

VEB KOMBINAT GEOLOGISCHE FORSCHUNG  
UND ERKUNDUNG HALLE

# NUTZERKATALOG GEOPHYSIK

zu Aufgabenstellungen  
des VEB Kombinat GFE

Autoren: Dipl.- Geophys. Dr. W. Lange  
Dipl.- Geophys. S. Wagner  
Dipl.- Geophys. G. Brandt  
Dipl.- Geophys. Dr. S. Knoth  
Dipl.- Geophys. Dr. S. Hodam

-unter Mitarbeit von K. Reppin, B. Müller, K. Meyer  
U. Kaujisch, A. Heyner, W. Buchholz

Halle, im Juni 1985

Nur für den Dienstgebrauch

### 3. Wirkprinzipien der geophysikalischen Verfahren

#### 3.1. Oberflächengeophysik

##### 3.1.1. Seismik

In der Seismik wird das Verhalten sogen. "elastischer Wellen" bei Aufprägung eines Druck-Impulses untersucht. Dabei unterscheidet man in der Erkundungseismik:

- Longitudinalwellen (Kompressions- bzw. P-Wellen), bei denen die Teilchen in Ausbreitungsrichtung schwingen und
- Transversalwellen (Scherwellen bzw. S-Wellen), bei denen die Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen.

Zur Reflexion an einer Schichtgrenze kommt es, wenn beide Schichten einen Unterschied in der Schallhärte  $v \cdot d$  aufweisen ( $v$  - Ausbreitungsgeschwindigkeit;  $d$  - Dichte).

Das Verhältnis von einfallender Amplitude zu reflektierter Amplitude bezeichnet man als Reflexionskoeffizient.

In Abhängigkeit vom Winkel des einfallenden Wellenstrahles zur Schichtnormalen treten an einer Schichtgrenze direkte, reflektierte und refraktierte Wellen auf.

Entsprechend der Aunutzung des einen oder anderen Wellentyps für die Erkundung sprechen wir von "Reflexionseismik" und "Refraktionseismik".

Die moderne Seismik liefert Beiträge zu folgenden "Merkmale" des geologischen Untergrundes:

- Strukturparameter
- Lithologie
- Porenvolumen, Poreninhalt
- Lagerungsparameter (P, T)
- rheologische Eigenschaften
- Klüftigkeit
- Sättigungsgrad

Die wirksamen petrophysikalischen Parameter in der Seismik sind:

- Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_p$   $\left[ \frac{m}{s} \cdot s^{-1} \right]$   
elastischer Wellen  $v_s$   $\left[ \frac{m}{s} \cdot s^{-1} \right]$
- Absorptionskoeffizient  $(f)$   $\left[ m^{-1} \right]$
- Schallhärte  $v \cdot d$   $\left[ \frac{kg}{m^3} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} \right]$

### 3.1.1.1. Reflexionsseismik (Rx-Seismik)

#### Anregungssysteme:

Die Art der Energieanregung richtet sich nach den geologischen Aufgabenstellungen, nach dem Stand der technologischen Entwicklung und der Art des Mediums (Lockergestein, Festgestein, Wasser).

- Hammerschlag (Ingenieurgeophysik)
- Sprengstoff in Schußbohrungen
- sprengstofflose Anregung (Vibrator bzw. Impulsquelle)

#### Longitudinalwellengeschwindigkeit $v_p$ für Sedimentite

Sand  $\sim 1000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 300 - 2100  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

Ton  $\sim 1200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 300 - 3000  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

Braunkohle  
 $\sim 1100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 500 - 1800  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

(Lit. SCHÜN, J.: Petrophysik; Akademie-Verlag, Berlin 1983, S. 112).

#### Feldmethodik

Mehrfach überdeckende Beobachtungssysteme von Geophonen bzw. Geophongruppen über Reflexionselement (Horizont); Gruppierung von Quellen und Empfängern, Gruppenschüsse und Geophonbündelung (Interferenzsysteme).

Ausführungen zur Stellung der Nahseismik innerhalb des Komplexes seismischer Untersuchungen sowie zu Erkundungsintervallen, Auflösung und Nachweisgrenzen der nahseismischen Verfahrensvariante finden sich in Abschnitt 5.2.4.1. (Tabellen).

#### Bearbeitung reflexionsseismischer Messungen

1. Digitale Aufzeichnung auf dem Feldmagnetband (Playback - analoge Kontrollaufzeichnung).
2. Mehrstufige digitale Bearbeitung unter Nutzung eines Großrechners mit folgenden wesentlichen Arbeitsschritten (vgl. dazu Detailangaben auf den vom VEB Geophysik gelieferten Zeitschnitten):
  - Amplitudenrekonstruktion (GAIN<sup>2</sup>)
  - Signalbearbeitung (Filterung)
    - Frequenzfilterung
    - inverse Filterung (Dekonvolution)
    - Mehrkanalfilterung

- Verbesserung statischer und kinematischer Korrekturen
- CDP-Stapelung (Summation der registrierten Signale)
  - CDP = common depth point
- Wellenanalyse (Multiplenerkennung, Nutzung von Diffraktions- u. a. "Störwellen")
- Zeit-Tiefen-Transformation (Herstellung von Tiefenschnitten und -karten)
  - Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung
  - zwei- und dreidimensionale Konstruktion.

### 3. Geologische Interpretation reflexionseismischer Ergebnisse.

#### Einsatzgebiete der Reflexionseismik

- Erdöl- und Erdgaserkundung
- Braunkohlenerkundung
- Kali- und Steinsalz erkundung
- Grundlagenforschung zum Krustenbau
- Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, Erkundung mariner Gebiete

Die Ergebnisse beinhalten Aussagen zur strukturgeologischen Situation:

- Horizont- bzw. Schichtverlauf, Schichtmächtigkeit
- Strukturelle Hochlagen, Topbereiche
- Bruchstörungen (Sprungbetrag, Verwerfungssinn, Einfallen der Störfläche).

Die Ergebnisse enthalten Angaben zur Substanzangabe:

- Nachweis lithologischer Änderungen
- Direktnachweis von KW-Lagerstätten
- Seismische Faziesanalyse.

Aus den reflexionseismischen Aussagen sind weitere Vorschläge zur Erkundung des Untersuchungsgebietes zu machen, Bohranatzpunkte zu begründen und Hinweise auf Ergänzungsarbeiten von Geophysik und Geologie abzuleiten.

#### Einschränkungen zur Einsatzbarkeit der "normalen" Rx-Seismik mit Schußanregung (GSN)

- Waldgebiete außerhalb von Waldwegen und Schneisen
- Bebauung
- Längsamachricht mit extrem wechselhafter Mächtigkeit, z. B. in Tagebauvorfeldern
- Hochspannungsleitungen.

### Weiterführende Literatur

GURWITSCH, I. I.:  
Seismische Erkundung;  
Verl. Geest u. Portig, Leipzig, 1970

MEISSNER, R.; STEGENA, L.:  
Praxis der seismischen Feldmessung und Auswertung;  
Akademiai Kiadó, Budapest, 1977

DOHR, G.:  
Applied Geophysics;  
Verl. F. Enke, Stuttgart, 1974

MEISSER, O.:  
Praktische Geophysik;  
Verlag Th. S. sinkopf, Dresden u. Leipzig, 1943

### Nahseismik mit Transversalwellen (GST)

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_s$  von Transversalwellen ist wesentlich kleiner als die der Longitudinalwellen. Das Verhältnis von  $v_p/v_s$  erreicht in wassergesättigten Lockersedimenten Werte zwischen 3 und 8 und liegt im Mittel bei 4 - 5.

Die Verwendung von Transversalwellen für die seismische Erkundung bietet damit die Möglichkeit, gegenüber der konventionellen P-Wellen-Seismik eine Steigerung des lateralen und vertikalen Auflösungsvermögens zu erreichen.

