten Messpunkten können mit dem Magnetometer die Daten mit einer Genauigkeit von rund 1 – 2 Gamma abgelesen werden. Da aber wegen Störeffekten die Daten auch grösseren Schwankungen unterworfen sind, können Anomalien bis minimal etwa 10 Gamma mit Sicherheit festgestellt werden. Schwieriger ist die Interpretation von Verwerfungen, welche von einer bestimmten Anzahl von Nebenbrüchen begleitet werden. Dies äussert sich in den Messkurven insofern, dass der Übergang zwischen den magnetischen Verhältnissen beider Schollen nicht direkt verläuft, sondern sich theoretisch in einzelne, treppenartige Stufen aufteilt (Profile 1, 4, 21, 24).

Die Bestimmung von Anzahl und Lage der Störungen wird unsicher, sobald die magnetischen Stufenhöhen in der Grössenordnung der Datenschwankungen liegen. Die in Figuren 6 – 9 dargestellten Messprofile stellen die im Feld gemessenen Totalfelddaten dar, abzüglich einer Korrektur für zeitliche Variationen des Magnetfeldes. Als Basispunkte für die Korrektur habe ich jeweils den Anfangspunkt des Profils verwendet. Diese Methode hat den Vorteil, dass die Basis viel öfter und mit viel weniger Zeitverlust angegangen werden kann als eine allen Profilen gemeinsame Basis. So werden schnelle Variationen des Magnetfeldes besser erfasst. Andererseits hat dieses Verfahren den Nachteil, dass die Profile nicht absolut verglichen werden können (z.B. zur Darstellung der Werte in einer Isoanomalienkarte). Dazu wäre es unerlässlich, jede Basis mittels einer gemeinsamen Standardbasis zu „eichen“. Auf diese Korrelation habe ich verzichtet, da die Belegung der Messdaten ohnehin zu klein ist. Zudem wäre eine topographische Korrektur der Daten unerlässlich, was aber bereits wieder eine genaue Kenntnis des Untergrundes und seiner Parameter voraussetzt.

4.3.3.2 DAS GRABENSYSTEM VON WÖFLINSWIL

Profil M1 und M3

Mit zwei Profilen wollte ich in einem gut bekannten Teil des Grabensystems feststellen, wie gut sich die Magnetik zur Lokalisierung dieser Störung eignen würde. Leider sind die Resultate von M3 wegen Effekten von elektrischen Leitungen unbrauchbar. M1 zeigt hingegen deutlich einen Sprung an derjenigen Stelle, wo die tiefergelegene Hauptscholle eine höhergelegene Zwischenscholle berührt. Ein zweiter Kontrast am anderen Ende der Teilscholle kann höchstens vermutet werden, da diese Stelle von Störungen zahlreicher elektrischer Leitungen überprägt wird.

Profil M4

Die Kurve weist deutlich zwei getrennte Sprünge auf. Es liegt daher nahe, dass die in Profil 1 registrierte Teilscholle des Grabens mindestens bis an diese Stelle reicht und hier, verglichen zur unteren Scholle, immer ein beachtlicher Höhenunterschied besteht.

Profile M11 und M12

Die Kurvenformen von M11 und M12 unterscheiden sich ganz deutlich von den übrigen. Möglicherweise liegt ein Störeffekt von einer etwa 200 m entfernten Transformerstation vor. Immerhin befinden sich der erste und der dritte Sprung genau über einer Verwerfungslinie. Dies kann allerdings reiner Zufall sein, besonders da man gemäss den geologischen Verhältnissen eher eine negative als eine positive Anomalie erwarten würde.

Profil M13

M13 lokalisiert deutlich die Zwischenscholle. Da die Tiefenverhältnisse etwa gleich sind wie in M11 und M12, die Kurvenform hingegen stark verschieden, dürften dort störende Effekte die Messungen beeinflussen.

Profile M14 und M15

M14 und M15 zeigen beide keine Kontraste zwischen beiden Schollen und dem Grabenrand. In M14 schwanken die Totalfeldwerte 46820 ± 2 Gamma über das ganze Profil hinweg, in M15 um 46824 ± 2 Gamma. Offenbar genügt hier die grosse Argovienüberdeckung, die Wirkung der eisenhaltigen Schichten zu verwischen.

Profil M17

Die Lokalisierung des Grabenrandes ist mit M17 an dieser Stelle gut möglich. Es lässt sich anhand der Kurvenform ableiten, dass die Zwischenscholle hier bereits verschwunden ist.

Profil M19

Auf der Höhe des östlichen Grabenrandes kann keine Totalfeldveränderung beobachtet werden. Der deutliche Sprung bei 150 – 200 m Distanz zum Anfangspunkt ist vermutlich bedingt durch einen Schichtwechsel im anstehenden Dogger.

Profile M21 – 24

Alle Profile zeigen deutlich die Lage des östlichen Grabenrandes. M21 und 22 lassen zudem eine schmale Zwischenscholle parallel zur Hauptverwerfung vermuten, obgleich weitere Datenpunkte wegen starken Störquellen in den Profillinien nicht mehr ermittelt werden konnten.

Profil M25

Gemäss den geologischen Untersuchungen sollte der Bruch bei etwa 65 m liegen. Tatsächlich ist die Messkurve dort ausgebuchtet, obwohl die Lokalisierung des Bruches aus dieser Messkurve heraus nicht evident ist. Die Schwierigkeit in diesem Abschnitt ist, dass die geologischen Schichten hier ausbeissen und wegen ihren Variationen magnetischer Eigenschaften und ihrer geringen Tiefe den Einfluss des Bruches auf das Totalfeld überprägen. Ähnliche Beobachtungen entlang der gesamten Verwerfung bestätigten dies. Die Inhomogenitäten in den magnetischen Eigenschaften des Untergrundes zeigen wie gefährlich es sein kann, die gemessenen Anomalien nur auf die Wirkung des Eisenooliths zurückzuführen, um eventuell aus den Totalfeldmessungen eine Tiefenbestimmung dieser Schicht zu machen.

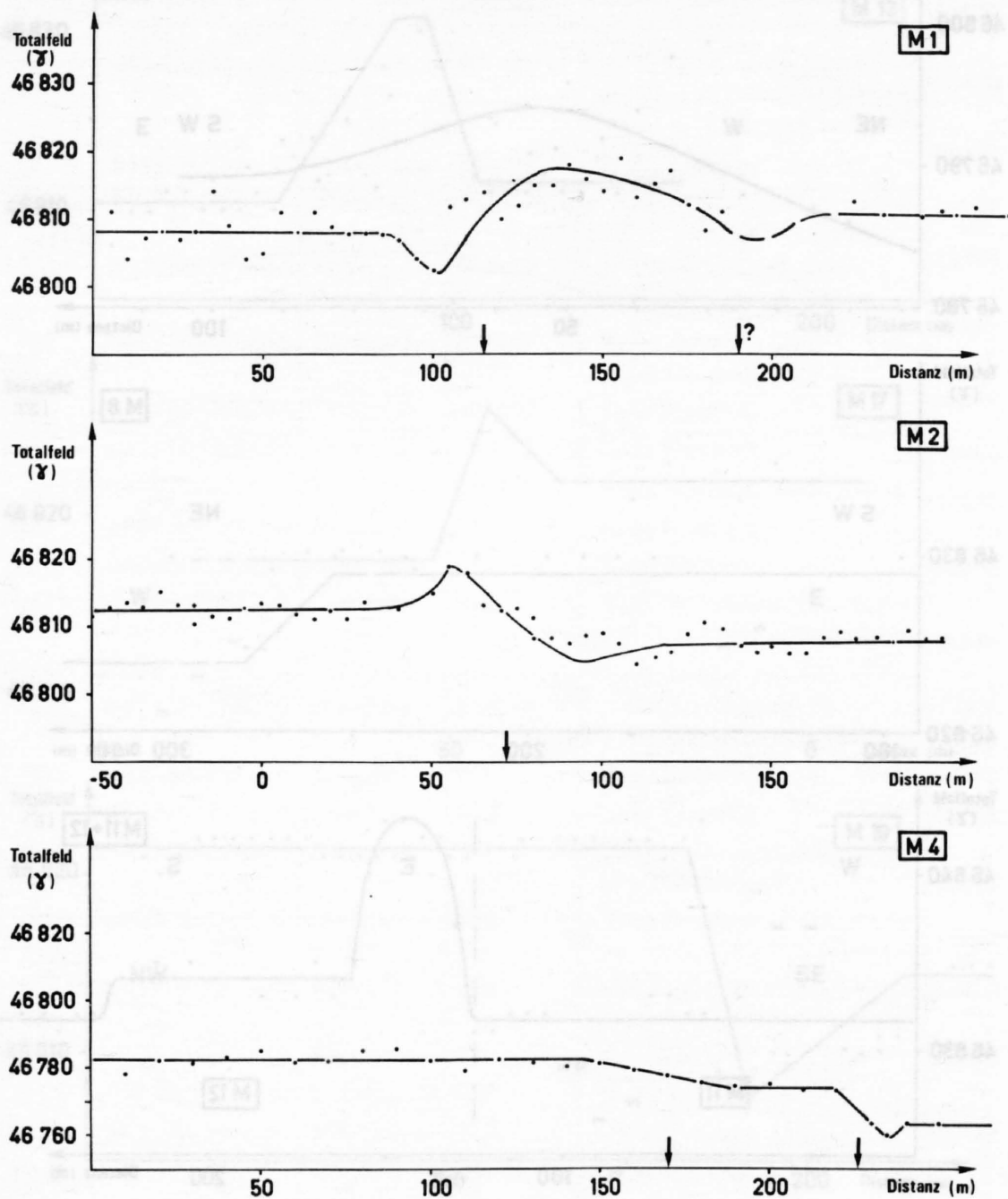


Fig. 6
Magnetikprofile

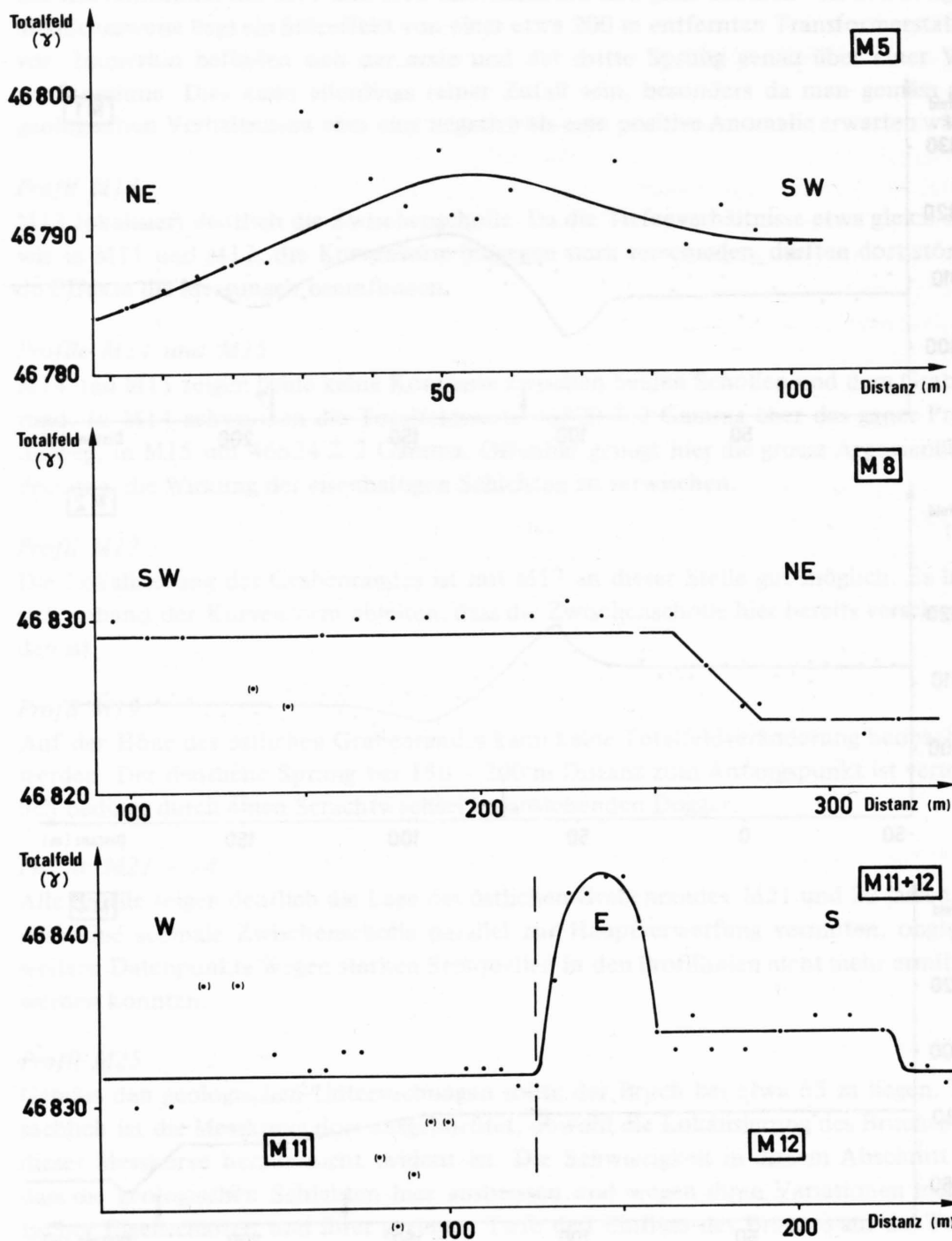


Fig. 7
Magnetikprofile

Tabelle 4: Zusammenstellung der Magnetikprofile

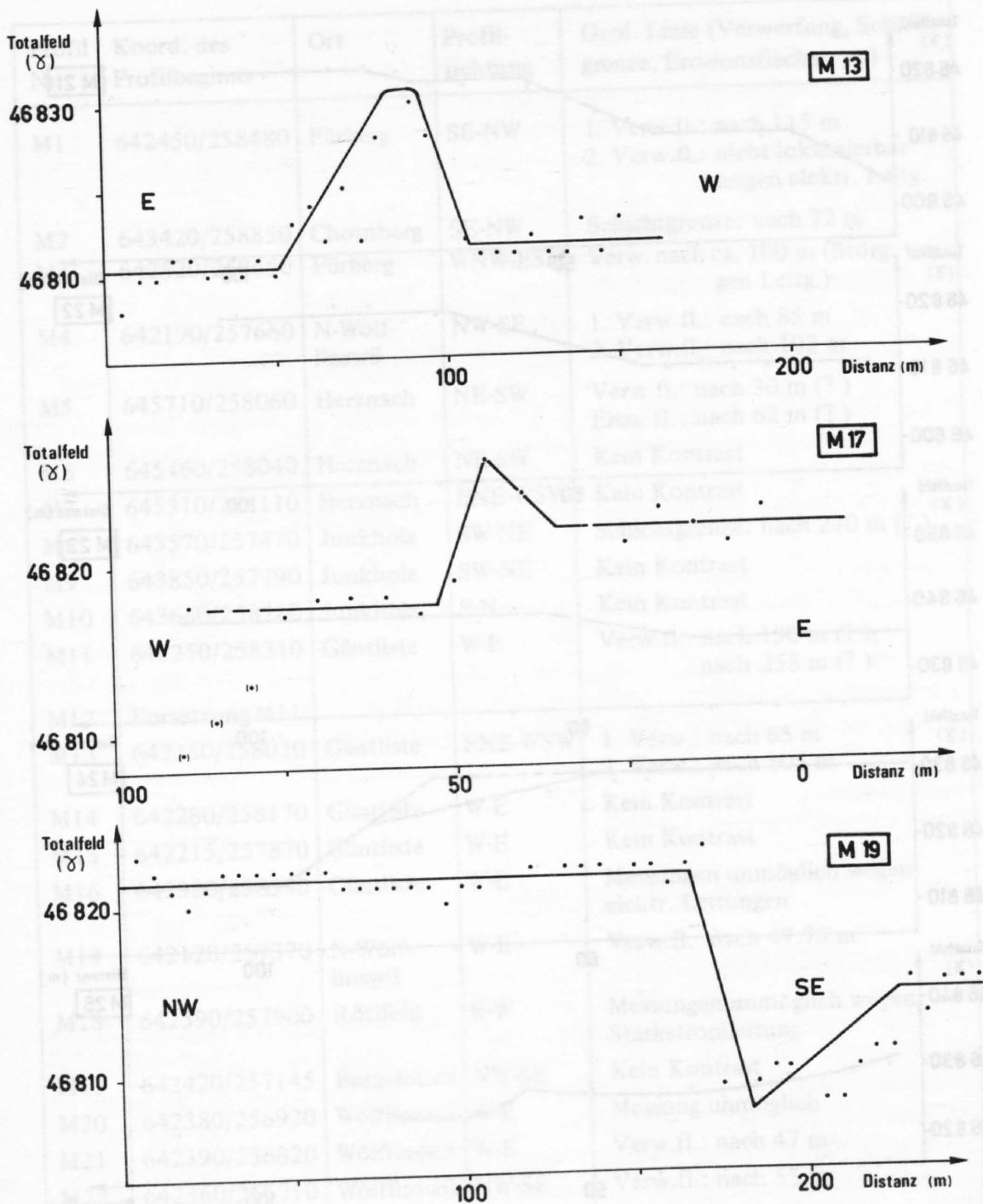


Fig. 8
Magnetikprofile

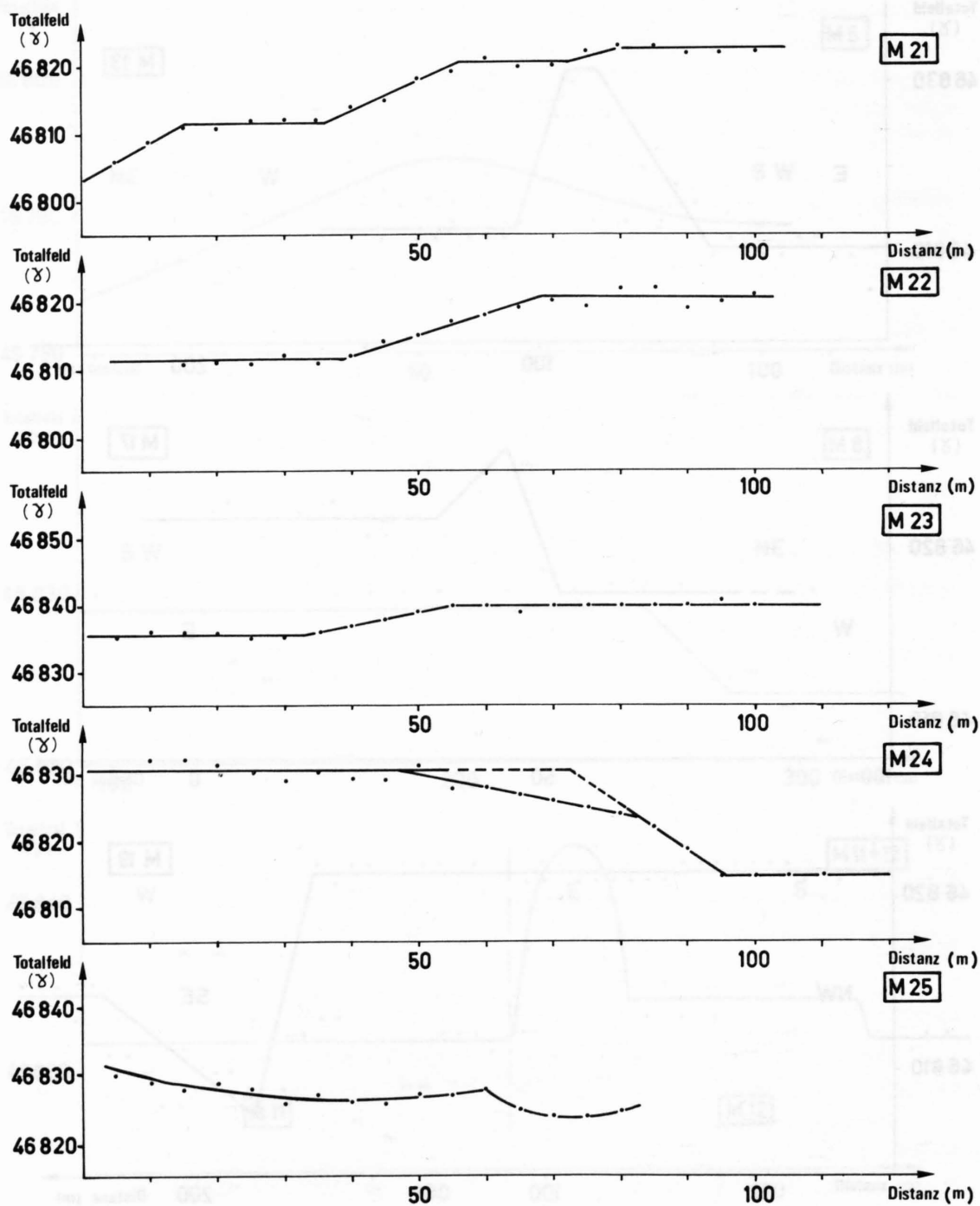


Fig. 9
Magnetikprofile

Tabelle 4: Zusammenstellung der Magnetikprofile

Profil Nr.	Koord. des Profilbeginns	Ort	Profil-richtung	Geol. Linie (Verwerfung, Schichtgrenze, Erosionsfläche . . .)
M1	642450/258480	Fürberg	SE-NW	1. Verw.fl.: nach 115 m 2. Verw.fl.: nicht lokalisierbar wegen elektr. Leitg.
M2	643420/258850	Chornberg	SE-NW	Schichtgrenze: nach 72 m
M3	642520/258650	Fürberg	WNW-ESE	Verw. nach ca. 100 m (Störg. wegen Leitg.)
M4	642190/257660	N-Wölflinswil	NW-SE	1. Verw.fl.: nach 85 m 2. Verw.fl.: nach 103 m
M5	645710/258060	Herznach	NE-SW	Verw.fl.: nach 30 m (?) Eros. fl.: nach 62 m (?)
M6	645460/258040	Herznach	NE-SW	Kein Kontrast
M7	645310/258110	Herznach	ENE-WSW	Kein Kontrast
M8	643570/257470	Junkholz	SW-NE	Schichtgrenze: nach 270 m (?)
M9	643850/257790	Junkholz	SW-NE	Kein Kontrast
M10	643660/258230	Junkholz	S-N	Kein Kontrast
M11	642250/258310	Güntliste	W-E	Verw.fl.: nach 130 m (?), nach 258 m (?)
M12	Fortsetzung M11			
M13	642350/258020	Güntliste	ENE-WSW	1. Verw.: nach 65 m 2. Verw.: nach 105 m
M14	642280/258170	Güntliste	W-E	Kein Kontrast
M15	642215/257870	Güntliste	W-E	Kein Kontrast
M16	642300/258390	Güntliste	W-E	Messungen unmöglich wegen elektr. Leitungen
M17	642120/257370	N-Wölflinswil	W-E	Verw.fl.: nach 47.75 m
M18	642590/257900	Rötifeld	E-W	Messungen unmöglich wegen Starkstromleitung
M19	642420/257145	Burgstetten	NW-SE	Kein Kontrast
M20	642380/256920	Wölflinswil	W-E	Messung unmöglich
M21	642390/256820	Wölflinswil	W-E	Verw.fl.: nach 47 m
M22	642360/256710	Wölflinswil	NW-SE	Verw.fl.: nach 55 m
M23	642330/255820	Oberhof	SE-NW	Verw.fl.: nach 45 m
M24	642410/257490	Burgstetten	NW-SE	Verw.fl.: nach 85 m
M25	641500/256470	Figget	NW-SE	Verw.fl.: nach 65 m (?)

Weitere Messungen entlang den Brüchen S-Wölflinswil ergaben keine Kontraste

4.3.3.3 DER TERTIÄRE EROSIONSRAND BEI HERZNACH

Mit Hilfe der Magnetikprofile 5 - 7 wollte ich die vom tertiären Erosionsrand abgeschnittene Südkante des Flözes nachweisen. Keines der Protokolle gab Aufschlüsse über die geologische Beschaffenheit des Untergrundes. M5 zeigt eine Auswölbung der Kurve, welche jedoch nicht von der gesuchten Struktur bewirkt worden ist. Die anderen Profile zeigten hingegen überhaupt keine Änderung im Magnetfeld über die ganze Linie hinweg.

Es schien mir aufgrund dieser Messungen nicht mehr sinnvoll, weitere magnetische Profile in dieser Gegend durchzuführen.

4.3.3.4 DIE GRUNDMORÄNENÜBERDECKUNG BEI JUNKHOLZ

In der Gegend von Junkholz, einem Waldgebiet welches im mittleren Abschnitt des Erzlagers liegt, ist der nördliche Ausbiss des Flözes durch mächtiges Riss-Grundmoränenmaterial überdeckt. Wegen der grossen Mächtigkeit konnte Bohrung 208 die Erzplatte, wie man es eigentlich erwarten könnte, nicht mehr antreffen.

Abgesehen davon, dass das Quartär das Flöz schon relativ weit südlich abschneidet, vermutete ich zu Beginn meiner Untersuchungen, dass dieses Gebiet eventuell noch durch tektonische Störungen beeinflusst sein könnte. Um die genaue Situation abzuklären, setzte ich, leider ohne Erfolg, einige Magnetikprofile an. Wegen hohen Mächtigkeiten und flachen Schnittwinkeln zwischen Quartär und Oolith waren magnetische Kontraste zu klein, um sie noch messen zu können. Auch den Messungen konnte ich entnehmen, entgegen meiner Vermutungen, dass in diesem Gebiet offenbar keine Bruchsysteme zu erwarten sind.

4.3.4 MAGNETISCHE LABORMESSUNGEN

4.3.4.1 ALLGEMEINES

Nachdem ich auf dem Gelände teilweise sehr deutliche magnetische Kontraste beobachtet habe, wollte ich mit Hilfe von Labormessungen ermitteln, wie stark der Einfluss von eisenoolithischen Horizonten auf diese Effekte sind. Als Vergleich dazu sammelte ich einige Handstücke aus der tertiären Juranagelfluh (Proben 8 - 10). Die eisenoolithischen Handstücke bezog ich einerseits aus dem Aushub des ehemaligen Bergwerkes (Proben 1, 5), andererseits aus Aufschlüssen des Spatkalks (Proben 2, 4, 6, 7 aus dem Junkholz, Probe 3 aus einem Steinbruch in der Nähe von Wölflinswil (Güntliste)).

Ausserdem standen mir zum Vergleich zahlreiche Resultate aus Labormessungen an Gesteinen aus dem Inneren des Bergwerkes zur Verfügung. Diese Untersuchungen wurden vor einigen Jahren von HELLER (1966) am Institut für Geophysik der ETH durchgeführt.

Tabelle 5: Suszeptibilitätsbestimmungen ($H_{\text{ext}} = 1,03$ Oersted)

Probe	$(M_i + M_r) \cdot 10^{-3}$ (Gauss · cm ³)	$(M_i - M_r) \cdot 10^{-3}$ (Gauss · cm ³)	$M_i \cdot 10^{-3}$ (Gauss · cm ³)	Vol (cm ³)	Suszeptibilität $\chi \cdot 10^6$ (CGS)
1a	0.4204	0.2654	0.3429	10.31	32.3
1b	0.4182	0.1955	0.3068	10.46	28.4
2a	0.3636	0.3268	0.3452	10.31	32.5
2b	0.3102	0.2862	0.2982	10.31	27.2
3a	0.2356	0.2022	0.2189	10.07	21.1
3b	0.3550	0.2037	0.2799	10.31	26.3
4a	0.5795	0.1189	0.3487	10.41	32.5
4b	0.5899	0.1141	0.3520	10.46	32.5
5a	0.5114	0.4826	0.4970	10.11	47.8
5b	0.5971	0.0006	0.5965	10.36	55.9
7a	0.3125	0.0932	0.2028	10.56	18.6
7b	0.3123	0.1167	0.2145	10.36	20.1
8a	0.0333	0.0296	0.0315	10.80	2.8
8b	0.0315	0.0123	0.0192	10.80	1.7
8c	0.0079	0.0044	0.0061	10.80	0.1
9a	1.7823	1.3270	1.5546	10.80	139.7
9b	1.4150	1.1298	1.2474	10.90	111.1

4.3.4.2 MESSRESULTATE

Die eisenoolithischen Proben aus Spatkalk und Oxfordien zeigen wesentlich höhere χ -Werte als andere Eisenoolithe in Mitteleuropa (ca. $23 \cdot 10^{-6}$), wobei diejenigen des Oxfordien, im Vergleich zum Spatkalk, etwas höher sind.

Die tertiären Gesteinsproben 8a, 8b und 8c haben tiefere Werte, d.h. dass sich das Tertiär offenbar stark von den eisenoolithischen Schichten des Doggers abhebt. Die Suszeptibilitäten von Proben 9a und 9b sind wesentlich höher als alle anderen und liegen weit über dem Bereich, den Sedimentgesteine in der Regel haben. Allerdings haben Beobachtungen an Sedimenten erwiesen, dass sich in kleinen Klüftungen oft Eisenmineralien anreichern und demzufolge stark erhöhte, scheinbare Suszeptibilitäten der gesamten Probe bewirkten. Im Falle der Probe 9a und 9b sind tatsächlich solche Klüfte erkennbar, zudem können Einsprenglinge eisenhaltiger Mineralien von etwa 0.3 mm Durchmesser von bloßem Auge gesehen werden.

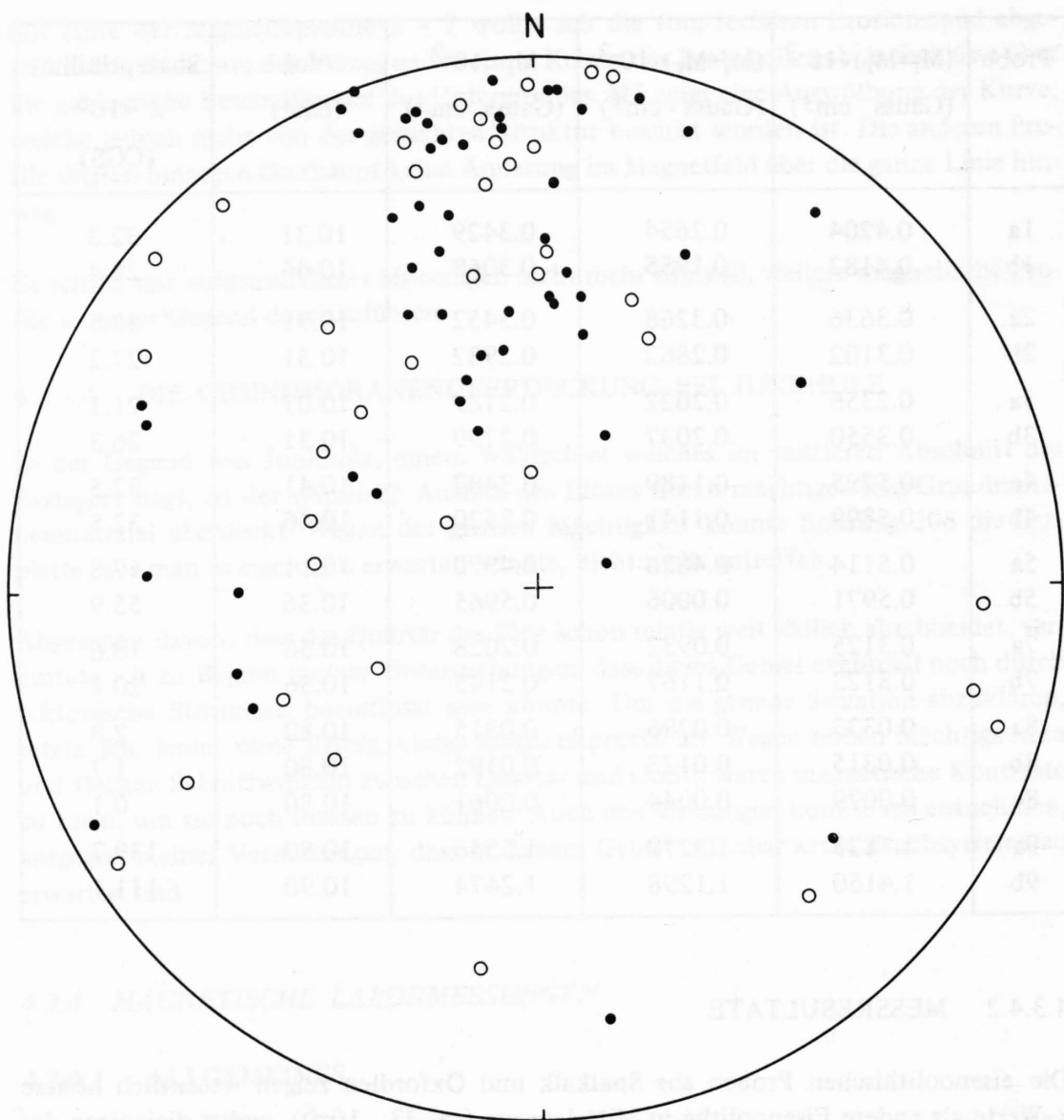


Fig. 10:
Richtungen der remanenten Magnetisierungen von Proben aus dem Bergwerk Herznach.

- o = Obere Halbkugel
- = Untere Halbkugel

In den sechzigerjahren sind von Heller, am Institut für Geophysik, zahlreiche Proben aus dem Herznacher Bergwerk untersucht worden. In Labormessungen konnte gezeigt werden, dass die remanente Magnetisierung in ihrer Richtung, innerhalb des Erz-lagers stark streut, allerdings mit einem diffusen Schwerpunkt gegen Norden. Daraus lässt sich ableiten, dass die Ooide vor der Diagenese des Gesamtgesteins magnetisiert worden, und später teilweise umgelagert worden sind. Ferner kann angenommen werden, dass eine magnetische Anomalie, welche vom Flöz bewirkt wird, in ihrer Richtung mehr oder weniger parallel zum heutigen Erdmagnetfeld liegt, da sowohl die induzierte, als auch die resultierende Wirkung der remanenten Magnetisierung diese Richtung annehmen.