### Transversalwellengeschwindigkeit $v_s$ für Sedimente

Geschleibemergel	ca. 200 - 300 m	$\cdot s^{-1}$
Sand	ca. 300 - 500 m	$\cdot s^{-1}$
Schluff	ca. 300 m	$\cdot s^{-1}$
Ton	ca. 400 m	$\cdot s^{-1}$
Braunkohle	ca. 200 - 280 m	$\cdot s^{-1}$

### Anregungssysteme

- mechanische Quellen
- Sprengladungen (Schurfschußmethode)

Anregung von Transversalwellen (SH-Wellen) setzt eine horizontal gerichtete Kraftübertragung auf den Boden voraus.

### Feldmethodik

Geringe Schubpunktabstände (um 20 m) bei sehr dichter Geophonbelegung und aus Aufwandsgründen geringem Überdeckungsgrad.

### Bearbeitungsmethodik

CDP-Methodik (optimale konstruktive Superposition (Stapelung) digitaleisemischer Meßdaten als klassisches Ergebnis der "Digitaleisemik").

### Probleme bei der Anwendung der Nahseisemik mit Transversalwellen

#### - Oberflächensituation

- Quelle versagt bei zu hohem Grundwasserstand und bei sehr lockerem Anregungsmedium (Sandboden, moorig-torfige Sedimente).

- ungünstige Empfangseigenschaften liegen im Wald und bei künstlich aufgelockertem Boden vor (frisch gepflügter Acker).

- Von Lagerstätte zu Lagerstätte bzw. innerhalb eines Lagergebietes wechseln die seismischen Verhältnisse mitunter sehr stark. Das betrifft reflektierende Schichtgrenzen ebenso wie die allgemeine Geschwindigkeitssituation, die die Vielfalt tertiärer Ablagerungen widerspiegelt. Daraus resultiert die Notwendigkeit, bei den seismischen Arbeiten auch eine gewisse Anzahl von Geschwindigkeitsmessungen (Vertikalprofilierungen in Bohrungen) vorzunehmen.

#### - Bebauung.

### Weiterführende Literatur

PATZER, U.; GRÄSSL, S.: Möglichkeiten der seismischen Erkundung von Braunkohlenlagerstätten; WTI des ZGI 10 (1969), Sonderheft 3, S. 75 - 103

RISCHE, H.; HARTMANN, B.: Schußgruppierung bei Transversalwellenanregung; Geophys. u. Geol., Geophys. Veröff. d. KMW Leipzig, Bd. II, H. 3 Berlin 1981

Autorenkollektiv: Analyse des Einsatzes oberflächengeophysikalischer Verfahren in der Braunkohlenerkundung; VEB Geophysik Leipzig, 1982 (unveröffentlicht).

## Vibrationsseismik (GSL)

### Einsatzmöglichkeiten

- Prospektion unter erschwerten Bohrbedingungen für Schußbohrungen
- seismische Untersuchungen in bebauten Gebieten
- Erkundung fester mineralischer Rohstoffe in geringen Tiefen
- in Gebieten, die besonderen Umweltschutzbedingungen unterliegen.

### Anregungssysteme

Vibrator mit Anregung von P-Wellen als Nutzwelle; 16 - 32 Anregungen pro Anregungspunkt, die summiert, korrigiert und dann inverse gefiltert werden. Die Inversion des Korrelogramms führt zu einem CDP-Stapelzeitschnitt, der dem der Sprengseismik vollständig gleichwertig ist.

### Bearbeitungsmethodik

CDP-Methodik (Stapelzeitschnitt entsprechend Sprengseismik).

#### Vorteile der Vibrationsseismik

- Manipulierbarkeit des seismischen Signals ("sweep")
- Störfestigkeit des Verfahrens
- Umweltfreundlichkeit.

### Probleme beim Einsatz der Vibrationsseismik

- relativ hoher Investitions-, Bedienungs- und Serviceaufwand
- begrenzte Dynamik der Vibrogramme mangels Möglichkeit der Anpassung der Registrierverstärkung an die Stärke der seismischen Signale
- Langsamgewichtmächtigkeiten  $> 15 \text{ m}$  (Dünen, Endmoränen) und/oder extrem wechselhaft
- Waldgebiete außerhalb von Waldwegen und Schneisen
- dichte Bebauung mit großer Bodenunruhe.

### Weiterführende Literatur

FORKMANN, B.; SCHEIBE, R.; SEITZ, R.:  
Vibrationsseismik als nahseismisches Verfahren;  
Z. f. angewandte Geologie 27, 1981

FORKMANN, B.:  
Verfahren und Probleme der seismischen Energieanregung  
mit Hilfe von sprengstofflosen Oberflächenquellen;  
Z. f. angewandte Geologie 19, 1973, 3, S. 127 - 136.

### 3.1.1.2. Refraktionsseismik

Fällt ein seismischer Strahl unter dem sogenannten "Grenzwinkel der Totalreflexion" ein, wird er als gebrochener Strahl an der Schichtgrenze mit der Geschwindigkeit des Mediums 2 entlanggeführt.

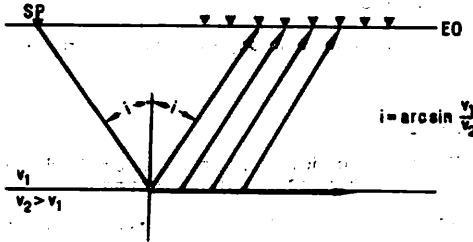


Abb. 3/1: Entstehung der refraktierten Welle an einer Schichtgrenze

Dabei kommt es zur Ausbildung einer sogenannten "Kopfwelle" im Medium 1, deren geradlinige Wellenfront unter einer Neigung  $i$  gegen die Schichtgrenze verläuft.

### Feldmethodik

- Profilmessung: Aufstellung der Seismographen über relativ große Entfernungen vom Schußpunkt, wobei die Registrierung als interferenzfreier zweiter Einsatz hinter der direkten Welle oder als erster Einsatz in größerer Schußpunktentfernung angestrebt wird.
- Für eine flächenhafte Aufnahme hat sich die Fächerschußtechnik bewährt, die zu Isochronenplänen für verschiedene Grundentfernungen führt, welche für Gebiete mit Känozoischer Bedeckung in der DDR vorliegen (vgl. 4.1.).



### Auswertung refraktionsseismischer Messungen

- Konstruktion refraktierender Horizonte in Tiefenprofilen aus Laufzeitkurven.
- Flächenhafte Darstellung von Gebieten gleicher Laufzeit für eine Grundentfernung (Isochronenpläne).
- Darstellung eines Geschwindigkeitsfeldes im Tiefenprofil (z. B. als Geschwindigkeitsverteilung in der Erdkruste und des oberen Erdmantels).
- Flächenhafte Darstellung der sogenannten Grenzgeschwindigkeit  $v_g$ .

### Einsatzmöglichkeiten

- Flächenhafte Kartierung der Prätertiäroberfläche in Untersuchungsgebieten mit geringem Kenntnisstand.
- Flächenhafte Verfolgung mesozoischer Refraktionshorizonte.
- Vermessung von Profilen zur Erforschung der Lithosphäre (Ra-Profile, K MgW (Korrelationsmethode gebrochener Wellen), STS (seismische Tiefensondierung)).
- Ingenieurgeologische Aufgabenstellungen.

### Weiterführende Literatur

MILITZER, H. & WEBER, F. (Herausgeber):  
Angewandte Geophysik, Bd. 3 (Seismik), in Druck, 1986,  
Akademie-Verlag Berlin.

### 3.1.2. Gravimetrie

Die Gravimetrie untersucht die Anziehungsbeschleunigung von Massen nach Richtung und Betrag.

Meßprinzip: Schweremesser, Längenänderung einer Feder bei Änderung der Schwerebeschleunigung in Abhängigkeit von Dichteänderungen im Untergrund

Meßgröße: Änderung der Schwerebeschleunigung

$\Delta g$  in  $\mu\text{m.s}^{-2}$

(früher: 1 Gal =  $0,01 \text{ m.s}^{-2}$ )

1 mGal =  $10^{-3}$  Gal =  $10 \mu\text{m.s}^{-2}$ )

Apparative Ausrüstungen: Federgravimeter, z. B.