4.3.4.3 BESTIMMUNG DES Q-FAKTORS VON MAGNETIKPROBEN

Zur Untersuchung der Ursache einer magnetischen Anomalie, ist es oft sehr wichtig, abzuklären, wie gross die Wirkung der induzierten Magnetisierung ist, welche abhängig vom Momentanfeld, z.B. Erdmagnetfeld, verglichen mit der Wirkung der remanenten Magnetisierung, abhängig von der Vorgeschichte des Gesteins. Dieser Unterschied kann mit dem Q-Faktor, dem Verhältnis zwischen I_{rem} und I_{ind} angegeben werden.

$$Q = \frac{I_{rem}}{I_{ind}} = \frac{I_{rem}}{\chi \cdot H_{ext}}$$

In Tabelle 6 habe ich für meine gesammelten Gesteinsproben den Q-Faktor bestimmt (Erdmagnetfeld = 0,46 Oersted). Die Messwerte zeigen, dass in den meisten Fällen die beiden Effekte in der Grössenordnung etwa gleich sind. Als Faustregel gilt, dass die Remanenz bei kleinerem Q als 0,1, die Induktion bei grösserem Q als 10 vernachlässigt werden kann. Im Bereich zwischen den Extremwerten hängt die stärkere Magnetisierung wesentlich von Betrag und Richtung ihrer beiden Komponenten ab.

Da in den Herznacher Proben beide Anteile in ihrer Richtung übereinstimmen, überlagern sich somit beide Effekte, und deshalb wird auf dem Feld eine optimale Anomalie erreicht.

Wären die Anteile der Magnetisierung in ihrer Richtung entgegengesetzt, so würden sich ihre Wirkungen gegenseitig aufheben, sodass trotz ihrem Eisengehalt kein Kontrast zu nicht magnetischen Schichten gefunden werden könnte.

Tabelle 6: Bestimmung des Q-Wertes

I_{ind*} $= \chi \cdot 0,46 \text{ Oe}$ $(\cdot 10^{-6} \text{ Oe})$		$M_{rem, Labor} \cdot 10^{-3}$ (Gauss $\cdot \text{cm}^3$)	$I_{rem, Labor} \cdot 10^{-6}$ (Gauss)	$Q = \frac{I_{rem}}{I_{ind*}}$
1a	14,9	0,0775	7,52	0,50
1b	13,0	0,1114	10,60	0,82
2a	15,0	0,0184	1,79	0,12
2b	12,5	0,0120	1,16	0,09
3a	9,7	0,0167	16,60	1,17
3b	12,1	0,0751	7,28	0,60
4a	15,0	0,4606	44,20	2,95
4b	15,0	0,4758	45,50	3,03
5a	22,0	0,0288	2,85	1,13
5b	25,7	0,5965	57,60	2,24
7a	8,6	0,2193	20,80	2,42
7b	9,3	0,1956	18,90	2,03
8a	1,3	0,0037	0,34	0,26
8b	0,8	0,0192	1,78	2,23
8c	0,5	0,0035	0,32	0,64
9a	64,3	0,4553	42,20	0,66
9b	51,1	0,2852	26,20	0,51

4.4 SEISMIK

4.4.1 EINLEITUNG

Für meine seismischen Untersuchungen musste ich in den häufigsten Fällen Tiefen von 30 – 110 m erfassen können, sodass ich für die Untersuchungen praktisch ausschliesslich Sprengseismik betrieb. Für die Registrierung meiner Sprengungen stand mir eine 24-Kanal Messapparatur zur Verfügung, welche in Fig. 11 schematisch dargestellt ist.

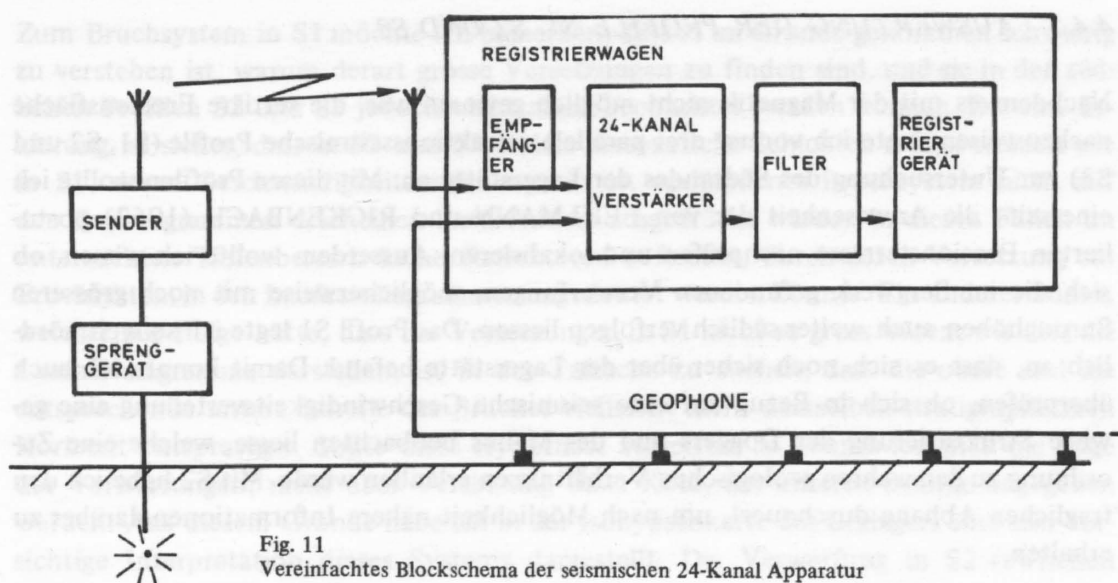


Fig. 11
Vereinfachtes Blockschema der seismischen 24-Kanal Apparatur

In zwei Seismikprofilen (S15 und S16), in denen ich die relativ geringe Mächtigkeit einer Grundmoräne nachweisen wollte, wählte ich als Untersuchungsmethode die Hammerschlagseismik, welche für derartige Problemstellungen viel weniger aufwendig ist. Die Messanordnung ist in Fig. 12 dargestellt. Es wurde ein BISON Signal Enhancement Seismograph Modell 1570 B benutzt.

In allen Profilen konnte ich aus technischen Gründen nur Ersteinsatzseismik, d.h. Refraktionsseismik betreiben, obwohl in diesem Gebiet ohne Zweifel Reflexionsseismik besser geeignet gewesen wäre; sie wäre allerdings mit viel grösserem Aufwand verbunden.

Die Auswertung refraktionsseismischer Messungen ist in der Literatur ausführlich beschrieben, sodass ich hier nicht näher darauf eingehen will. In meiner Arbeit stützte ich mich in erster Linie auf die Werke von DOBRIN (1960) und RYBACH (1962).

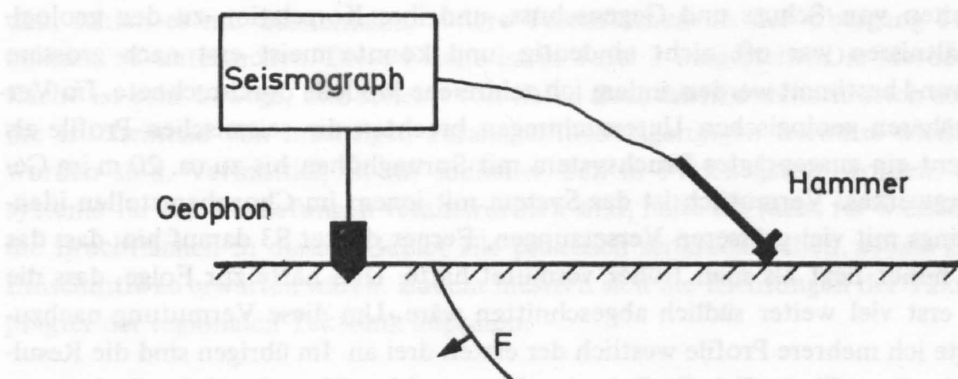


Fig. 12
Hammerschlagseismik, Schema der Messanordnung, F = Wellenfront

4.4.2 AUSWERTUNG DER PROFILE S1, S2 UND S3

Nachdem es mit der Magnetik nicht möglich gewesen war, die tertiäre Erosionsfläche nachzuweisen, legte ich vorerst drei parallele refraktionsseismische Profile (S1, S2 und S3) zur Untersuchung des Südrandes der Lagerstätte an. Mit diesen Profilen wollte ich einerseits die Anwesenheit der von FEHLMANN und RICKENBACH (1962) postulierten Erosionsterrasse nachprüfen und lokalisieren. Ausserdem wollte ich wissen, ob sich die im Bergwerk gefundenen Verwerfungen, möglicherweise mit noch grösseren Sprunghöhen auch weiter südlich verfolgen liessen. Das Profil S1 legte ich so weit nördlich an, dass es sich noch sicher über der Lagerstätte befand. Damit konnte ich auch überprüfen, ob sich in Bezug auf eine seismische Geschwindigkeitsverteilung eine gewisse Strukturierung des Doggers und des Malms beobachten liesse, welche eine Zuordnung zu den wahren geologischen Verhältnissen erlauben würde. Mit S2 habe ich den fraglichen Abhang durchquert, um nach Möglichkeit nähere Informationen darüber zu erhalten.

S3 legte ich soweit südlich, sodass es sich mit grosser Sicherheit ausserhalb des Erzlagers befand. Alle drei Profile waren 1.2 – 1.5 km lang und bestanden aus Schuss, Gegenschuss und Mittelschuss. Die Sprengladungen entsprachen 600 – 1200 Gramm TNT. Die Profilsuren sind in den Tafeln 2 und 3 dargestellt. Um die Interpretation der Laufzeitkurven zu erleichtern, habe ich die Schusspunkte unter Berücksichtigung der topographischen und der landwirtschaftlichen Verhältnisse möglichst nahe an die Bohrungen gelegt. Aus Bohrresultaten habe ich als Vorlage für meine Auswertung, die geologischen Verhältnisse unter meinen Geophonauslagen konstruiert. Auf diese Weise konnte ich die einzelnen Geschwindigkeiten auf den Laufzeitdiagrammen, den wahren Schichten zuordnen.

Zur Auswertung der Laufzeitkurven ist vor allem zu bemerken, dass die Geschwindigkeitskontraste innerhalb der tertiären und mesozoischen Horizonte nicht sehr gross sind. Am besten lässt sich die Tertiärunterseite erkennen. Die Zuordnung von Geschwindigkeiten von Schuss und Gegenschuss, und ihre Korrelation zu den geologischen Verhältnissen war oft nicht eindeutig, und konnte meist erst nach grossem Rechenaufwand bestimmt werden, indem ich zahlreiche Modelle durchrechnete. Im Vergleich zu früheren geologischen Untersuchungen brachten die seismischen Profile als neues Element ein ausgeprägtes Bruchsystem mit Sprunghöhen bis zu ca. 20 m im Gebiet des Bergwerkes. Vermutlich ist das System mit jenem im Chornbergstollen identisch, allerdings mit viel grösseren Versetzungen. Ferner deutet S3 darauf hin, dass das Tertiär viel höher liegt als man früher vermutet hatte. Dies hätte zur Folge, dass die Lagerstätte erst viel weiter südlich abgeschnitten wäre. Um diese Vermutung nachzuprüfen, setzte ich mehrere Profile westlich der ersten drei an. Im übrigen sind die Resultate aller Seismikprofile in Tabelle 7, in den Figuren 15 – 23 und auf den Isohypsenkarten in den Tafeln 2 und 3 dargestellt.

Zum Bruchsystem in S1 möchte ich bemerken, dass es im Grunde genommen schwierig zu verstehen ist, warum derart grosse Versetzungen zu finden sind, und sie in den südlichen Profilen S2 und S3 jedoch nicht mehr beobachtet werden können. Die eine Erklärung ist sicher, dass in S2 und S3 andere mesozoische Schichten erfasst werden wie in S1, deren Geschwindigkeitsverteilung ein ev. vorhandenes Bruchsystem nicht auf den Seismogrammen erscheinen lässt. Anders ausgedrückt würden in diesen Fällen im untersuchten Tiefenbereich keine Reflektoren auftreten, durch deren Versetzung ein Bruchsystem in den Laufzeitdiagrammen angedeutet werden könnte. Ein anderer Punkt, welcher zur Folge hätte, dass die Versetzungen in S1 nicht so gross wären, wie dies die Laufzeitdiagramme darstellen, ist in der Tatsache zu suchen, dass die obere und die entsprechende untere Scholle des Bruches vielleicht nicht demselben stratigraphischen Horizont entsprechen. Sollte diese Hypothese zutreffen, so könnte lediglich die Lage der Verwerfungen, nicht aber Versetzung bzw. Kote, der unteren Scholle angegeben werden. Aus diesem Grunde habe ich in der Isohypsenkarte des Erzlagers eine sehr vorsichtige Interpretation dieses Systems dargestellt. Die Verwerfung in S2 (zwischen Schuss M und Schuss E) für welche ich eine Versetzung von rund 10 m angegeben habe, lässt sich im Laufzeitabschnitt, welcher dem Tertiär entspricht, feststellen, obwohl die tertiären Horizonte nicht von der tektonischen Aktivität des Rheintalgrabens beeinflusst sind. Es könnte jedoch sein, dass sich die tertiären Sedimente auf einer von der Tektonik beeinflussten Oberfläche des Mesozoikums abgelagert haben, und dass sie sich somit in ihrer Lagerung jener ursprünglichen Morphologie angepasst haben. Die andere Möglichkeit besteht darin, dass eine solche Verwerfung gar nicht existiert, und dass die Versetzung des Laufzeitastes beispielsweise von einer auskeilenden Linse höherer seismischen Geschwindigkeit innerhalb des Tertiärs bewirkt wird.

4.4.3 PROFILE S4 UND S7 - S14

Ich legte die Profile S4 und S7 - 14 in den mittleren Abschnitt des Erzlagers, möglichst gut über die Gegend hinweg verteilt, wo sich Tertiärunterseite und Eisenoolith schneiden könnten. Da mir wenig Referenzbohrungen aus diesem Gebiet zur Verfügung standen, schien es mir aussichtslos, andere Trennflächen als der Übergang Tertiär Mesozoikum zu untersuchen. Diese Fläche ist in Tafel 3 dargestellt. Die Mesozoikumoberfläche ist sehr bewegt, und scheint von tiefen Bachtälern durchschnitten zu sein, Täler, die anscheinend von mächtigen Juranagelfluhablagerungen teilweise wieder aufgefüllt worden sind. Vermutlich ist ihr südlicher Teil in Falten gelegt worden. Dass Bruchsysteme für die Vertiefungen verantwortlich sind, halte ich nicht für wahrscheinlich, da die Bruchflächen in diesem Gebiet alle praktisch senkrecht fallen, sodass viel schärfere Einschnitte zu erwarten wären. Zudem müssten sich die Richtungen der Täler viel ausgeprägter der regionalen Tektonik anpassen.

Wie auch die Tertiärunterseite entstanden sein mag, die seismischen Untersuchungen haben deutlich gezeigt, dass der mittlere Teil der Erosionsfläche nicht in der direkten

Fortsetzung der am Rande des Erzlagers befindlichen Steilhänge liegt, sondern dass er sich weit gegen Süden ausbuchtet.

Dieses Ergebnis stellt ein völlig neues Element in der Untersuchung der Herznacher Eisen-Lagerstätte dar. Der überdeckte Ausbiss des Flözes ist vorderhand nur approximativ bestimmbar, da der Verlauf gegen Süden nicht bekannt ist. Zur Konstruktion der Isohypsenkarte habe ich die Höhenlinien des Lagers in der Annahme konstruiert, dass die Fläche entsprechend ihrem nördlichen Teil gleichmässig nach Süden abtaucht, ohne Beeinflussung einer Falte. Wegen der relativ grossen Steilheit des Tertiärs im Süden dürften kleinere Abweichungen dieses Modells auf die Ausdehnung des Flözes keine wesentliche Veränderung bewirken. Sollte es sich jedoch erweisen, dass der südliche Abhang des Tertiärs, welchen ich in den Profilen S11 und S14 festgestellt habe, bereits durch Faltung entstanden ist, so müssten die mesozoischen Horizonte mitgefaltet worden sein. Dies hätte zur Folge, dass das Flöz noch weiter südlich anzutreffen wäre. Gegen diese Tatsache sprechen allerdings die Aufschlüsse im westlichen Teil der Urgizfalte, wo das Tertiär direkt auf dem Spatkalk aufliegt. Zwischen Urgiz-, Emmatfalte und der Ortschaft Oberhof treten vermutlich entlang der Stirn des Kettenjuras, teilweise unter mächtigen Quartärablagerungen, mehrere tektonische Störungen auf. Sie sind möglicherweise für den Verlauf des südlichen Randes des Erzhorizontes von Bedeutung. FEHLMANN und RICKENBACH (1962) nahmen an, dass die Faltungen im Tafeljura gegen Westen abflachen würden, sodass im mittleren bis westlichen Teil des Flözes die Überschiebungsstirn bei ihrem Vorschub gegen Norden die darunterliegenden Sedimente nur unbedeutend beeinflusst hätte. Dieses Gebiet wurde gemäss der geologischen Karte von AMSLER (1915) von Gehängeschutt im Osten und von Bergsturzmaterial im Westen stark überdeckt.

Der Gehängeschutt des Faltenjuras ist in einer deltaartigen Anhäufung abgelagert. Seine Oberfläche unterscheidet sich von der übrigen Morphologie dadurch, dass sie durch Verursachungen bedingte Beulen aufweist. Die Abgrenzungen dieser Ablagerung lassen sich deutlich erkennen, da die von Schichtausbissen verursachten Geländekanten im ungestörten Gebiet von ihr verwischt werden.

Der östlich davon gelegene Bergsturz scheint mir sehr problematisch zu sein, da einerseits prägnante Terrainkanten das ganze Gebiet durchschneiden, andererseits ist die Topographie durch derart steile Abhänge gekennzeichnet, wie sie praktisch nur von zusammenhängenden Felsen, nicht aber durch lockeres Bergsturzmaterial herrühren können. Die an der Oberfläche liegenden Gesteine sind über das ganze Gebiet hinweg sehr einheitlich, und scheinen dem Argovien anzugehören. Stellenweise wird die markante Oberfläche von Grundmoränenmaterial und sehr uneinheitlichem Schutt aus dem Faltenjura überdeckt.

Die Beobachtungen in diesem Gebiet scheinen praktisch durchwegs die Existenz eines Bergsturzes zu widerlegen. Zudem ist dieser Ablagerungstyp in diesem Ausmass eher in alpinen als in jurassischen Gebieten anzutreffen. Meiner Ansicht nach handelt es sich

bei diesen grossen Argovienansammlungen um eine Überschiebung des Tafeljuras als Folge der vordringenden Überschiebungstirn im Süden, und kann in direktem Zusammenhang mit der Urgiz und Emmatfalte gebracht werden. Höchst wahrscheinlich wurde das Argovien bei seinem Vorschub in mehrere Teilschollen zerbrochen. Ob unterhalb dieser Malm-sedimente noch Material aus dem oberen Dogger, darunter der Eisenoolith, vorkommen, konnte ich nicht abklären. Ein einheimischer Bauer berichtete mir, dass er am Fusse meiner vermuteten Überschiebungsscholle beim Pflügen seiner Felder oft auf anstehenden Eisenoolithfels gestossen sei. Diese Beobachtung ist möglicherweise ein Indiz, muss aber mit grösster Skepsis zur Kenntnis genommen werden, da ausser kleinen oolithischen Bruchstücken, welche ebensogut von anderswoher stammen können, keine grösseren Felsbrocken, geschweige denn anstehender Fels, an der Oberfläche sichtbar sind. Ich habe die geologischen Verhältnisse dieses Abschnitts B (Tafel 4) dargestellt, wobei es sich hier um meine persönliche Interpretation handelt.

Im Falle einer Wiederaufnahme des Bergbaubetriebs müssten die refraktionsseismischen Untersuchungsergebnisse unbedingt nachgeprüft werden, da diese Methode unter komplizierten geologischen Verhältnissen mit einigen Unsicherheiten verbunden ist. Eine nahe-liegende, aber zeitlich und finanziell aufwendige Methode wäre, den neuentdeckten Bereich des Lagers mit Bohrungen nachzuprüfen, und zwar besonders der südliche und der östliche Teil.

Diese Untersuchungen würden neben dem direkten Nachweis der Stratigraphie zudem erlauben, die seismischen Profile neu und dementsprechend besser den lokalen Ver-hältnissen angepasst, mit der Geologie zu korrelieren. Eine wichtige Aufgabe von Son-dierungen ist aber auch, Angaben über Mächtigkeit und Zusammensetzung des Flözes zu beschaffen, Angaben, die von der Refraktionsseismik nicht geliefert werden können, die aber für die Beurteilung der Abbauwürdigkeit einer Lagerstätte von grösster Be-deutung sind. Es ist durchaus möglich, dass die Mächtigkeit des Flözes gegen Süden plötzlich stark abnimmt, wie dies weiter östlich in der Urgizfalte zu erkennen ist.

Eine weitere Möglichkeit, bessere Informationen über das Flöz zu erhalten, im Sinne einer Ergänzung zu den Bohrungen, wird in Kapitel 4.4.4 erwähnt. Man kann seit eini-gen Jahren Erzlagerstätten des Minette Typs, unter ähnlichen stratigraphischen Verhält-nissen wie in Herznach, mit Hilfe seismischer Verfahren auch direkt nachweisen.

4.4.4 SEISMIK IM SEDIMENTÄREN EISENERZBERGBAU

In den letzten Jahrzehnten wurden in der reflexionsseismischen Prospektion in Sedi-mentserien grosse Fortschritte gemacht. Dies ist vor allem durch die Entwicklung von Messapparaturen und Datenverarbeitung bedingt. Zahlreiche Untersuchungen in den mesozoischen Sedimenten Deutschlands haben gezeigt, dass sedimentäre Erzlagerstätten auch relativ geringer Mächtigkeit auf Seismogrammen identifiziert werden können. Bei den untersuchten Erzvorkommen handelte es sich um Minette Typen und um Eisen-

trümmerlagerstätten. Sie liegen teilweise in Tiefen weit unterhalb der heutigen Abbauwürdigkeitsgrenze. Beispiele solcher Untersuchungen sind bei BENTZ (1961) p. 673 ff zu finden.

Diese Prospektionsmethoden sind sehr aufwendig und können nicht mehr im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt werden.

4.4.5 PROFILE S6, S15 UND S16

Der nördliche Ausbiss des Herznacher Erzlagern ist mancherorts von quartärem Material aus der Risseiszeit überdeckt. Besonders grosse Grundmoränenablagerungen konnten in Bohrungen bei Junkholz nachgewiesen werden. Daraus folgte man, dass das Flöz weniger weit nach Norden vordringt als man eigentlich annehmen könnte. Dennoch war es aufgrund dieser wenigen Daten nicht möglich, den genauen Verlauf dieser Abgrenzung anzugeben. Zur Ergänzung dieser Angaben habe ich zwei hammerschlagseismische (S15 + 16) und ein sprengseismisches Profil (S6) in dieser Gegend angelegt. Die Quartärunterlage scheint unmittelbar nördlich des Flözausbisses von Osten her tief ausgebuchtet zu sein. Die Quartärmächtigkeiten und der daraus resultierende, überdeckte Rand der Lagerstätte sind in Tafel 2 kartiert.

4.4.6 ALLGEMEINE BEMERKUNGEN ZU DEN SEISMIKPROFILIEN

Die Zuordnung der seismischen Geschwindigkeiten zu den geologischen Schichten war in extremen Fällen nicht einfach, was mich meist bewogen hat, das Mesozoikum als einheitliches Schichtpaket zu betrachten, obwohl die Kenntnis seines inneren Aufbaus durchaus wünschenswert gewesen wäre. Als Bilanz aller seismischen Messungen möchte ich die Beziehung von Schichten und Geschwindigkeiten in zwei Figuren darstellen.

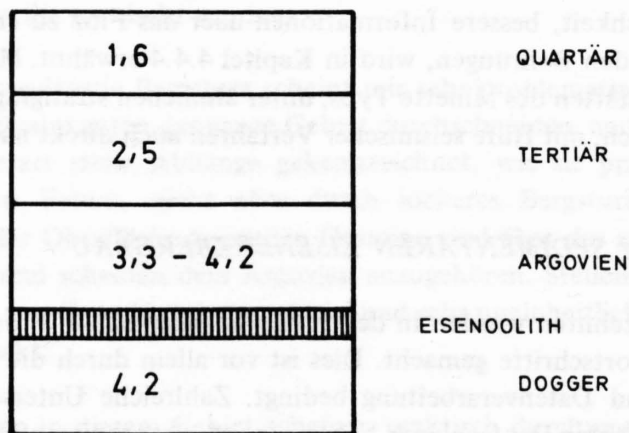


Fig. 13
Seismische Geschwindigkeiten in den geologischen Schichten.

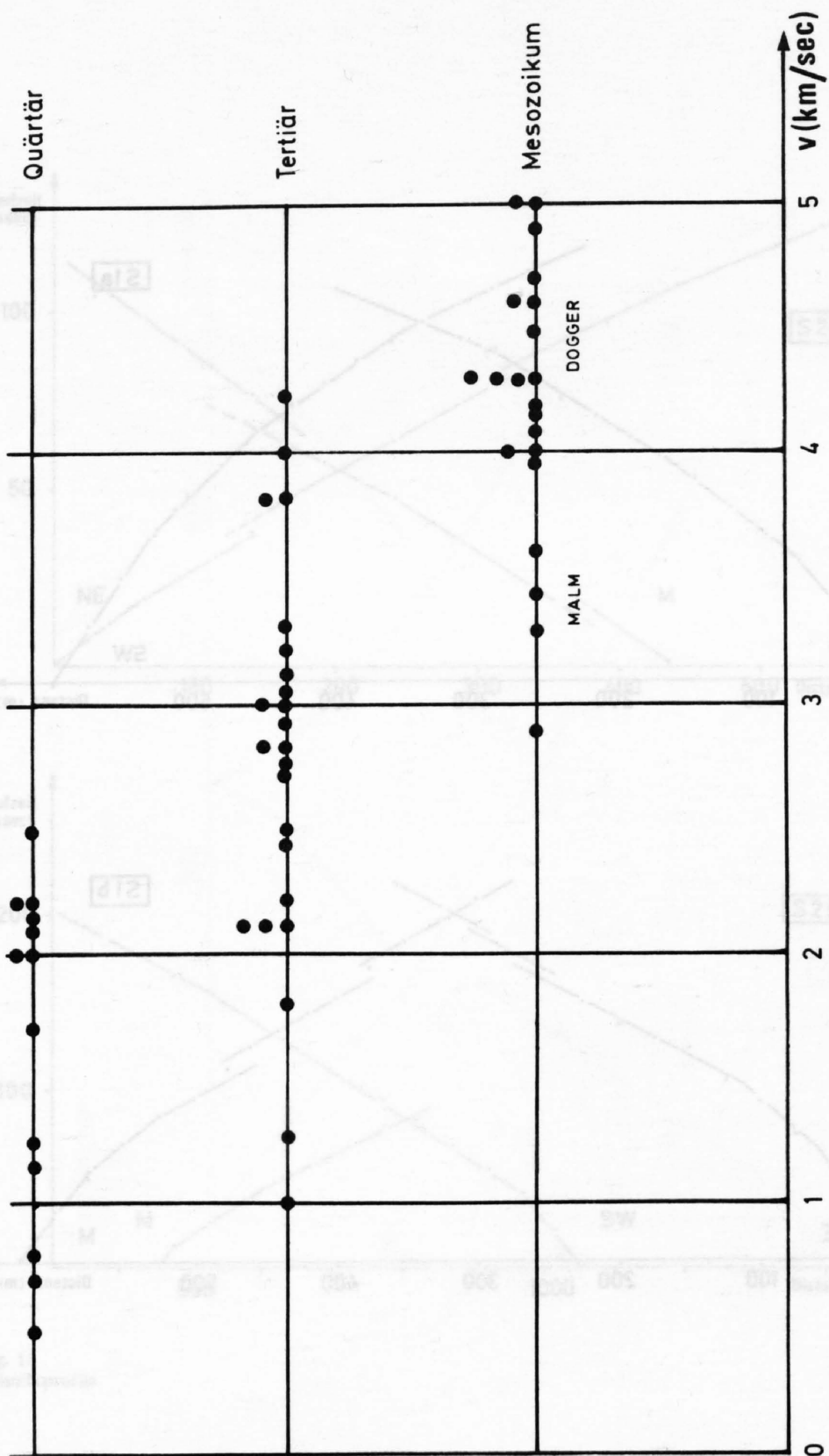


Fig. 14
Seismische Geschwindigkeitsverteilung

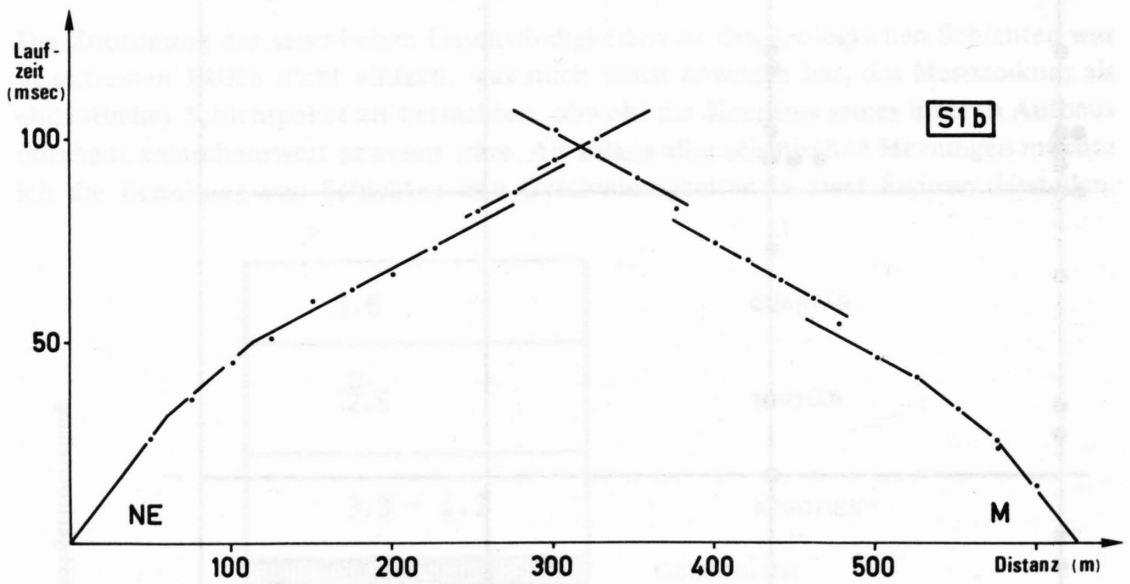
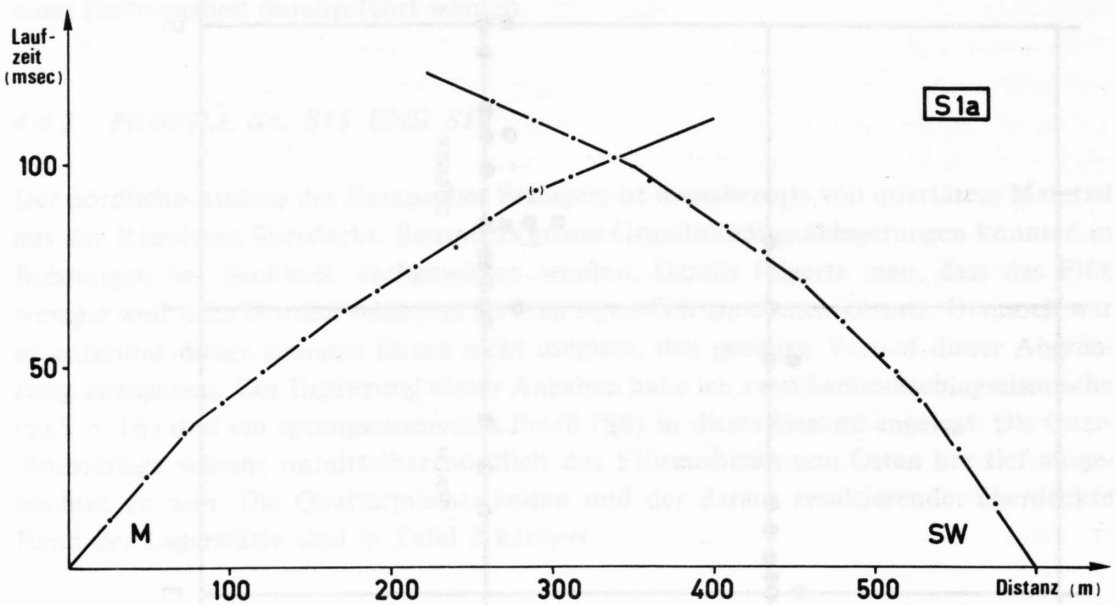