- Sodin-Gravimeter (produziert in Kanada)
- Sharpe-Gravimeter (Vorgänger der Sodin-Gravimeter)
- GAK 4 M-Gravimeter (produziert in UdSSR)
- See-Gravimeter

Meßgenauigkeit: im Feldbetrieb 0,2 ... 0,05  $\mu\text{m.s}^{-2}$

#### Petrophysikalische Grundlagen:

Ausgewählte Dichten einiger Gesteine (in  $10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ )

Dioritgranite 2,58 ... 2,62

Granodiorite 2,69

Gabbro-Diabase 2,95

-----  
Phyllite 2,75

Glimmerschiefer 2,78

Gneise 2,72

Pyroxengneis 2,85

-----  
Geschiebemergel 2,2

Schluffe 1,3 ... 1,7

Ton 1,2 ... 2,2

Sand, Kies 1,6 ... 2,2

anmoorige Sedimente 1,1 ... 1,5

Braunkohle 1,0 ... 1,25

Prätertiär verwittert ab 1,9

unverwittert ab 2,2

(Lit.: SCHÖN, J.: Petrophysik, Akademie-Verlag, Berlin 1983)

Darstellung der Meßergebnisse (vgl. auch 5.2.3.2.).

Grundkarte mit Linien gleicher Bougueranomalie  $\Delta g$  ("Isogammen von  $\Delta g$ ")

Zur Trennung von Regional- und Lokalfeld werden Verfahren zur Feldertrennung angewandt:

- Transformationsmethoden zur Stockwerkstrennung

- Regionalfeld - Lokalfeld (Graphische Methode, Polynomentwicklung, Wellenlängenfilterung)
- Feldfortsetzung nach oben (Dämpfung oberflächennaher Einflüsse)
- Feldfortsetzung nach unten (stärkere Auflösung tiefer liegender Strukturelemente)

- Methoden der höheren Ableitungen

Erste und zweite Ableitung der Schwere nach der Z-Komponente bzw. den Horizontalkomponenten.  
(Entfernungsmäßige Verminderung der Störampplituden wächst mit der Ordnung der Ableitung - Betonung oberflächennaher Strukturen)

Die transformierten Felder besitzen im Bereich des Störkörpers den Wert Null.

- Nachweis und Tressierung tektonischer Störungen
- Umgrenzung von Granitkörpern und Erzlinen
- Lokalisierung von Salzstöcken
- Nachweis von strukturellen Hochlagen in sedimentären und kristallinen Einheiten

Die Verfahren zur Feldertrennung gestatten eine Stockwerksgliederung von Schwerekarten.

Schwereprofile

Durch Anwendung sog. direkter und indirekter Verfahren ist eine Berechnung von Schwereprofilen über geologischen Schnitten möglich:

direkte Verfahren - Berechnung des Schwereverlaufs auf der Grundlage eines Störkörpermodells

indirekte Verfahren - Modellierung von Lage und Form bzw. Abschätzung der Dichte von Störkörpern aus dem gemessenen Schwereverlauf.

Probleme bei der Durchführung gravimetrischer Messungen

- Bodenunruhe (Verkehr, Tagebautechnik)
- moorig-sumpfige Gebiete
- starkes Geländere relief
- sich verändernde Tagebau- und Kippengebiete
- oberflächennahe Dichteinhomogenitäten (Moore, entwässerte Sanddünen)

Die Aufschlußdichte geologischer Angaben spielt in der Gravimetrie keine dominierende Rolle.

Weiterführende Literatur

MILITZER, H.; SCHÖN, J.; STÜTZNER, U.; STOLL, R.:  
Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau;  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1978

SCHÜSSLER, K.:  
Gravimetrische Arbeiten zur Braunkohlenerkundung in der DDR;  
Zeitschrift für angewandte Geologie, 12 (1966) 11

HIRCHE, H. u. a.:  
Stand und Perspektive oberflächengeophysikalischer Verfahren  
bei der Erkundung volkswirtschaftlich wichtiger, fester mineralischer Rohstoffe in der DDR  
FFH C 261 (1975), S. 213 - 240

MILITZER, H. und F. WEBER (Herausgeber):  
Angewandte Geophysik, Teil 1 (Gravimetrie und Magnetik)  
Akademie-Verlag Berlin, 1984

MILITZER, H. und LINDNER, H.:  
Grundlagen der angewandten Gravimetrie  
Freiberger Forschungsheft C 339  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1979,  
195 S.

### 3.1.3. Geomagnetik

In einem homogenen Gestein entsteht unter dem Einfluß eines äußeren Magnetfeldes

$H \left[ \frac{A}{m} \right]$  die sog. magnetische "Induktion"

$B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H$ , mit

$$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot s}{A \cdot m}$$

$\mu$  - relative magnetische Permeabilität,

$\mu = 1 + K$ ;  $K$  = magnetische Volumen-Suszeptibilität.

Die Einheit der magnetischen Induktion ist das Tesla

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

In der angewandten Magnetik rechnet man meist mit Nanotesla (1 nT =  $10^{-9}$  T, früher 1  $\mu$  = 1 nT).

Die einem Gesteinselement in natürlicher Lagerung aufgeprägte Magnetisierung ist "induktiv" durch das heutige Erdmagnetfeld bedingt, kann aber darüber hinaus auch "remanente" Anteile enthalten.

Die Elemente des erdmagnetischen Feldes

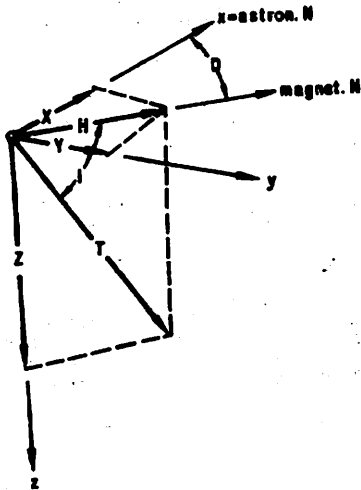


Abb. 3/2: Die Elemente des erdmagnetischen Feldes  
(Erläuterungen siehe Seite 72)

### Erläuterungen:

- X zeigt in Richtung astronomisch Nord und in Lotrichtung,  
T - Betrag der Totalintensität,  
Z - Betrag der vertikalen Komponente (Vertikalintensität)  
H - Betrag der horizontalen Komponente (Horizontalintensität)  
D = Deklination (Winkel zwischen astronomisch und magnetisch Nord)  
I = Inklination (Winkel zwischen Horizontal- und Totalintensität).

Die Feldstärke der erdmagnetischen Induktion wird durch den Vektor  $\vec{B} = \vec{T}$  (Totalintensität) als Funktion des Ortes dargestellt.

Als "Elemente" des Feldes bezeichnet man die Komponenten des Vektors nach bestimmten Richtungen und die Winkel zwischen T und den Koordinatenrichtungen (siehe Abb. 3/2).

### Aufgabenstellung der angewandten Magnetik

Die Aufgabe der angewandten Magnetik besteht darin, aus der Ermittlung regionaler oder lokaler Anomalien des erdmagnetischen Feldes Rückschlüsse auf räumliche Lage, Abgrenzung und Ausbildung geologischer Strukturen zu ziehen, die gegenüber dem Nebengebirge eine unterschiedliche magnetische Wirksamkeit besitzen, z. B.

- Regionaluntersuchungen zur tektonischen Analyse, besonders im Kristallin,
- regionale und lokale Untersuchungen zur Abschätzung des Reliefs sowie der Zusammensetzung des verdeckten Grundgebirges,
- lokale Untersuchungen zum Nachweis magnetisch wirksamer Vererzungen sowie von Lagerstätten für Bau- und Zuschlagstoffe.

Die Magnetik wird auch beim bergmännischen Abbau sowie bei der Lösung einer Reihe geotechnischer, archäologischer oder technischer Probleme eingesetzt.

Magnetische Messungen sind im Bohrloch, an der Erdoberfläche und aus der Luft (Aeromagnetik) möglich.