Fig. 15
Seismikprofile

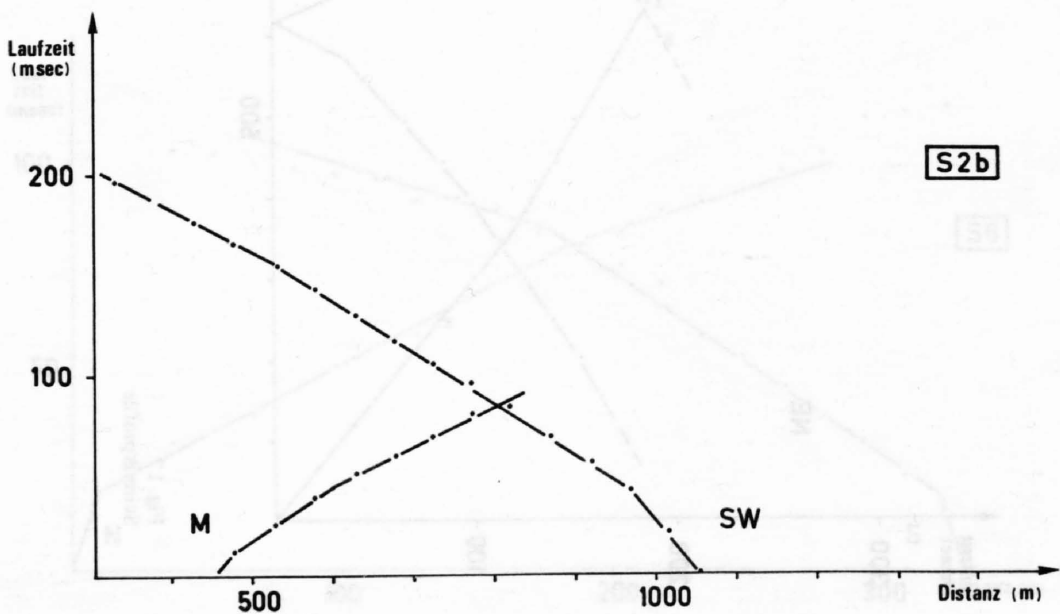
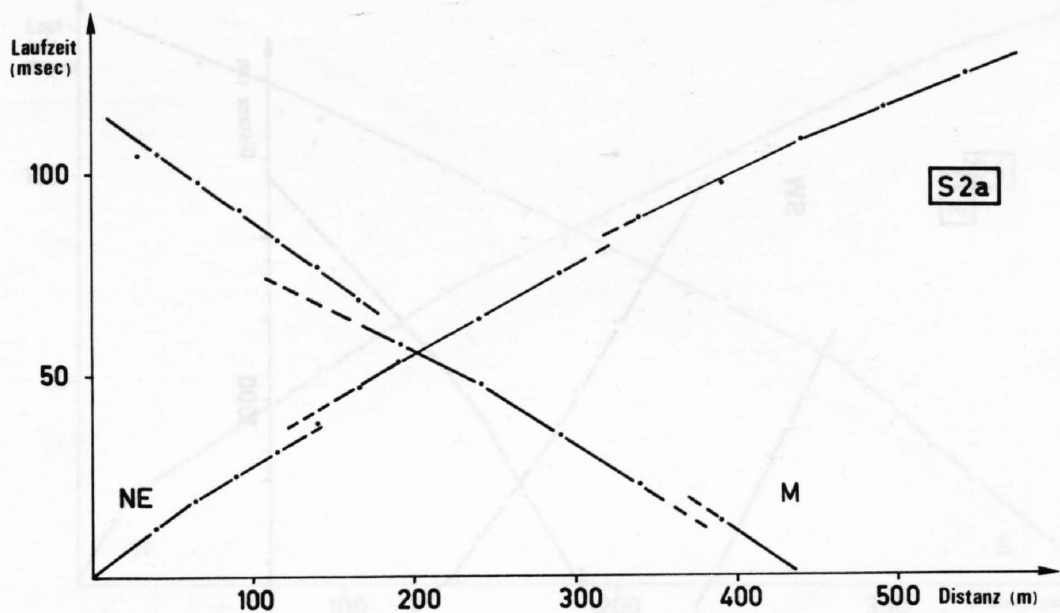


Fig. 16
Seismikprofile

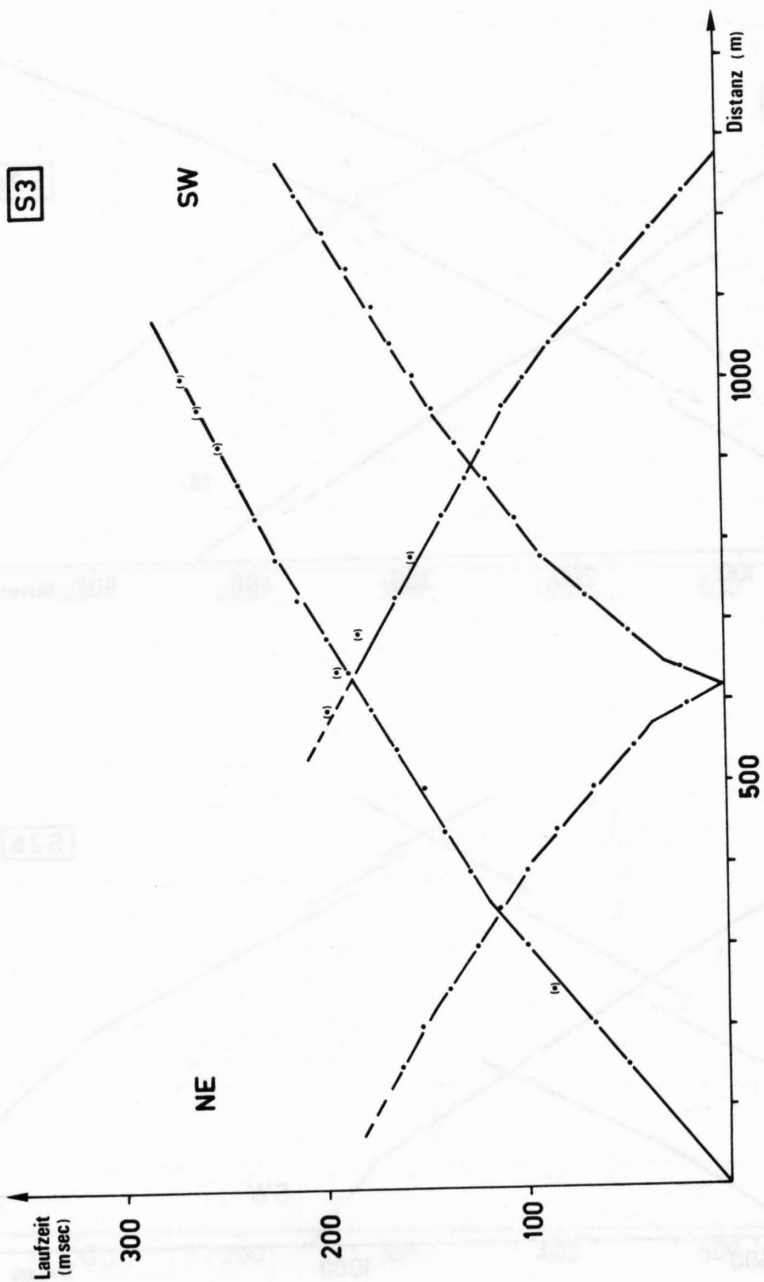


Fig. 17
Seismikprofile

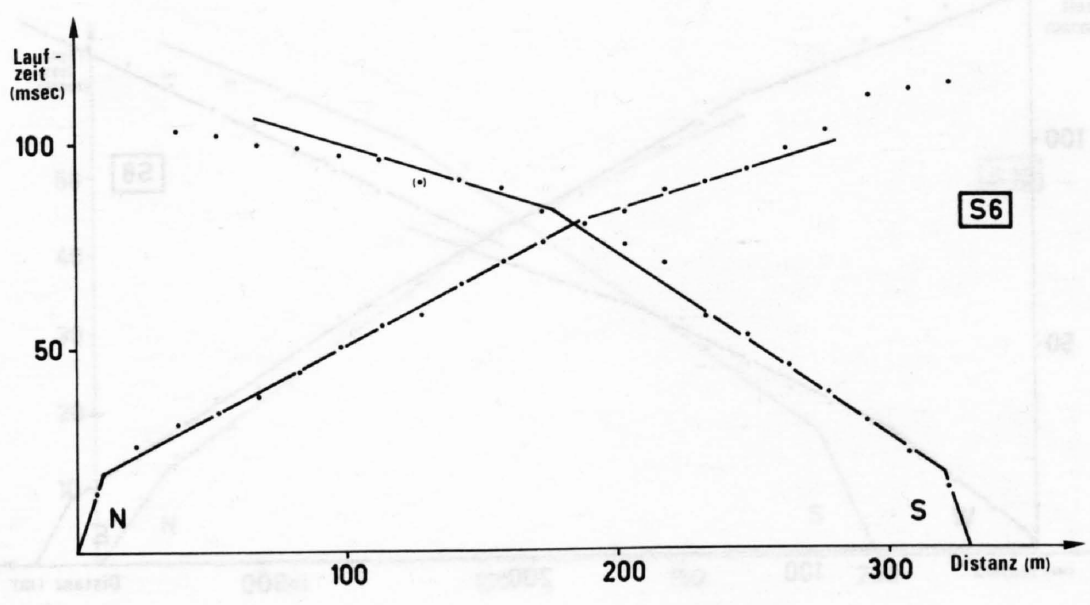
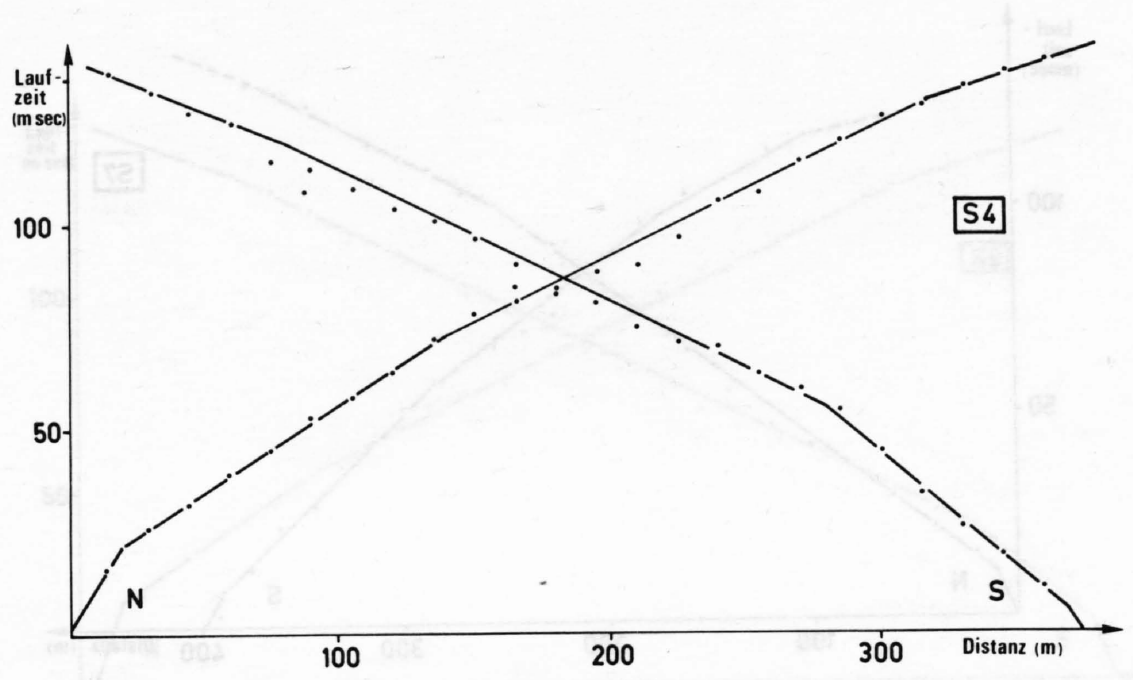


Fig. 18
Seismikprofile

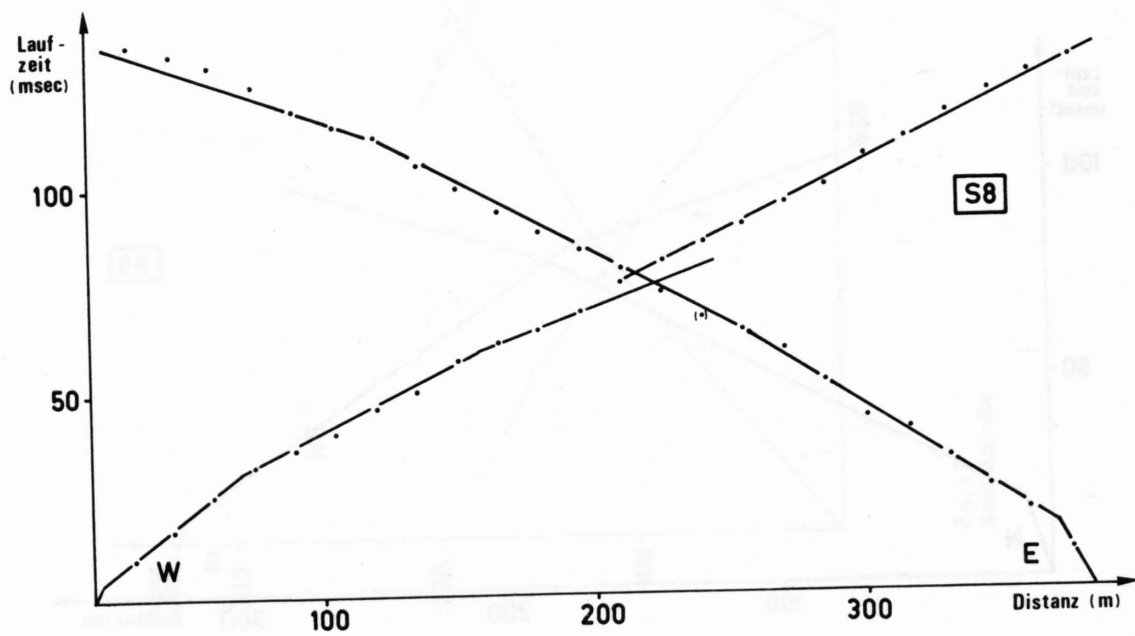
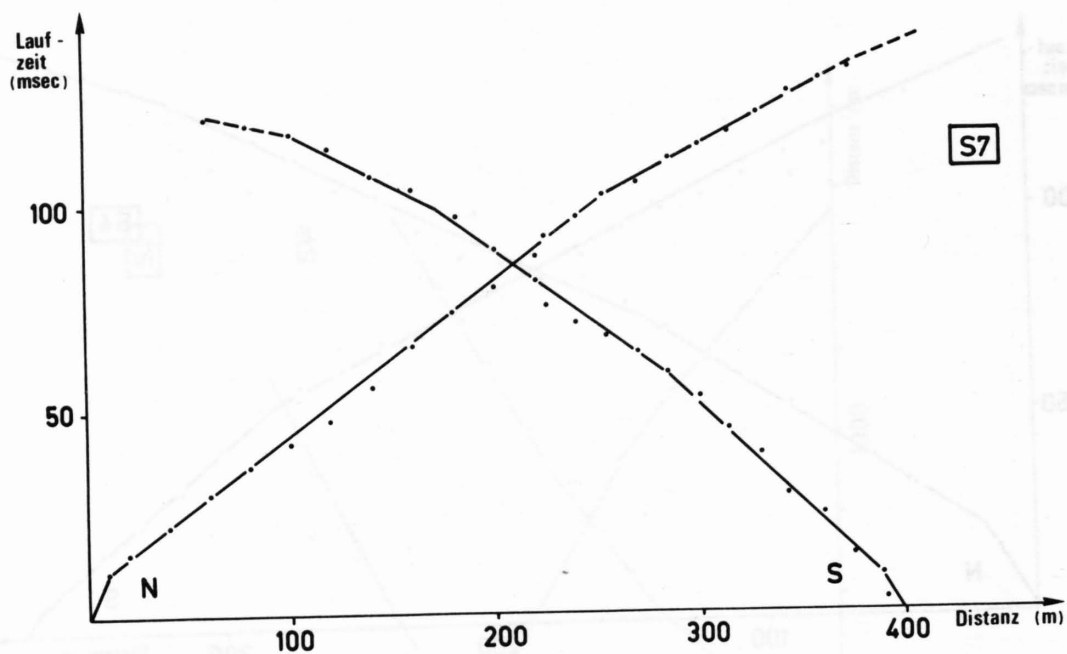


Fig. 19
Seismikprofile

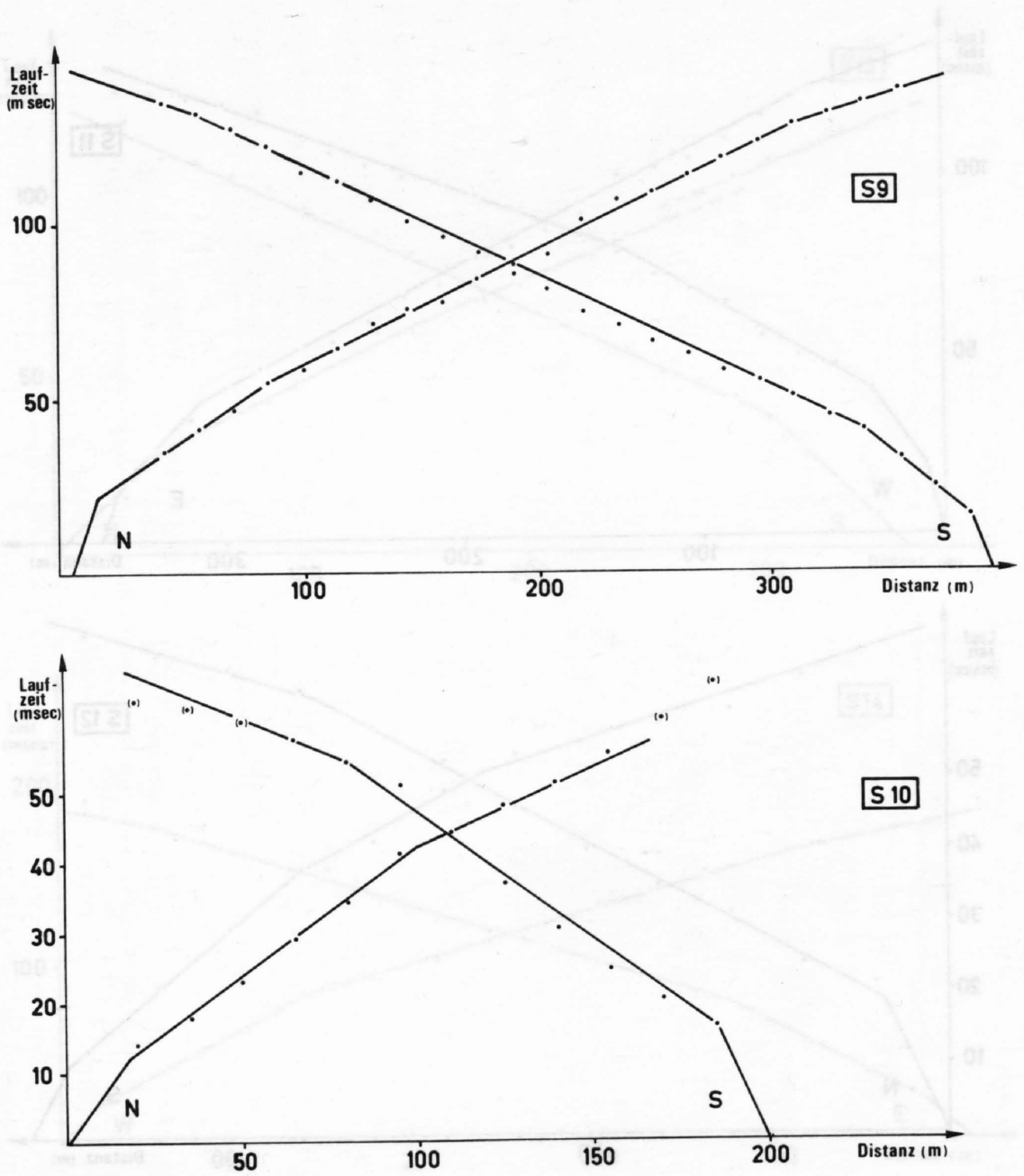


Fig. 20
Seismikprofile

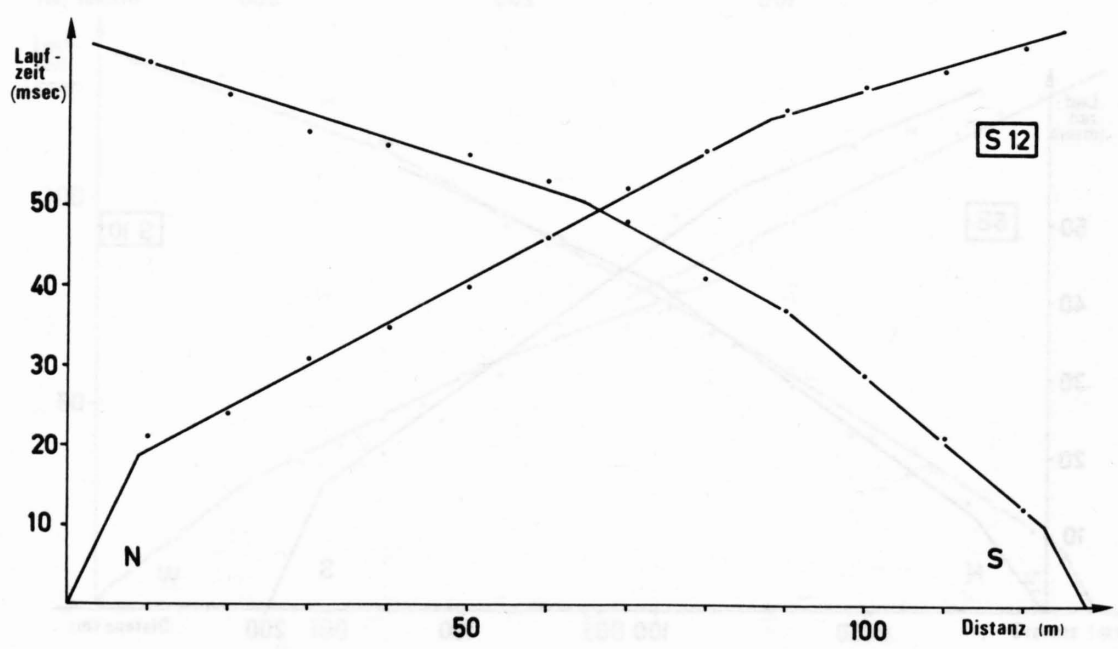
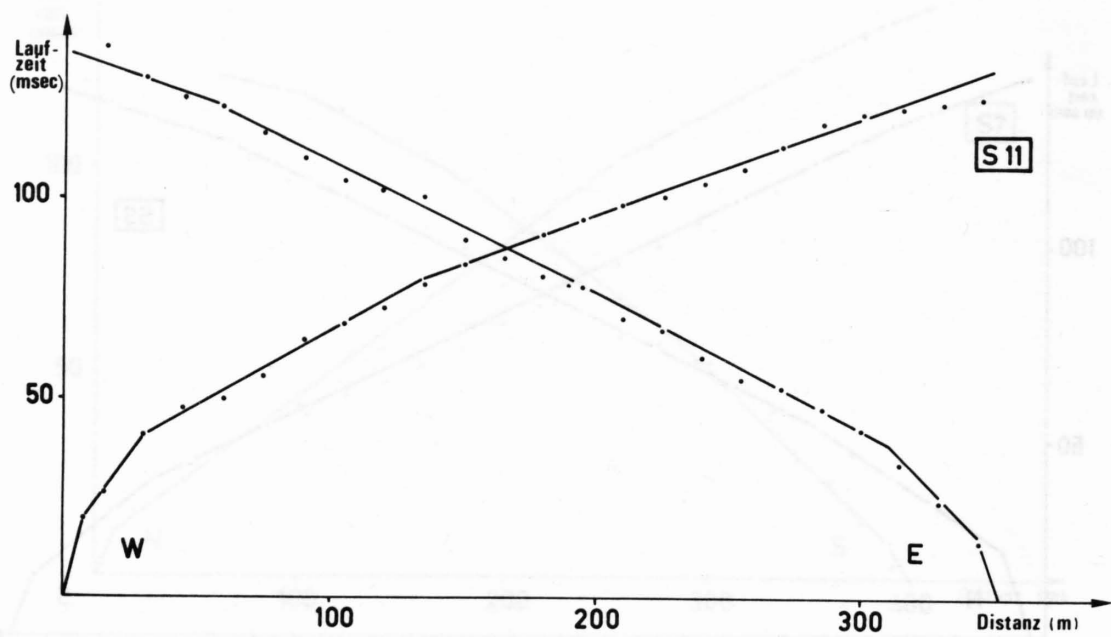


Fig. 21
Seismikprofile

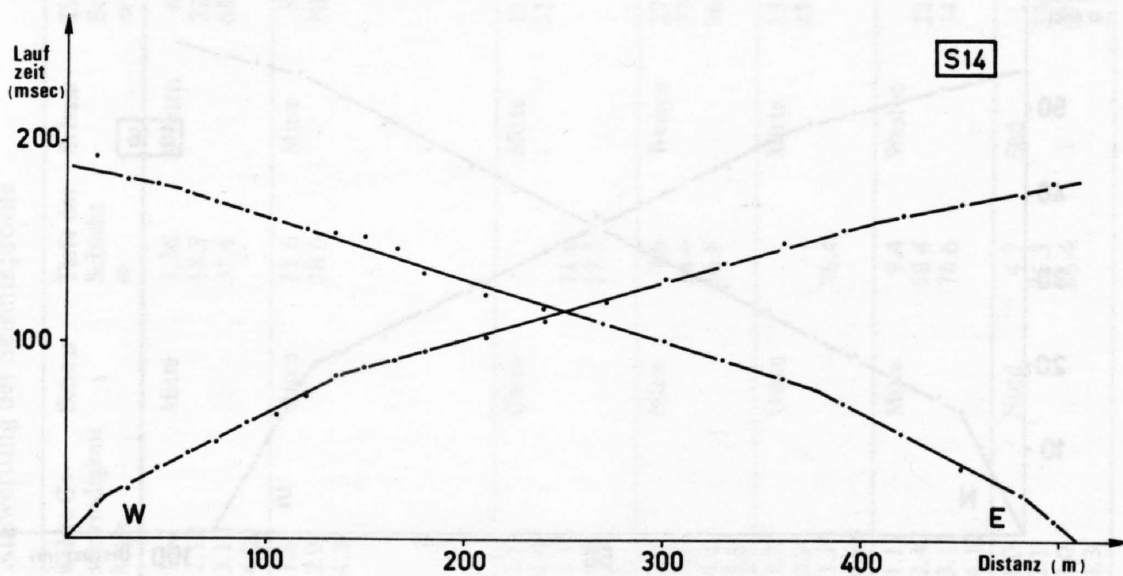
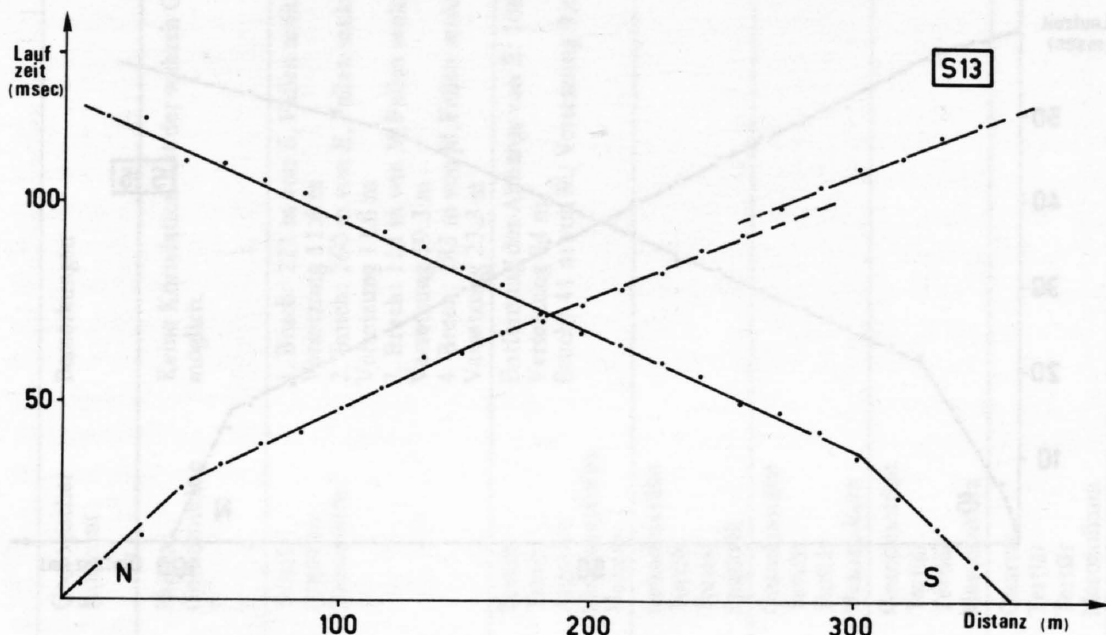


Fig. 22
Seismikprofile

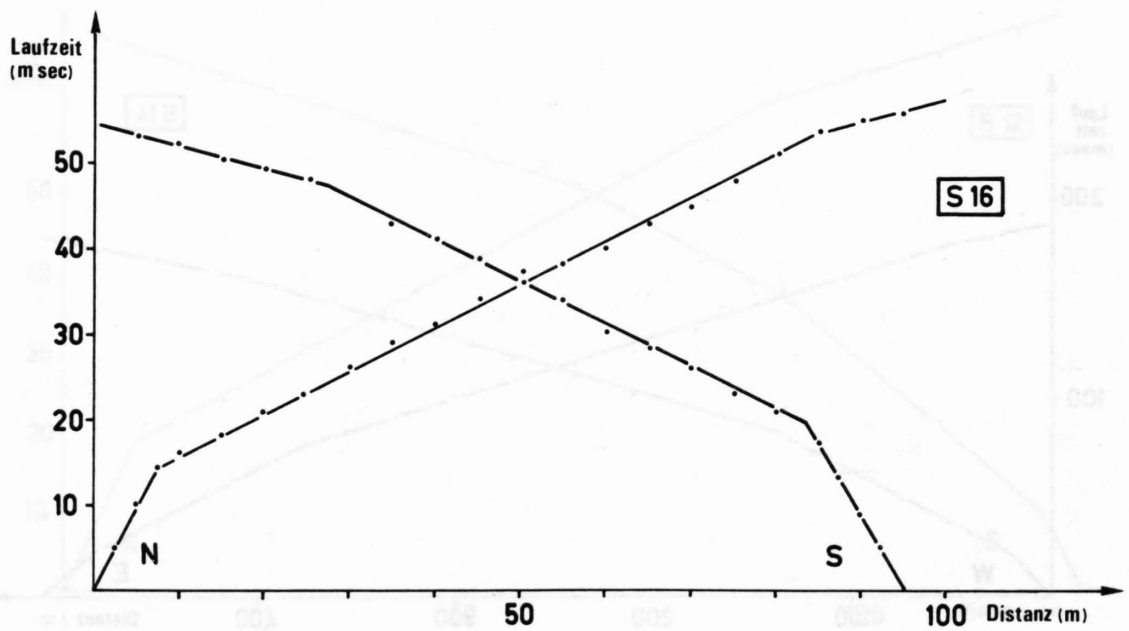
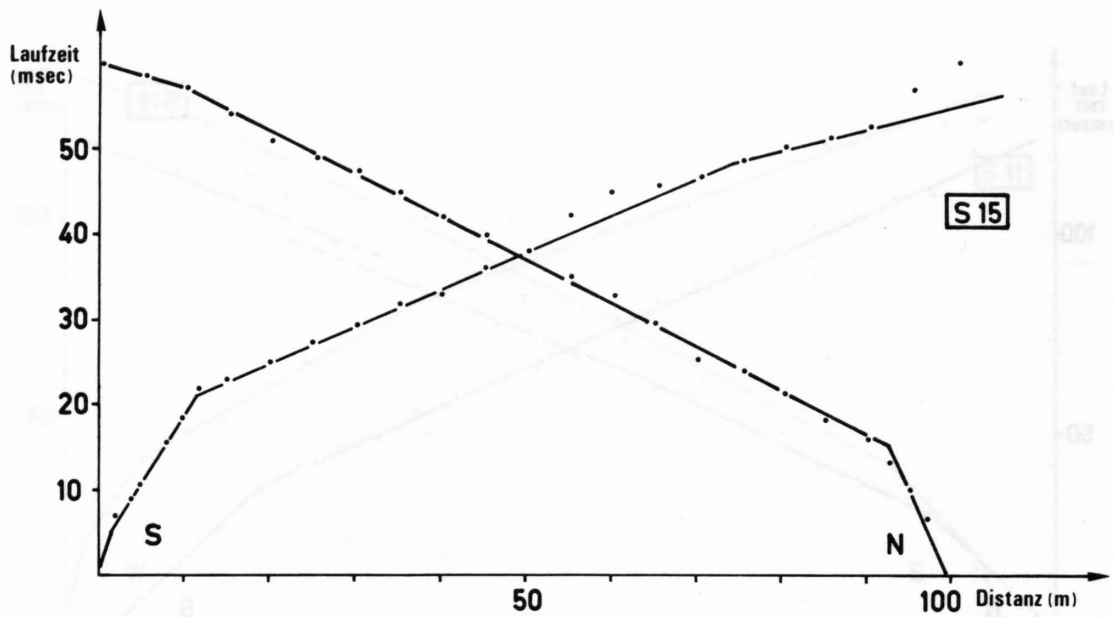


Fig. 23
Seismikprofile

Tabelle 7: Auswertung der Seismikprofile

Profil	wahre Ge- schwindigkeit km/s	Schuss	Tiefe der Schicht m	Schuss	Tiefe der Schicht m	Geologischer Horizont	Bemerkungen
S1a	1.67 2.12 3.12 4.09	Mitte	1.36 18.3 33.6	Westen	6.8 22.5 65.9	Humus Grundmoräne ? ?	Keine Korrelation mit der wahren Geologie möglich.
S1b	1.8 2.9 4.3	Osten	11.6 38.6	Mitte	5.8 30.6	Tertiär Argovien Eisenoolith	1. Bruch: 221 m von E, Fallen senkr. n. W. Versetzung 11.6 m 2. Bruch: 260 m von E, Fallen senkr. n. W. Versetzung 11.6 m 3. Bruch: 115 m von M, Fallen senkr. n. E. Versetzung 19.3 m 4. Bruch: 183 m von M, Fallen senkr. n. E. Versetzung 23.3 m
S2	2.5 4.0 3.45 4.5 5	Osten	11.6 27.5	Mitte	11.2 35.4	Tertiär Tertiär Argovien Makrocephalus Varians	Entfernung des Abhangs von E: 106.2 m Versetzung 24 m, Bruch: 41 m von M, Versetzung 9.6 m
S2	2.1 3.8 4.2 5.0	Mitte	7.6 24.4 36.8	Westen	27.7 77.4 96.8	Grundmoräne Tertiär Tertiär Spatkalk	
S3	1.25 2.9 3.13 4.16	Osten	78.4	Mitte	13.9 83.9	Grundmoräne Tertiär Tertiär Mesozoikum	
S3	1.17 2.42 3.11 4.17	Mitte	9.4 58.4 78.6	Westen	22.0 74.6	Grundmoräne Tertiär Tertiär Mesozoikum	
S4	1.0 2.1 3.0 4.3	Nord	4.7 26.5 86.4	Süd	1.7 33.7 67.1	Quartär Tertiär Tertiär Mesozoikum	