### Petrophysikalische Grundlagen

Die magnetischen Eigenschaften der Gesteine werden vor allem von den Eigenschaften ihrer Hauptbestandteile (meist dia- oder paramagnetisch) und in ihnen enthaltener ferri- bzw. ferromagnetisch wirksamer Akzessorien bestimmt.

Mittlere Wertebereiche der magnetischen Suszeptibilität verschiedener Gesteinsarten:

Granit	0 ... 10 <sup>-2</sup>	[SI]
Basalt	5 · 10 <sup>-4</sup> ... 0,5	
Phyllit	0 ... 10 <sup>-3</sup>	
Glimmerschiefer und Gneis	0 ... 4 · 10 <sup>-2</sup>	
Skarn	0 ... 1	
Eisenquarzit	5 · 10 <sup>-3</sup> ... 5	

(Lit. SCHÜN, J.: Petrophysik, Akademie-Verlag, Berlin 1983)

### Apparative Ausrüstungen

Nach dem physikalischen Meßprinzip kann folgende Einteilung getroffen werden:

- mechanisch-optische Geräte (Feldwaagen),
- mit Hilfe von Induktivitäten (Induktionsspulen, Magnetometer, Sättigungskernmagnetometer),
- auf der Grundlage der Beobachtung von Elektronenstrahlen (Magnetron),
- unter Nutzung atomphysikalischer Vorgänge (Kernpräzessionsmagnetometer, Absorptionszellennagnetometer),
- festkörperphysikalische Erscheinungen (Hall-Generator, Supraleitfähigkeitsmagnetometer).

In der DDR wird das Kernpräzessionsmagnetometer (KPM) eingesetzt.

Meßgröße ist die Änderung der Totalintensität in nT.

Das Meßprinzip beruht auf der Präzession freier Protonen unter dem Einfluß des erdmagnetischen Feldes nach Abschalten eines Polarisationsstromes.

Meßgenauigkeit: ± 1 nT im Feldbetrieb (0,1 - 1 nT).

### Darstellung der Meßergebnisse

- Isanomalien in  $\Delta T$  ( $\Delta Z, \Delta H$ )  
 $\Delta T = T$  gemessen +  $\Delta T$  Korrektur -  $\Delta T$  Normalfeld
- Profildarstellung in  $\Delta T$  ( $\Delta Z, \Delta H$ ).



### Interpretation der Meßergebnisse

Die Anomalie kennzeichnet die Wirkung verborgener geologischer oder künstlicher Störkörper. Ursache dieser Anomalien sind

- a) Unterschiede in der Suszeptibilität der verschiedenen Gesteine bzw. ein- und desselben Gesteins in unterschiedlicher Lagerungstiefe
- b) magnetisch wirksame künstliche Störkörper.

### Einsatzgebiete der Magnetik in Suche und Erkundung

- geomagnetische Regionalvermessungen
  - bei geringem Erkundungsstand als Vorlaufmethode für weitere geophysikalische und geologische Untersuchungen (Einsatz aeromagnetischer Meßtechnik),
  - Abgrenzung von Plutoniten und Vulkanitprovinzen,
- geomagnetische Spezialmessungen
  - zur Suche und Erkundung vererzter Bereiche (Magnetit, Ilmenit, Magnetkies, Chromit und alle Erze mit Anteilen von Magnetit),
  - zur Abgrenzung vulkanischer Bildungen (Basaltoide) z. B. im Salzgebirge,
  - zur Kartierung verdeckter Gesteinskontakte, tektonischer Störungen sowie von Bereichen mit tiefgründigem Zersatz oder postumer Mineralisation,
- mikromagnetische Untersuchungen
  - zur Lokalisierung von Gesteinsgrenzen auch magnetisch schwach wirksamer Komplexe unter geringmächtiger Bedeckung,
- zur Bestimmung von Schüttungsrichtungen von Sedimenten sowie der Fließrichtung von Vulkaniten.

### Aeromagnetische Messungen

Magnetische Messungen aus der Luft mittels Aeromagnetometer gehören zu den rationellsten geophysikalischen Such- und Erkundungsarbeiten. Die Rentabilität kann außerdem durch Kombination mit aeroelektromagnetischen und aeroradiometrischen Messungen noch erhöht werden (vgl. 4.4.).

Geeignete Instrumente für den Einsatz in Flugzeugen oder Hubschraubern sind:

- Sätturatiokernmagnetometer
- Kernpräzessionsmagnetometer (Hubschrauber),
- Absorptionszellenmagnetometer,
- SQUID-Magnetometer.

Bevorzugt erfolgt die Unterbringung des Meßelementes in einem Schleppkörper (bird) an einem 30 ... 150 m langen Kabel.

#### Weiterführende Literatur

MILITZER, H.; SCHÖN, J.; STÜTZNER, U.; STOLL, R.:  
Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau,  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1978

FANSELAU, G. (Herausg.):  
Geomagnetismus und Aeronomie, Bd. II: Geomagnetische Instrumente  
und Meßmethoden  
Bd. III: Über das aus dem Erdinnern  
stammende Magnetfeld  
VEB Deutscher Verlag der Wissenschaft, Berlin, Bd. II, 1960, 648 S.  
Bd. III, 1959, 632 S.

MEISSER, O.: Praktische Geophysik;  
Verl. Th. Steinkopff, Dresden, 1943, 368 S.

ANGENHEISTER, G.; SOFFEL, H.:  
Gesteinsmagnetismus und Paläomagnetismus  
Studienhefte z. Physik des Erdkörpers 1, Gebr. Borntraeger,  
Berlin/Stuttgart, 1972,  
110 S.

KÖHLER, K.: Grundlagen für die Auswertung von magnetischen  
Anomalien; FFH, C 41, Berlin 1958, 128 S.

LINDNER, H.; SCHEIBE, R.:  
Interpretationstechnik für gravimetrische und magnetische Felder  
FFH, C 322, Leipzig 1977, 90 S.

MILITZER, H. und F. WEBER (Herausgeber):  
Angewandte Geophysik, Teil 1 (Gravimetrie und Magnetik),  
Akademie-Verlag Berlin 1984

MILITZER, H. und SCHEIBE, R.:  
Grundlagen der Angewandten Geomagnetik  
FFH, C 352  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1981, 341 S.

### 3.1.4. Geoelektrik

Aus der Vielzahl der bekannten Verfahrensvarianten werden diejenigen behandelt, die in der DDR große praktische Bedeutung besitzen bzw. als Eigenleistung durchgeführt werden.

#### 3.1.4.1. Eigenpotentialmethode

##### Meßprinzip:

Die an der Erdoberfläche zwischen zwei unpolarisierbaren Sonden ( $S_1$ ,  $S_2$ ) abgegriffene Spannung  $\Delta U$  wird durch einen mittels Potentiometer regelbaren Spannungsabfall kompensiert. Der Spannungsabfall zwischen  $S_1$  und  $S_2$  in Millivolt ist ein direktes Maß für die Intensität der auftretenden Eigenpotentiale.

##### Apparative Ausrüstung:

Unpolarisierbare Elektroden, hochohmiges Voltmeter.

##### Meßgröße:

Spannungsdifferenz  $\Delta U$  in mV.

##### Meßgenauigkeit:

1 ... 10 mV

##### Darstellung der Meßergebnisse

- profilmäßige Darstellung der gemessenen elektrischen Eigenpotentialdifferenzen länge einer bestimmten Richtung,
- flächenhafte Darstellung von Linien gleichen elektrischen Eigenpotentiale in der Vertikalebene nach Messungen in verschiedenen Niveaus.

##### Interpretation der Meßergebnisse

- Festlegung der Lage, der Ausdehnung und des Einfallens natürlich polarisierter Körper (negative Potentialzentren),
- Analyse möglicher Filtrationseffekte (elektrokapillare Reaktionen),
- Bestimmung der Störkörpertiefe nach Messungen in verschiedenen Niveaus.