Profil	wahre Geschwindigkeit km/s	Schuss	Tiefe der Schicht m	Schuss	Tiefe der Schicht m	Geologischer Horizont	Bemerkungen
S6	0.5 2.5 4.7	Nord	4.1 38.5	Süd	3.6 56.5 ?	Humus Grundmoräne Mesozoikum	
S7	0.7 2.2 2.8 3.6 4.1	Nord	7 60.4 115.3	Süd	22.7 66.0 119.3	Quartär Quartär Tertiär Mesozoikum Mesozoikum	
S8	0.8 2.1 3.0 4.3	Westen	0.9 16.0 45.1	Osten	4.8 20.9 79.1	Quartär Tertiär Tertiär Mesozoikum	Die Mesozoikum-Tertiärgrenze liegt im Vergleich zu den Profilen S7 und S9 rund 10 m zu tief. Allerdings ist die Interpretation des Laufzeitdiagrammes nicht eindeutig.
S9	0.7 2.1 3.3 4.6	Nord	6.0 19.7 98.5	Süd	4.3 22.2 84.5	Quartär Tertiär Mesozoikum Mesozoikum	
S10	1.0 2.8 4.3	Nord	3.2 22.8	Süd	5.6 38.5	Tertiär Tertiär Mesozoikum	
S11	0.5 1.25 2.76 3.9	Westen	3.6 14.8 43.8	Osten	2.7 12.7 69.2	Quartär Tertiär Tertiär Mesozoikum	
S12	0.8 2.7 4.6	Nord	5.5 33.6	Süd	6.4 23.4	Quartär Tertiär Mesozoikum	
S13	1.7 3.2 3.8	NW	15.1 36.3	SO	20.1 43.5	Quartär Tertiär Tertiär	Mesozoikum wurde noch nicht erreicht. Starke Versetzung, durch Abhang bedingt (siehe Tertiär-Isohypsenkarte) 30 m nach ca. 230 m von NW.
S14	0.9 2.0 3.3 4.9	West	6.1 41.1 116.4	Ost	4.1 37.1 135.4	Humus Quartär Tertiär Mesozoikum	
S15	0.5 2.15 4.0	Süd	4.1 21.0	Nord	3.2 29.0	Humus Quartär Mesozoikum	
S16	0.5 2.0 4.1	Nord	2.7 26.1	Süd	3.6 21.7	Humus Quartär Mesozoikum	

Prinzipiell konnte ich die Stratigraphie nur in Quartär, Tertiär, (Argovien) und Dogger aufteilen. Nur in seltenen Fällen war eine differenziertere Unterteilung möglich. Das Argovien konnte ich nur in Oberflächennähe von seinem Liegenden unterscheiden, da es, wahrscheinlich wegen der Verwitterung, langsamere Geschwindigkeiten aufwies als die Kalke des Doggers. Bei grösserer Überlagerung dürften sämtliche mesozoischen Horizonte Geschwindigkeiten um 4.2 herum haben, sodass sich Malm und Dogger nicht auseinanderhalten lassen.

Die in den Figuren 13 und 14 dargestellten Zuordnungen konnten nicht in allen Profilen eindeutig durchgeführt werden. In S1a, S6 und S8 konnte die Strukturierung des Untergrundes anhand der Laufzeitdiagramme nur teilweise bestimmt werden, da sich die Daten aus Seismogrammen und Bohrungen zu sehr widersprachen. Offenbar stimmten in jenen Fällen die seismischen Reflektoren von Schuss und Gegenschuss nicht überein. Zum Beispiel kann eine Schicht höherer Geschwindigkeit gegen den einen Endpunkt hin auskeilen, sodass sie dort überschossen wird. Eine andere Erklärung wäre, dass die geologischen Verhältnisse derart kompliziert sind, dass sie durch das einfache Modell, welches meinen Berechnungen zu Grunde liegt, nicht richtig interpretiert werden können. Mit grossem Aufwand in der Datenverarbeitung, welche jedoch auch grössere Ansprüche auf die Registriereinrichtungen stellen würde, könnten sicher differenziertere Auswertungen gemacht werden, obwohl ich Bedenken habe, ob bei der Refraktionsseismik ein grosser Mehraufwand, im Verhältnis zu den zusätzlich erworbenen Informationen, vertretbar sei.

5. Vorratsberechnungen

Auf den Isohypsenkarten in den Tafeln 2 und 3 habe ich den Verlauf von Erzlager und Tertiärauflage kartiert. Die Intersektion beider Flächen gibt den südlichen Rand des Flözes, welcher ebenfalls auf beiden Karten angegeben ist.

Als Vergleich dazu habe ich auch die vermutete Abgrenzungslinie speziell markiert. Der neugefundene Teil beträgt ungefähr $\frac{1}{4}$ der Gesamtfläche des Flözes. Für die Vorratsberechnung benutzte ich die Angaben von FEHLMANN und RICKENBACH (1962) und die Bohrresultate für den bekannten Teil des Flözes, sowie zwei Modelle für die Berechnung des südlichen Abschnitts. Im ersten Fall nahm ich an, dass die Mächtigkeit der Lagerstätte gegen Süden stark abnimmt, in der zweiten Berechnung setzte ich voraus, dass zwischen den südlichsten Bohrungen und dem Südrand keine wesentlichen Änderungen in der Beschaffenheit des Flözes auftreten.

5.1 DIE OBERFLÄCHE DES FLÖZES

Für die Vorratsberechnung wurde dazumal die gesamte Fläche der Lagerstätte zwischen nördlichem Ausbiss und Erosionsrand, und zwischen Herznach und der solothurnischen Grenze berücksichtigt, auch wenn beispielsweise östlich von Herznach in den Schürfun-gen 2 und 3 immerhin Mächtigkeiten von 1.5 m und 1.6 m und Eisenkonzentrationen von 28 % gefunden worden sind. Von der Berechnung ausgeschlossen wurde ein etwa 50 m unter der Ortschaft Wölflinswil gelegenes Feld der östlichen Grabenscholle.

Zwischen der Kantonsgrenze und dem östlichen Grabenrand bei Wölflinswil wurde eine Gesamtfläche von 2'567'300 m² gefunden. Im Abschnitt jenseits der Verwerfung bis nach Herznach waren es 3'064'300 m², insgesamt also 5'631'600 m², davon etwa 83,5 % über der Talsohle. In diesem Gebiet ist der östlichste Teil praktisch völlig abge-baut worden, sodass er in einer neuen Vorratsberechnung nicht mehr einbezogen wer-den darf.

Unmittelbar beim Bergwerk erstreckt sich ein ziemlich kompliziertes Bruchsystem, welches beim ehemaligen Bergbau und mit den seismischen Messungen nachgewiesen worden ist. Dieses würde bei einem Stollenabbau der Lagerstätte erhebliche Schwierig-keiten bereiten. Aus diesem Grund setzte ich die östliche Begrenzung des Lagers für meine Vorratsberechnung auf die Linie zwischen dem westlichsten Rand dieses Grabens, und der Schürfung 13 westlich davon. Somit beträgt die ursprüngliche Fläche nur noch 5'142'600 m².

Durch die neue südliche Abgrenzungslinie des Flözes gewinnt die Gesamtfläche 1'418'000 m², also 27,6 % ihres ursprünglichen Betrages. Diesen Zuwachs habe ich mit einem Planimeter aus der Isohypsenkarte des Lagers bestimmt. Diese Fläche entspricht der Projektion der wahren Fläche auf eine horizontale Ebene. Da innerhalb der Lager-stätte die Fallwinkel der mesozoischen Schichten sehr klein sind, ist diese Approxima-tion erlaubt.

5.2 DIE MÄCHTIGKEIT DES FLÖZES

Die Flözmächtigkeiten wurden mit den Bohrungen und Schürfun-gen über das ganze Flözareal hinweg bestimmt. Die Werte können aus Tabelle 1 (SCHWEIZERISCHE SAMMELSTELLE GEOLOGISCHER DOKUMENTE) abgelesen werden.

Der östlichste Teil der Lagerstätte von Herznach bis zur Linie zwischen Junkholz und der Bohrung 204 hat eine mittlere Mächtigkeit von 2.32 m. In diesen Bereich fällt der östliche Teil des neuentdeckten Abschnittes. Von Junkholz bis zum östlichen Graben- rand des grossen Verwerfungssystems beginnt das Wölflinswilerflöz an Mächtigkeit zu

gewinnen, sodass total 4.79 m gemessen worden sind. Davon gehören 1.06 m zum Herznacherflöz, 1.17 m zur mergeligen Zwischenschicht, und ferner 2.56 m zum Wölflinswilerflöz.

Innerhalb des Grabensystems beträgt die Mächtigkeit total 4.89 in der Ostscholle, 5.54 in der Westscholle, und 4.9 m westlich davon. Für den neuen Teil setzte ich für die zwei verschiedenen Berechnungen die Werte 2 m und 2.7 m ein.

5.3 DICHT E UND EISENGEHALTE

Vor dem Abbau des Eisenoolithes wurden von SAEMANN (1921) Dichtebestimmungen von zahlreichen Proben durchgeführt. Die ermittelten Werte schwankten um 2.75 g/cm^3 für getrocknetes Gestein. Einige Jahre später wurde mit einem grossen Erzblock eine weitere Messung gemacht. Hier ergab sich eine Dichte von 2.73 g/cm^3 . Als vorsichtigen Wert wurde bei den früheren Vorratsberechnungen eine Dichte von nur 2.7 genommen. Diesen kleineren Betrag werde ich ebenfalls für meine Abschätzung des Eisengehalts der Lagerstätte verwenden.

Die Eisengehalte sind zusammen mit den Flözmächtigkeiten in Tabelle 1 (SCHWEIZERISCHE SAMMELSTELLE GEOLOGISCHER DOKUMENTE) dargestellt. Sie steigen von Westen her von durchschnittlich 21.9 auf 29.5 %. Bei Vernachlässigung der mergeligen Zwischenschicht sind sie noch höher. Unter Berücksichtigung der Verhältnisse im nördlichen Teil käme für die Berechnung des Gehaltes des neuen Flözabschnittes eine Konzentration von 27 – 29 % in Frage.

5.4 DIE ERZVORRÄTE DER LAGERSTÄTTE

5.4.1 DER ERZVORRAT DES URSPRÜNGLICH BEKANNTEN LAGERS

FEHLMANN und RICKENBACH (1962) teilten den Erzvorrat in ihrer Volumenberechnung in drei Qualitätskategorien ein, was im Hinblick auf einen bevorstehenden Bergbau vernünftig war, denn so wurde dem uneinheitlichen Aufbau des Flözes in zwei reichere und eine eisenarme Schicht Rechnung getragen. Für den Erzvorrat der gesamten Lagerstätte wurden folgende Werte angegeben:

- 29.454 mio T mit mehr als 28 % Eisen. Bei Vernachlässigung des Herznacherabschnittes: 22.104 mio T
- 19.055 mio T mit 23 – 28 % Eisen
- 14.114 mio T mit 15 – 18 % Eisen

Die totale Menge wurde, ohne Berücksichtigung des Herznacherteils, auf 55.273 mio T geschätzt.

Da der Eisengehalt gegen Westen erheblich abnimmt und der Abbau wegen dem Grabensystem sicherlich stark erschwert wird, möchte ich künftig den Abschnitt von der östlichen Verwerfung nach Westen bis zur Kantonsgrenze nicht mehr berücksichtigen.

Für den verbleibenden Teil beträgt gemäss der Angaben von FEHLMANN und RICKENBACH (1962) der Erzvorrat noch 20.163 mio T, welcher sich folgendermassen in die drei Qualitätskategorien unterteilen lassen:

- 12.667 mio T mit mehr als 28 % Eisen
- 3.561 mio T mit 23 – 28 % Eisen
- 3.935 mio T mit 15 – 18 % Eisen

5.4.2 DER ERZVORRAT DER GESAMTEN LAGERSTÄTTE

Die aufgrund der geophysikalischen Untersuchungen möglichen weiteren Erzvorräte habe ich nach relativ einfachen Kriterien berechnet, da ohnehin der präzise Verlauf der Südgrenze nicht bekannt ist, und über die Beschaffenheit der Lagerstätte ausserhalb der durch Bohrungen erkundeten Gebiete nur Vermutungen gemacht werden können. Die neue Fläche umfasst rund 1,4 km².

Bei einer Mächtigkeit von 2m, einer Gesteinsdichte von 2,7 g/cm³, resultiert ein zusätzlicher Vorrat von 7,7 mio T, bei einer Mächtigkeit von 2,7 m entsprechend 10.3 mio T Erz. Diese Menge bedeutet immerhin einen Zuwachs von 38 % beziehungsweise 51 % zu dem von FEHLMANN und RICKENBACH (1962) postulierten Erzgehalt für den in Frage kommenden Teil der Lagerstätte. Dieser Zuwachs liegt in der Grössenordnung eines fünffachen der zwischen 1937 und dem Jahre 1967 geförderten Erzmenge. Es ist jedoch durchaus wahrscheinlich, dass die Mächtigkeit grösser ist, und damit entsprechend grössere Reserven vorhanden sind. Eine Fehlerangabe für den zusätzlichen Erzvorrat kann unmöglich gemacht werden, da der Berechnung zu viele Vermutungen zugrunde liegen, deren Vertrauensgrenzen nicht ohne weiteres ermittelt werden können.

Bei einer durchschnittlichen Flözmächtigkeit von 2 m im südlichen Abschnitt würde somit die Eisenlagerstätte Herznach-Wölflinswil bis zum Grabenrand einen mutmasslichen Vorrat von 27.8 mio T enthalten.

6. Schlussfolgerungen

Zu Beginn der Untersuchungen der Herznacher Eisenlagerstätte war mir schon klar, dass keine sehr grossen Kontraste in den physikalischen Eigenschaften der Horizonte des Tafeljuras zu erwarten waren. Ich hatte Bedenken, ob sich überhaupt nur eine Methode eignen würde, geologische Probleme mit Sicherheit lösen zu können. Die besten Resultate habe ich von der Geoelektrik erwartet, denn ich habe mit guten Leitfähigkeiten in den eisenoolithischen Schichten gerechnet. Die Ergebnisse meiner Abklärungen haben mich daher sehr überrascht, als sich herausstellte, dass diese Methode unter diesen geologischen Verhältnissen praktisch unbrauchbar war, und dass Magnetik und Seismik erstaunlich gute Resultate geliefert haben. Das breiteste Spektrum geologischer Probleme konnte ohne Zweifel mit Hilfe der Refraktionsseismik gelöst werden, da sich die Einsatzmöglichkeit der magnetischen Messungen nur auf die Erkundung von Verwerfungen beschränkt hat, die Seismik hingegen schon eine recht differenzierte Untersuchung der Strukturierung des Untergrundes erlaubt. Die Magnetik hat zudem noch den enormen Nachteil, dass sie auf äusserliche Störungen wie elektrische Leitungen, metallische Gegenstände, aber auch starke und schnelle Variationen des Magnetfeldes, z.B. bei gewittriger Wetterlage, äusserst empfindlich ist.

Die Brauchbarkeit von geophysikalischen Einsatzmöglichkeiten kann nur im Sinne einer Alternative zu geologischen Untersuchungsmethoden abgeschätzt werden. Zweifellos wird eine geophysikalische Erkundung erst dann in Erwägung gezogen, wenn eine gesuchte Struktur, z.B. wegen hoher Überdeckung, aus Beobachtungen der Oberfläche nicht mehr erfasst werden kann, und deshalb Sondierbohrungen angesetzt werden müssten. Da Sondierbohrungen sehr teuer und zeitraubend sind und da zur Untersuchung einer grösseren Lagerstätte eine grosse Anzahl davon gebraucht werden, drängt sich die Frage auf, ob nicht ein Teil oder sogar die ganze Information mittels geophysikalischer Verfahren erlangt werden kann.