**3.1.4.2. Widerstandsverfahren  
(mit Gleich- oder Wechselstrom)**

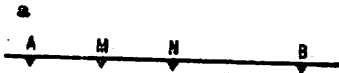
**Meßprinzip:**

Ober zwei Punkt- oder (seltener) Linienelektroden wird dem Boden an den Punkten A, B ein Gleich- oder niederfrequenter Wechselstrom zugeführt. Mittels zweier Meßsonden M und N werden an zwei anderen Punkten die durch den Strom verursachten Spannungsdifferenzen gemessen.

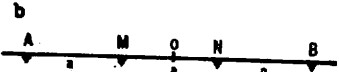
**Apparative Ausrüstung:**

- diverse widerstandselektrische Meßapparaturen,
- Erdungsmesser (Kurbelinduktor, Trafo, Potentiometer).

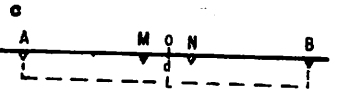
Meßanordnungen für geoelektrische Widerstandsmessungen:



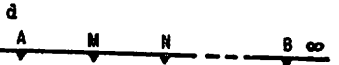
Vierpunktanordnung



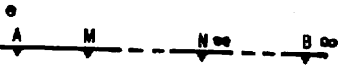
WENNER-Anordnung  
(AM = MN = NB = a)



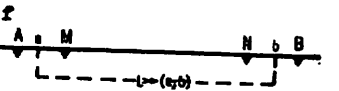
SCHLUMBERGER-Anordnung  
(L >> d)



Dreielektrodenanordnung  
(HUMMEL-Anordnung)



Zweielektrodenanordnung



Dipolanordnung



nicht geradlinige Vier-  
elektrodenanordnung



fokussierende Anordnung

**Meßgröße:** Spannungsdifferenz  $\Delta U_{MN}$  [mV] bzw. Widerstand R [ $\Omega$ ]

**zulässiger Meßfehler:**  $10^{-2}$  x Meßgröße

#### Widerstandekartierung

Die gegenseitige Lage der Meß- und Speiseelektroden A, M, N, B bleibt längs eines Profiles oder über einer Untersuchungsfläche konstant (gleiche Tiefenreichweite).

#### Widerstandessondierung

Der Mittelpunkt der Meßanordnung und die Profilrichtung werden beibehalten. Der Abstand der Speiseelektroden A, B, wird gegenüber den Meßelektroden schrittweise vergrößert (schrittweises Erhöhen der Eindringtiefe).

#### Drehsondierung

Die Elektrodenanordnung wird schrittweise um den Mittelpunkt gedreht (Messung von  $\Delta U_{M,N}$  in verschiedenen Azimuten).

#### Darstellung der Meßergebnisse

##### - Widerstandekartierung

- profilmäßige Darstellung des Verlaufs des scheinbaren spezifischen Widerstandes  $\rho_s$  [ $\frac{\Omega m}{cm}$ ] längs einer Profilrichtung für eine vorgegebene Elektrodenanordnung

$$\rho_s = K \frac{\Delta U}{I} = K \cdot R \text{ [ $\frac{\Omega m}{cm}$ ]}, \text{ mit}$$

K - Konfigurationsfaktor der Elektroden-Sonden-Anordnung;

- flächenhafte Darstellung von Linien mit gleichem scheinbarem spezifischen Widerstand in der Meßebene.

##### - Widerstandessondierung

- Sondierungskurven in Form doppeltlogarithmischer Darstellungen von  $\rho_s$  [ $\frac{\Omega m}{cm}$ ] über einer "Pseudotiefe" z. B. AB/".

Bestimmung der Schichtwiderstände und Schichtmächtigkeiten mittels numerischer Berechnung bzw. durch Auswertung der Sondierungskurven mittels Kurvenatlanten.

- Darstellung elektrisch erfaßter Horizonte einschließlich deren wahrer spezifischer Widerstände in Tiefenprofilen.

### Interpretation der Meßergebnisse

Geoelektrische Anomalien kennzeichnen Inhomogenitäten einschließlich ihrer Tiefenlage und Streichrichtung, die sich gegenüber der Umgebung durch einen Widerstandskontrast auszeichnen:

- Kartierung von Gesteinsgrenzen, tektonischen Störungszonen und mineralisierten Gangspalten,
- Ausgliederung bindiger Lockersedimente, die von Sanden und Kies begleitet werden,
- Strukturerkundung glazigen beanspruchter Schichten,
- Abgrenzung von Süß-, Brack- und Salzwasser,
- Ermittlung von Veränderungen hydrogeologischer und bautechnischer Eigenschaften u. a. m..

### 3.1.4.3. Methode des geladenen Körpers (mise à la masse)

#### Meßprinzip:

Untersuchung elektromagnetischer Felder von punktförmigen Quellen, die auf dem zu untersuchenden geologischen Objekt oder in dessen unmittelbarer Nähe geerdet werden. Der geologische Körper besitzt gegenüber den umgebenden Gesteinsschichten eine höhere elektrische Leitfähigkeit. Die Äquipotentiallinien an der Erdoberfläche bilden in unmittelbarer Nähe des geladenen Körpers dessen Form ab.

#### Apparative Ausrüstung:

Wechselstromgenerator im Schallbereich  
(Stromquelle und Erdungen A, G), Meßkreis  
(Sonden M, N und Nullindikator)

#### Darstellung der Meßergebnisse

Die Resultate der Isolinienaufnahme über dem geladenen Körper stellt man in einer Karte der Äquipotentiallinien dar. Bei Messungen des Potentials (Basis- und Wanderelektrode) und des Potentialgradienten erstellt man Karten der Graphiken der Potentiale bzw. Potentialgradienten. Bei der Messung des Magnetfeldes über dem geladenen Körper werden in Graphiken und Karten die beobachteten Elemente des magnetischen Feldes (Vertikal- und Horizontalkomponente, Neigungswinkel) dargestellt.

### Interpretation der Meßergebnisse

Mit Hilfe der Methode des geladenen Körpers werden geologische Bildungen (Erzkörper, Anthrazitvorkommen, unterirdische Wasser u. a.), die durch Bergbauarbeiten oder in Bohrungen an einem oder mehreren Punkten angefahren wurden, durch ihre höhere elektrische Leitfähigkeit in der Form der Äquipotentialflächen, der Potentialgradienten bzw. der magnetischen Feldkomponenten abgebildet.

#### 3.1.4.4. Induzierte Polarisation (IP)

##### Meßprinzip:

Dem Boden werden über Speiseelektroden (A, B) Rechteckimpulse zugeführt, die je nach Gerätetyp von verschiedener Dauer sind (0,1 s ... 120 s). Zur Vermeidung einer störenden Polarisation der Elektroden werden die Stromimpulse periodisch ungepolt. In der Abschaltzeit, die meist mit der Dauer der Stromimpulse übereinstimmt bzw. diese übersteigt, erfolgt die Aufnahme des sich abbauenden elektrischen Feldes zwischen den Sonden M und N.

##### Apparative Ausrüstung:

###### Erdungsmesser

(Die Messungen der induzierten Polarisation werden im Zeit- und Frequenzbereich mit den Meßaufstellungen durchgeführt, wie sie aus der Widerstandsgeoelektrik bekannt sind.)

##### Meßgröße:

- im Zeitbereich - scheinbare Polarisierbarkeit bzw. Polarisations-suszeptibilität  $\chi_t$

$$\chi_t^T = \frac{\Delta U_{IP,t}}{\Delta U_{MN}} \cdot 100 \text{ } \%, \text{ mit}$$

$\Delta U_{IP,t}$  - Polarisationsspannung an MN zum Zeitpunkt t nach Abschalten des Stromes,

$\Delta U_{MN}$  - Spannung an MN während des Stromflusses mit der Zeitdauer T;

- im Frequenzbereich - komplexer Gesteinswiderstand  $Z(\omega)$  bzw. dessen Realteil, mit

$$Z = R + i \frac{1}{\omega C}$$

R - OHMScher Widerstand,

C - Kapazität,

$\omega$  - Kreisfrequenz

(Darstellung des Gesteins in Form einer Parallelschaltung von einem OHMSchen Widerstand R und einer Kapazität C).



Als charakteristisches Maß für die induzierte Polarisation wird daraus der sog. scheinbare Frequenzeffekt (FE) berechnet ( $Z(\omega)$  für zwei verschiedene Frequenzen)

$$FE_{2-1} = \frac{Z(f_1) - Z(f_2)}{Z(f_1)} \cdot 100 \%$$

#### Darstellung der Meßergebnisse

- Profil- bzw. flächenhafte Darstellung der Polarisations-suszeptibilität bei Zeitbereichsmessungen
- Profil- bzw. flächenhafte Darstellung des scheinbaren Frequenzeffektes bei Messungen im Frequenzbereich.

#### Interpretation der Meßergebnisse

Die induzierte Polarisation beruht auf elektrochemischen Vorgängen im Untergrund. Die IP-Anomalien zeigen Zonen verschiedener Ionenkonzentrationen im Boden und elektrochemische Potentiale an den Grenzflächen Metall/Elektrolyt an, die durch Ionendiffusion entstehen.

#### 3.1.4.5. Elektromagnetische Verfahren

##### a) Induzierte Niedrigfrequenzmethoden

Zur Gruppe der niedrigfrequenten Verfahren gehören die induktiven Methoden, in denen ein Feld verwendet wird, das sich harmonisch im Frequenzbereich von 1 ... 10 000 Hz ändert:

- "Methode der nicht geerdeten Schleife"
- "Methode des unendlich langen Kabele" (Turam-Messungen)
- "Induktive Dipolprofilierung" (Slingrammethode).

#### Meßprinzip:

Über eine Schleife bzw. ein Kabel wird in den Boden ein Wechselstrom eingespeist. Mit einer bzw. zwei Empfängerspulen erfaßt man im allgemeinen die magnetischen Komponenten des summarischen oder Anomalienfeldes auf Profilen innerhalb der ausgelegten Schleife oder senkrecht zum geerdeten Kabel. Es besteht auch die Möglichkeit der Erfassung der Komponenten des elektrischen Feldes, die man zum magnetischen Feld in Bezug setzen kann.

### Apparative Ausrüstung:

- Amplitudenvolmeter Typ IMA  
(Meßeinrichtung der magnetischen Amplitude)
- Amplitudenphasenmesser  
(Relativmessung der Amplituden und Phasenunterschiede)

### Meßgröße:

- Amplitude bzw. Amplitudenverhältnis der in den Empfängerwindungen induzierten Spannungen
- Phasenlage der Meßspannung relativ zur Primärspannung.

### Darstellung der Meßergebnisse

Die Resultate der Übersichtsaufnahme werden als kurvenmäßige bzw. flächenhafte Darstellungen der Amplituden der Komponenten des Magnetfeldes oder der Elemente der Polarisationsellipse dargestellt. Die Resultate der detaillierten Vermessungen in verschiedenen Frequenzbereichen werden als Graphiken der Amplituden und der Phasenverschiebungen als Funktion der Frequenz dargestellt.

### Interpretation der Meßergebnisse

Über gutleitenden Störkörpern zeigen die sog. "Quoten" (Amplitudenquotienten) deutliche Maxima, während dort die Phasenunterschiede Minima aufweisen.

### b) Radiowellen-Methoden (VLF-very low frequencies)

Auf elektromagnetische Felder mit Frequenzen der Radiowellen von 0,1 bis einige 100MHz werden mit einem bestimmten Näherungsgrad die Gesetze der geometrischen Optik angewandt (Reflexion, Brechung, Polarisation, Absorption).

Aus den verschiedenen Modifikationen der Radiowellen-Methoden wird im folgenden die Radiowellen-Profilierung aufgrund ihrer praktischen Bedeutung im geologischen Erkundungsprozeß beschrieben.

### Radiowellen-Profilierung (VLF)

#### Meßprinzip:

Bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, die von Radiostationen ausgestrahlt werden, längs der Erdoberfläche, dringt ein Teil der elektromagnetischen Energie in die Tiefe des geoelektrischen Querschnittes ein.

Dabei treten neben anderen Erscheinungen (Absorption, Reflexion) induzierte Ströme auf, die ein sekundäres Magnetfeld erzeugen, welches gleichzeitig mit dem primären Feld existiert. Die Methodik der Feldarbeit gründet sich gewöhnlich auf die Messung der vertikalen Komponente des Magnetfeldes.

#### Apparative Ausrüstung:

Apparatur EDA (CSSR)  
VLF-Apparatur MO 1  
(Bestimmung der Elemente der magnetischen Polarisationsellipse mittels gekreuzter Ferritpulen).

#### Meßgröße:

Übersichtsaufnahme - vertikale Komponente des Magnetfeldes

Detailmessung - Horizontalkomponente des Magnetfeldes, Kippwinkel, Achsenverhältnis der Polarisationsellipse.

#### Darstellung der Meßergebnisse

Die Ergebnisse der Beobachtung werden in Form von Profilkurven der beobachteten Größen des Feldes dargestellt. Die Interpretation der Ergebnisse trägt meist qualitativen Charakter und beinhaltet die Hervorhebung von Zonen mit anomalem Verhalten der Felder. Charakteristische Anomalien werden zwischen den Profilen korreliert.

#### Interpretation der Meßergebnisse

Die Hauptanomalien treten über Gesteinsadern, Schichten und Kontakten auf. Die VLF-Methode hat sich bei der Kartierung von Bruchstörungen bewährt.

Hauptquellen von Störungen sind:  
Künstliche Leitungen, Relief-Unebenheiten, Inhomogenitäten in der Deckschicht, Gewässernetze und Vegetation.

Ein hoher Störungsbetrag begrenzt in Verbindung mit einem verhältnismäßig großen Skineffekt des hochfrequenten Feldes die Tiefenwirksamkeit dieser Methode.

Die geologische Hauptaufgabe liegt in der kleinmaßstäbigen flachen geologischen Kartierung in den Gebieten mit geringmächtigen Deck-schichtablagerungen und relativ gleichmäßigem Relief.

Infolge der niedrigen Kosten und der hohen Produktivität der Feldarbeit besitzt diese Methode erhebliche Vorteile gegenüber anderen Methoden.

### Anwendung induktiver elektromagnetischer Aeromethoden

- Methode der nichtgeerdeten Schleife
- Methode des unendlichen Kabels ("Turam"-Methode)
- Dipol-Induktions-Profilierung ("Slingram"-Methode)
- Methode der Übergangsprozesse

Die genannten Verfahren haben ihr Hauptanwendungsgebiet in der Erzerkundung und sind als effektive Aerovarianten im Einsatz.

Neuerdings werden auch Radiowellenmethoden (VLF-Methode) für aerogeoelektrische Messungen eingesetzt (vgl. 4.4.). Diese Methode mit der relativ größten Eindringtiefe eignet sich besonders für Probleme der geologischen Kartierung und zum Nachweis tektonischer Störungen.

### Weiterführende Literatur

PORSTENDORFER, G. u. a.:  
Grundlagen der Anwendung der Geoelektrik in der Suche und  
Erkundung, Teil I - IV  
Internes Lehrmaterial der BA Freiberg, Sektion Geowissenschaften  
Wb. Angewandte Geophysik, 1981

JAKUBOVSKIJ, J. V.:  
Elektrorazvedka - Moskau, Verlag Nedra, 1980

MILITZER, H. und WEBER, F. (Herausgeber):  
Angewandte Geophysik, Band 2 (Geoelektrik-Geothermik-Radiometrie-  
Aerogeophysik);  
Akademie-Verlag Berlin, 1985

### 3.1.5. Weitere Verfahren

#### 3.1.5.1. Geothermie

##### Apparative Ausrüstung:

Quecksilberthermometer  
Thermoelement  
Widerstandsthermometer (Metall, Thermistor)  
Bimetall-Thermometer  
Infrarot-Meßapparat

##### Meßgröße:

T (in K) bzw.  $\Delta T$  (in K)  
Amplitude und Frequenz der Wärmestrahlung

##### Meßgenauigkeit:

$10^{-3} \dots 10^{-1}$  K (je nach Ausrüstung)

##### Darstellung der Meßergebnisse

Karten- und Profildarstellung der Temperatur oder Temperaturdifferenz als Isothermen.