In den früheren geologischen Bearbeitungen der Lagerstätte wurde eine Vielzahl von Bohrungen und Schürfungen ausgeführt. An den Rändern des Wölflinswiler Grabensystems scheute man die Mühe nicht, mehrere Schürfungen in einer langen Reihe aneinanderzuhängen, um die genaue Lage der Verwerfungsfläche zu bestimmen. Dieser grosse Aufwand steht in keinem Verhältnis zu einer magnetischen Vermessung dieser Trennfläche. Insgesamt wurden für die Erkundungsarbeiten 111 Sondierungen gemacht. Es ist selbstverständlich, dass zur Zeit dieser Arbeiten die geophysikalischen Prospektionsmethoden noch nicht so weit entwickelt waren, um damit brauchbare Resultate erlangen zu können. Obwohl man heute, jedenfalls mit den Apparaturen, welche mir zur Verfügung gestanden sind, nicht ganz auf den Einsatz von Sondierungen verzichten könnte, so wäre es trotzdem möglich, ihre Zahl entscheidend zu reduzieren. Auf diese Weise könnte der Zeit- und Kostenaufwand für die Untersuchungen massiv gesenkt werden. Als Veranschaulichung möchte ich erwähnen, dass für meine Arbeiten der reine

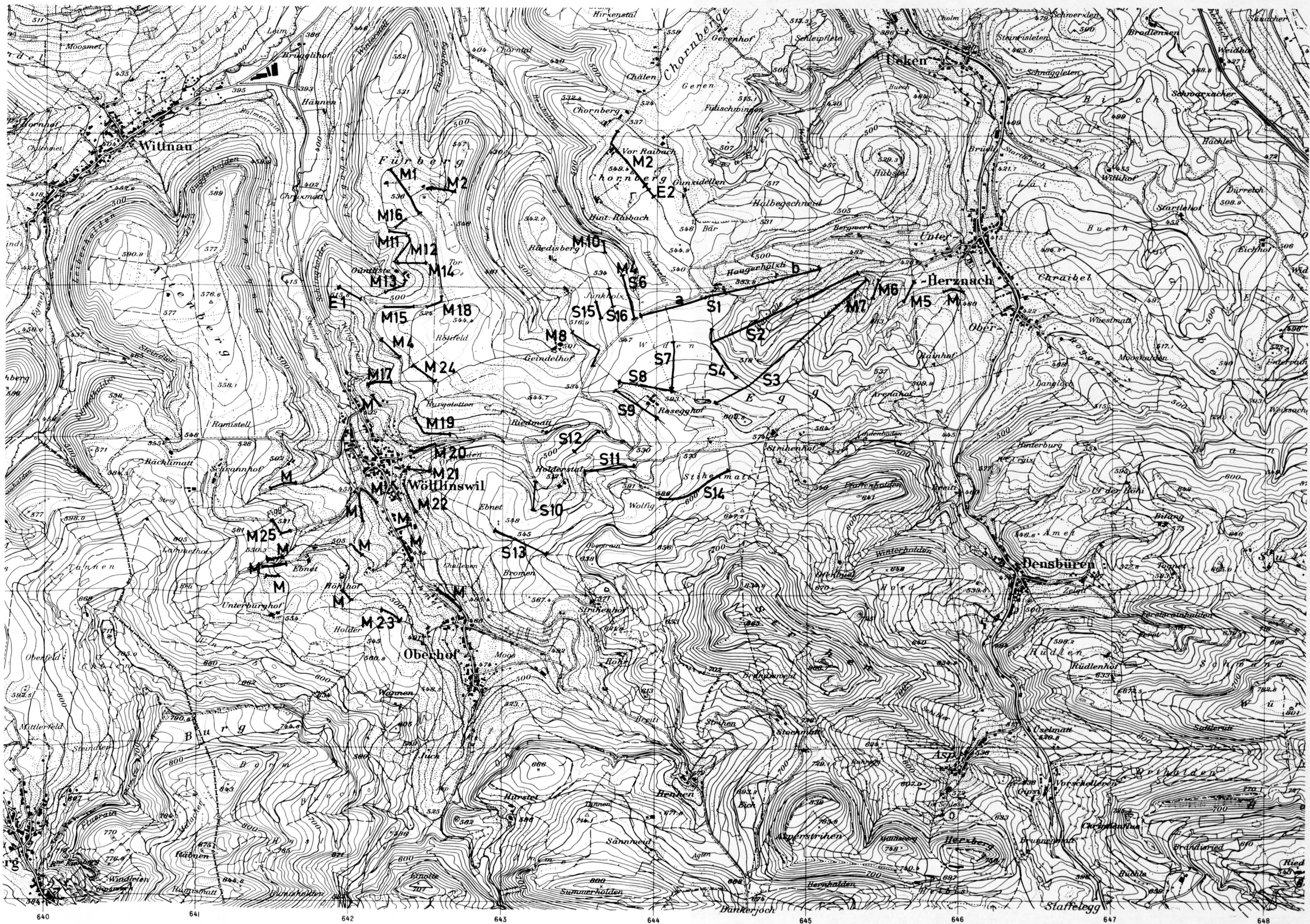
Messaufwand auf dem Felde nur etwa 35 Manntage betragen hat, wovon knapp die Hälfte für die seismischen Untersuchungen gebraucht worden ist. Die Tatsache, dass die neuverwendeten Methoden besonders aber die Seismik entscheidende Resultate für die Kenntnis der Lagerstätte geliefert haben, spricht dafür, dass ihr Einsatz berechtigt war.

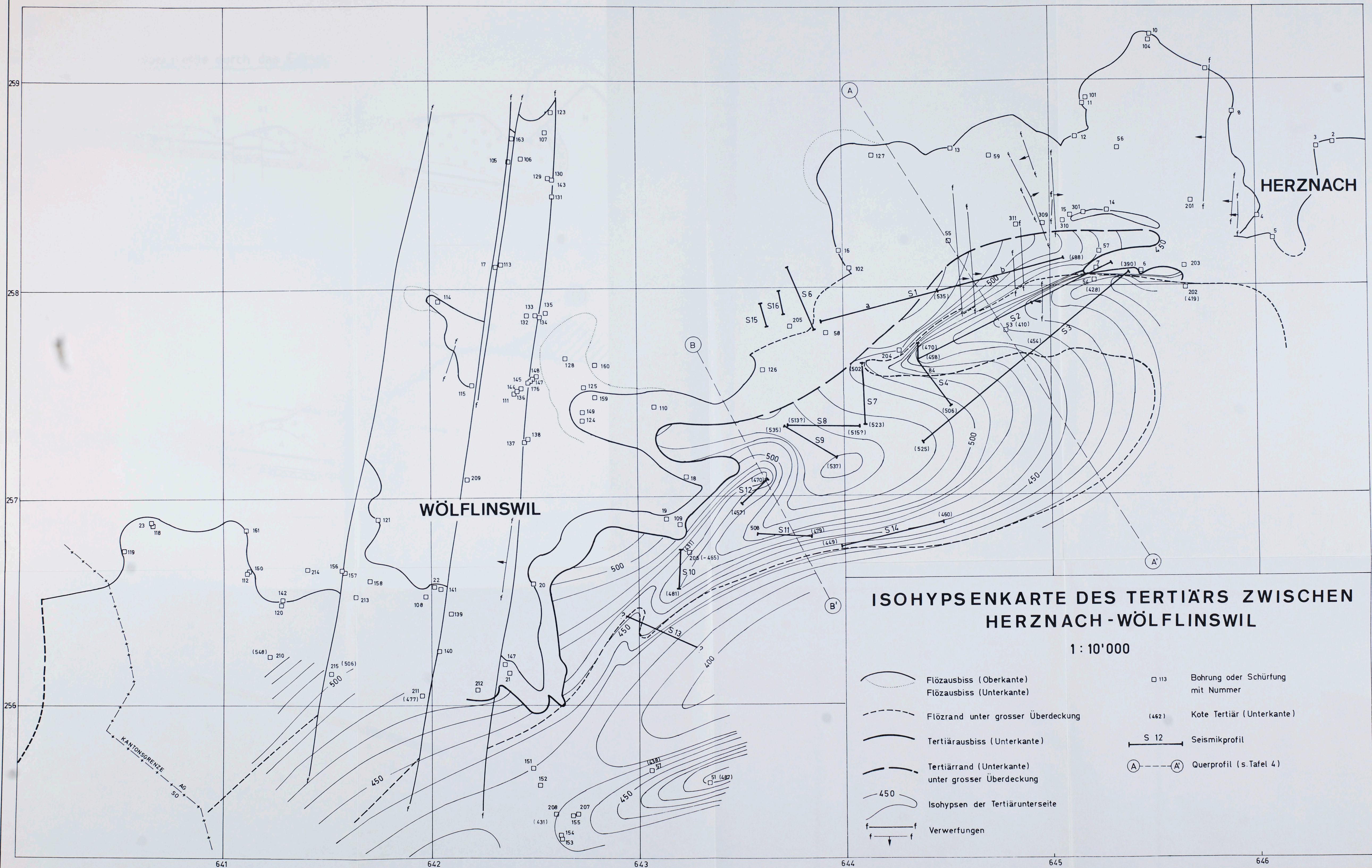
Eine dichtere Belegung von geophysikalischen Profilen in den untersuchten Gebieten wäre vor einer Kontrolle der Resultate durch einige Sondierungen an ausgewählten Punkten nicht sinnvoll. Vollständigkeitshalber wäre es unter Umständen interessant, den südlichen Rand des Flözes im östlichen Abschnitt der Lagerstätte mit Hilfe der Seismik neu zu kartieren, obwohl ich nicht glaube, dass in jenem Teil wesentlich neue Ergebnisse erreicht werden können. Ausserdem bin ich der Meinung, dass jenes Gebiet für einen Abbau des Eisenerzes nur von sekundärer Bedeutung ist.

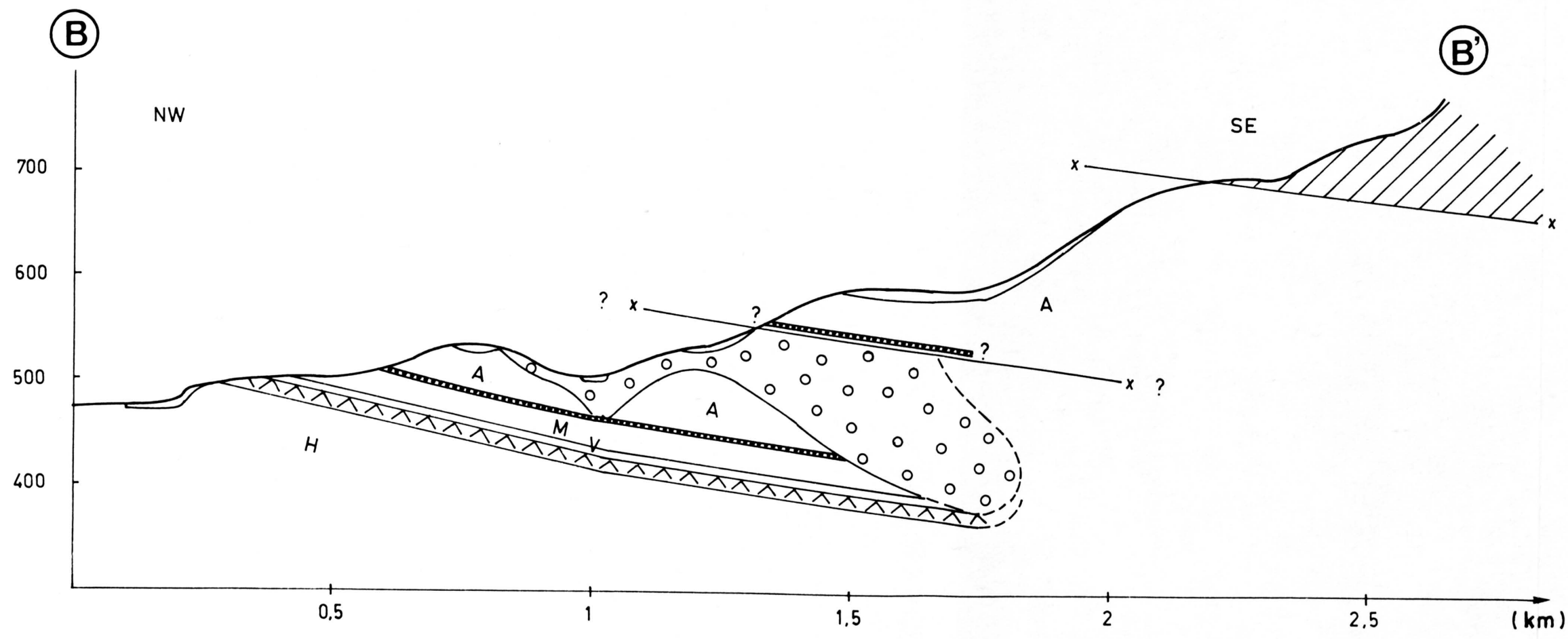
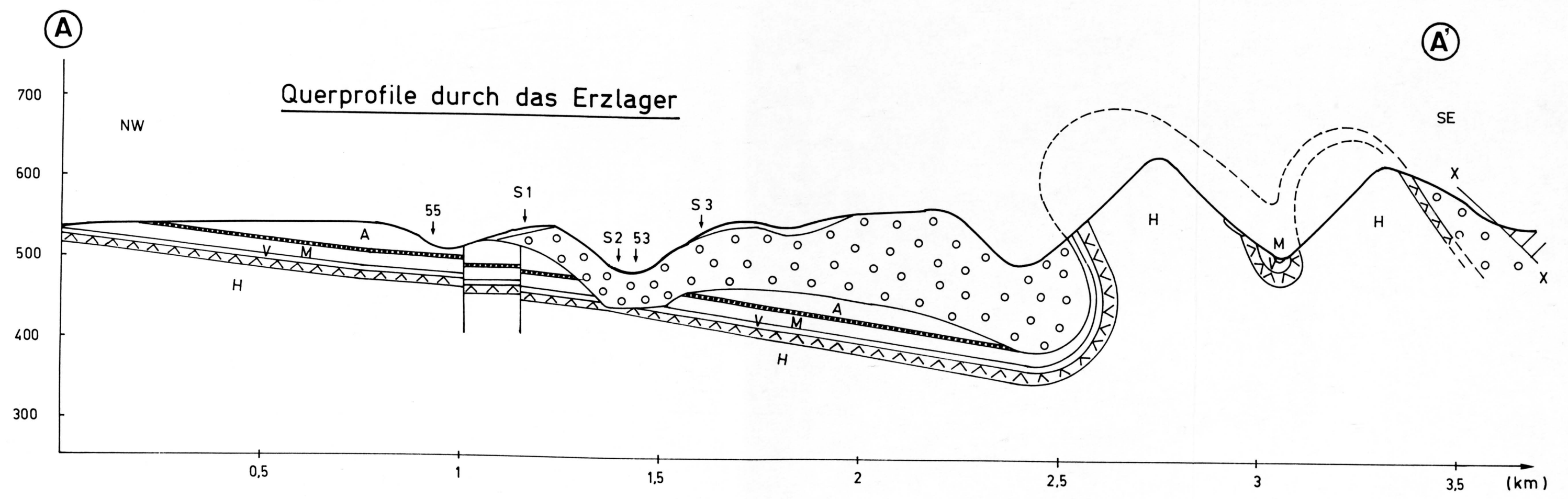
Als weitere, jedoch viel wichtigere Untersuchung, welche eher von geologischer als von geophysikalischer Natur sein sollte, käme eine genaue Erkundung der Tektonik unmittelbar nördlich der Tafeljuraüberschiebung in Frage.

LITERATURVERZEICHNIS

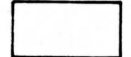
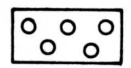
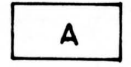
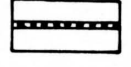
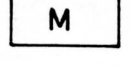
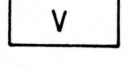
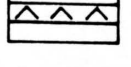
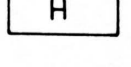
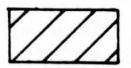
- AMSLER, A. (1915): Tektonik des Staffelegg-Gebietes und Beobachtungen über Bau und Entstehung des Jura-Ostendes. *Ecl. geol. Helv.*, 13, 377 – 484.
- AMSLER, A. (1966): Bemerkungen zur Juratektonik. *Ecl. geol. Helv.*, 20, 1 – 30.
- BENTZ, A. (1961): Lehrbuch der angewandten Geologie. Bd. 1, Enke Verlag, Stuttgart.
- DOBRIN, M.B. (1960): *Geophysical Prospecting*. McGraw-Hill, New York.
- FEHLMANN, H. (1937): Die Eisenerzlagertstätten der Schweiz mit besonderer Berücksichtigung der Lagerstätte im Fricktal. *Mitt. aarg. natf. Ges.* 20, 241 – 278.
- FEHLMANN, H. und RICKENBACH, E. (1962): Die eisenhaltigen Doggererze der Schweiz. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie*, 13/7.
- GASSMANN, F. und WEBER, M. (1960): Einführung in die angewandte Geophysik. Verlag Hallwag Bern.
- GSELL, F.J. (1968a): Geologie des Falten- und Tafeljura zwischen Aare und Wittnau und Betrachtungen zur Tektonik des Ostjura zwischen dem unteren Hauenstein im W und der Aare im E. *Diss. Phil. Fak. 2, Uni. Zürich*.
- GSELL, F.J. (1968b): id. Zusatzband: mit in der Dissertation nicht detailliert aufgeführten litho-stratigraphischen Detailprofilen. Aufbewahrt in der Bibliothek des Geol. Instituts ETHZ.
- HELLER, F. (1966): Zusammenstellung verschiedener magnetischer Daten aus Proben aus dem Bergwerk Herznach. (unveröffentlicht)
- JEANNET, A. (1951): Stratigraphie und Paläontologie des oolithischen Eisenerzlagers von Herznach und seiner Umgebung. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie*, 13/5.
- OTTINGER, T. (1976): Berechnung eines geneigten n-Schichten Falles. (FS). (unveröffentlicht)
- PAVONI, N. (1974): Anleitung zum Bison Enhancement Seismograph, Modell 1570 B. (unveröffentlicht)
- RYBACH, L. (1962): Refraktionsseismische Untersuchungen im Raum Aare-, Limmat- und Surbtal. *Beitr. Geol. Schweiz, Geophysik Nr.* 5
- SAEMANN, H. (1921): Untersuchung der Fricktaler Eisenerze und ihre Verhüttbarkeit. *Diss. Phil. Fak. 2, Uni. Zürich, Sauerländer & Co., Aarau*.
- SCRIBA, H. (1973): Programm ELSTGR. Auswertung eines geoelektrischen Profils für Wenner-Lee Anordnung (unveröffentlicht)







LEGENDE

-  Quartär
-  Tertiär
-  Argovien
-  Erzhorizont
-  Macrocephalus-schichten
-  Variansschichten
-  Spatkalk
-  Hauptrogenstein
-  Faltenjura