##### Interpretation der Meßergebnisse

Geologische Körper mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit, die in den homogenen Wärmestrom aus dem Erdinnern eingelagert sind, verformen den homogenen Wärmefluß und bilden sich so an der Erdoberfläche ab. Weiterhin können Temperaturanomalien an der Erdoberfläche bedingt sein durch zirkulierende Wässer, Oxydationsprozesse, radioaktive Ausecheidungen, vulkanogene Prozesse, aber auch durch unterirdisch vorliegende Dampf- bzw. Warmwasserleitungen.

##### Einsatzkriterien geothermischer Messungen

Geothermische Messungen einschließlich IR-Messungen spielen in der gegenwärtigen Erkundungspraxis eine untergeordnete Rolle.

Einsatzmöglichkeiten bestehen in der Strukturerkundung, beim Nachweis von Störungen, auf denen Wässer erhöhter Temperatur zirkulieren, und bei der Erkundung von Sulfidzirkörpern.

Auch für ingenieurgeologische Aufgaben (Hohlraumerkundung, geothermische Dichtigkeitskontrolle, Kontrolle der Durchlässigkeit von Staudämmen u. a. m.) sind sie geeignet.

Neben Oberflächensmessungen bieten geothermische Messungen in Bohrungen günstige Möglichkeiten der geothermischen Erkundung und Gewinnung von Daten in Tiefbohrungen (Zementkopfbestimmung, Gas- und Wasserzuflüsse, Schlen- und Ringraumtemperaturen usw.).

#### Weiterführende Literatur

BUNTEBARTH, G.:  
Geothermie; Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1980)

OELSNER, Chr.:  
Geothermische Oberflächenprospektion mittels IR-Strahlungstemperaturen  
Habilitationsschrift, Bergakademie Freiberg (1969), unveröff.

OELSNER, Chr.:  
Verfahren und Anordnung zur geothermischen Prospektion, insbesondere an der Erdoberfläche;  
DDR-Patentschrift 75584 (1970)

OELSNER, Chr.:  
Verfahren zum Nachweis und zur Lokalisierung von Hohlräumen in Gesteinsformationen;  
DDR-Patentschrift 119 881 (1976)

SCHUSTER, K.:  
Methodische und apparative Entwicklungen geothermischer Verfahren für Anwendungen im Bergbau und in der Tiefenerkundung;  
Freiberger Forschungsheft C 232  
VEB Dtsch. Verl. f. Grundstoffindustrie Leipzig 1968, S. 1 - 45

Geothermie-Atlas der DDR; ZGI Berlin, 1984 (unveröff.)

#### 3.1.5.2. Radiometrie und kerngeophysikalische Verfahren

##### Begriffsbestimmung:

Aus der Untersuchung der Radioaktivität von Gesteinen und Gewässern können geologische Aussagen abgeleitet werden. Hierzu werden die Strahlungen der natürlichen radioaktiven Elemente an vorbereiteten Proben, an Handstücken, an Bohrkernen, in Bohrlöchern, in Grubenbauen, am Meeresboden usw. gemessen (Radiometrie).

Bei den kerngeophysikalischen Verfahren untersucht man die Wechselwirkung von Gesteinen mit der Strahlung künstlich hergestellter Strahlenquellen. Auf diese Weise kommt man zu Aussagen über physikalische Eigenschaften (z. B. Dichte, Feuchte ...) und chemische Zusammensetzung des Gesteins.

Apparative Ausrüstung:

a) Messung der natürlichen Radioaktivität

- Gamma-Radiometer (Szintillatoren höherer Empfindlichkeit, Zählrohre),
- Gamma-Spektrometer (Mehrkanaal-Spektrometer mit Szintillatoren als Strahlungswandler),
- Emanometer (Hg- und Radon-Messungen).

b) Verwendung künstlicher Kernstrahlung

- Gamma-Radiometer (Zählrohr, Szintillator)  
Strahlungsquellen: Co 60, Ra 226, Cs 137 für weiche Strahlung  
Se 75,
- n-Radiometer.

Meßprinzip:

- Gamma-Radiometer: Integrative Messung der Gamma-Strahlung der Folgenuklide von Uran, Thorium und Kalium 40 bzw. der gestreuten Gamma-Strahlung einer Quelle.
- Gamma-Spektrometer: Selektive Messung der natürlichen Gamma-Strahlung der einzelnen strahlenden Elemente.
- Emanometer: Hg-Rn-Bodenluftmessungen in der obersten Bodenschicht mittels Ionisations- oder Szintillationsmessung bzw. Festkörperspurdetektoren und Halbleiterdetektoren.
- n-Radiometer: Neutronen werden beim Durchgang durch das Medium gebremst und breiten sich durch Diffusion aus. Bei unveränderlicher geometrischer Anordnung ist die Dichte der thermischen Neutronen ein Maß für den Protonengehalt des Mediums (8 Wassergehalt bzw. Porosität).

Bei der SDAG Wiesmut existiert die Arbeiterichtung "Anwendung kernphysikalischer Verfahren bei der Erkundung und Gewinnung nicht-radioaktiver Erze" (z. B. Zinn).

Folgende Geräte sind dabei von Interesse:

- PAZ-Q: Physikalischer Analysator für Sn (quantitativ)
  - tragbares Gerät zur untertägigen quantitativen Bestimmung von Sn sowohl am Anstehenden als auch in Erkundungs- und Sprenglöchern
  - Meßprinzip: Röntgenfluoreszenz-Analyse (Primärquelle  $^{241}\text{Am}$ , Targetmaterial  $\text{EuO}_2$ , Szintillationdetektor).
  - Nachweisgrenze: 0,05 % Sn (Messung am Anstehenden)  
0,1 % Sn (bei BLM)
- PAZ-P: Analoges Gerät für Pulverproben im Labor  
Nachweisgrenze: 0,03 % Sn.

Die radiometrischen und kerngeophysikalischen Messungen existieren in Oberflächen- und Bohrlochvarianten, und die Messung der natürlichen Gamma-Strahlung wird erfolgreich als Aerovariante eingesetzt (vgl. 4.4.).

#### Darstellung der Meßergebnisse

Karten bzw. Profile der Gehalte der Elemente bzw. von berechneten Verhältnissen zwischen verschiedenen Elementen.

#### Interpretation der Meßergebnisse

- Dichtebestimmung von Locker- und Festgesteinen
- "Bemusterung" von Rohstoffen
- Gliederung und Korrelation von Bohrprofilen
- Nachweis und quantitative Bestimmung von Elementen
- Abgrenzung von Gesteinskörpern mit unterschiedlicher Radioaktivität
- Nachweis von Zonen erhöhter Porosität und Permeabilität im Gestein.

#### Weiterführende Literatur

MILITZER, H. und WEBER, F. (Herausgeber):  
Angewandte Geophysik, Bd. 2 (Geoelektrik-Geothermie-Radiometrie-Aerogeophysik), Akademie-Verlag, Berlin, 1985

KAPLER, R.:  
Freiberger Forschungsheft C 392  
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1984



### 3.2. Bohrlochmessung

Im Prinzip werden bei der geophysikalischen Bohrlochmessung die von den Oberflächenmessungen bekannten Meßmethoden angewandt, und es gelten demzufolge die gleichen Wirkprinzipien. Sie hat sich jedoch zu einem relativ eigenständigen Arbeitsgebiet mit hohem Spezialisierungsgrad entwickelt. Das betrifft insbesondere die eingesetzte Meßtechnik, die Methodik und die Datenbearbeitung.

Die Aussagekraft der Bohrlochmessung als Komplex wächst mit der Anzahl der angewandten Wirkprinzipien, so daß die Mehrzahl der geologischen Bohrungen nach mehreren Verfahren vermessen wird. Dadurch kann die teure Gewinnung von Bohrkernen zur Gesteinsuntersuchung stark reduziert werden.

Die Bohrlochmessungen liefern eine anderweitig nicht gewinnbare Vielfalt der Daten der Gesteine in der bohrlochnahen Umgebung, die - weitgehend mittels EDV verarbeitet - zur Klärung zahlreicher geologischer Probleme beitragen.

In den folgenden Abschnitten wird vorrangig auf die verfahrenstechnische Seite der Bohrlochmessung eingegangen.

Fragen der mineralspezifischen Anwendung und Aussage sowie Möglichkeiten der Interpretation in ihren qualitativen Abstufungen werden in den entsprechenden Punkten "Bohrlochmessung" der Kapitel 5 bis 10 behandelt.

#### 3.2.1. Elektrische Verfahren

##### 3.2.1.1. Eigenpotential (SP)

Bei der Untersuchung natürlicher Eigenpotentiale ist zwischen

- den Eigenpotentialen sulfidischer Erzkörper und graphitischer Gesteine und
  - den Eigenpotentialen poröser Gesteine (vorwiegend Sedimente)
- zu unterscheiden.

Die Eigenpotentiale der sulfidischen Erzkörper und graphitischen Gesteine sind eine Folge elektrochemischer und physikalischer Vorgänge wie Oxydation, Reduktion, Diffusion, Migration und Dissoziation, wobei die Beschaffenheit des betreffenden Körpers und die Wechselwirkungen mit den beweglichen Stoffen Luft und Wasser eine wesentliche Rolle spielen. Die SP-Kurve ist darum nicht nur ein Abbild z. B. des Mineralbestandes, sondern auch ein Abbild des Zustandes des entsprechenden Gesteinskörpers und dessen möglicher Wechselwirkungen mit Luft und Wasser.

Die Eigenpotentiale poröser Gesteine bedürfen des Aneinander-grenzens von Elektrolyten unterschiedlicher Konzentration und/oder Zusammensetzung. Es werden drei wesentliche Typen der Potentiale unterschieden:

- Filtrationspotentiale,
- Membranpotentiale und
- Diffusionspotentiale.

Die Eigenpotentialkurve im porösen Gestein gibt zunächst ein Abbild der Verteilung des Tongehaltes im Bohrprofil. Die Amplitudenhöhen werden außerdem von den Salzgehaltsunterschieden zwischen Spülung und Schichtwasser in Quantität und Qualität bestimmt. Als allgemeine Faustregel für die Praxis kann man angeben:

- Verhältnis des Salzgehaltes von Spülung zu Schichtwasser  $> 1$ :  
SP Ton  $<$  SP Sand;
- Verhältnis des Salzgehaltes von Spülung zu Schichtwasser  $< 1$ :  
SP Ton  $>$  SP Sand;
- Verhältnis des Salzgehaltes von Spülung zu Schichtwasser = 1:  
SP - Kurve ausdruckslos.

Die SP-Messung wird mit gewöhnlichen Kabelsonden oder aber sogenannten Bürstensonnen, die an die Bohrlochwand angepreßt werden, durchgeführt. Dabei befindet sich nur eine Elektrode im Bohrloch. Die zweite Elektrode ist außerhalb stationiert.

Bei der SP-Gradientmessung befinden sich beide Elektroden in Abstand von einigen Dezimetern im Bohrloch.

Das SP der KAT-150 ist seinem Wesen nach eine Gradientmessung mit relativ großem Kontaktabstand, bei der außerdem die Elektrode B als Linearelektrode ausgebildet ist.

Die SP-Messung gehört zum Standardprogramm der Erzerkundung. Sonst wird sie nur für spezielle, sporadisch auftretende Probleme eingesetzt. Dazu gehören Bohrungen mit stark versalztem Schichtwasser. Die SP-Messung ist dort ein wichtiger Ersatz für die unter solchen Bedingungen ausdruckslosen Widerstandsmessungen.

### 3.2.1.2. Widerstandsmessungen

#### Petrophysikalische Grundlagen

Das Widerstandsverhalten der Gesteine prägen in der Hauptsache

- der Tongehalt der Gesteine,
- die Porosität und ihre Wassereättigung,
- der Salzgehalt des Schichtwassers,

- der Anteil und die Beschaffenheit organischer Stoffe und
- der Gehalt an (vorzugsweise) sulfidischen Erzen.

Die Gesteinsmatrix ist in erster Näherung als Isolator zu betrachten.

In den Lockersedimenten lassen sich über das recht breit gefächerte Widerstandsverhalten die Zusammenhänge in vereinfachter Form erklären:

- Der Gesamtsalzgehalt des Grundwassers bestimmt dessen spezifischen Widerstand  $R_w$ .

Der ungefähre, vereinfachte Zusammenhang ist:

$$R_w \sqrt{A \cdot m} \left[ \frac{10}{\text{Abdampfdruckstand AR}} \right] \left[ g \right]$$

- Der spezifische Widerstand  $R_t$  wassergesättigter, durchschnittlicher, tonfreier Sande steht zum spezifischen Wasserwiderstand im Verhältnis

$$R_t = (4 \dots 5) R_w$$

Bei sehr feinen, hochporösen Sanden kann die Verhältniszahl durchaus auf 3 herabsinken und in groben, sehr ungleichförmigen Kiesen und Schottern ohne weiteres auf 8 ansteigen.

- Der spezifische Widerstand reiner Tone ist bei  $10 \text{ cm}$  und teilweise noch darunter anzusetzen. Die Angaben in der Literatur gehen hier recht weit auseinander, wie auch mit der Bezeichnung "Ton" oft recht großzügig verfahren wird.
- Etwa gleichmäßig verteilter Ton in Sand- oder Kiesschichten setzt bereits in geringen Beimengungen den Schichtwiderstand deutlich herab. Je nach Tongehalt kann der Schichtwiderstand solcher Materialien, wie z. B. Geschiebelehm bzw. Geschiebemergel, in weiten Grenzen schwanken ( $30 \dots 80 \text{ cm}$ ).
- Schluffe können als sedimentologisches Zwischenglied zwischen Sand und Ton je nach ihrer Position in der Körnungsskala ähnlich breite Widerstandsdifferenzierungen aufweisen.
- Sich ändernder Salzgehalt hat in bindigen Schichten weitaus geringere Auswirkungen als in Sanden und Kiesen.

- Im nicht wassergesättigten Bereich gibt es bezüglich der Schichtwiderstände für bindige Schichten kaum Unterschiede zum wassergesättigten Bereich. Um so kontrastvollere Unterschiede zeigen sich aber für die nichtbindigen Schichten, wofür die wasserhaltenden Eigenschaften (Größe der inneren Oberfläche und Tongehalt) verantwortlich sind. Die spezifischen Widerstände solcher Schichten können das Fünf- bis einige Hundertfache ihres Widerstandes im wassergesättigten Bereich betragen.

Im klastischen Festgesteinsbereich kann man die Verhältnisse aus dem Lockergestein analog übertragen. Nur sind dort in der Regel die Porositäten geringer, und es kommt bei Sandsteinen auf die Art des Zementes an.

Braunkohlen ähneln in ihren Widerstandseigenschaften stark tonigem Material.

Insgesamt zeichnen sich die Gesteine durch ein sehr differenziertes Widerstandeverhalten aus. Ihre hinreichende Identifizierung aus dem Widerstandeverhalten allein ist

- anhand aus dem Zusammenhang gerissener Daten nur zum Teil,
- bei zusätzlicher Kenntnis der prinzipiellen lithologischen Verhältnisse in weitem Maße, jedoch
- annähernd vollständig nur im Komplex mit anderen geophysikalischen Verfahren möglich.

#### Meßprinzipien

Die elektrischen Meßprinzipien können sehr vielfältig gestaltet werden. In diesem Rahmen sollen aber nur einige technische Varietäten angeführt werden, die für die Erkundung von festen Mineralen und Grundwasser von Bedeutung sind.

#### Einelektrodenmessung

Bei der klassischen Einelektrodenmessung (MARTIENSEN-Verfahren) befindet sich nur eine stromführende Elektrode (A) im Bohrloch, während die Stromelektrode (B) außerhalb liegt.

Es wird der Durchgangswiderstand gemessen, der sich aus dem Widerstand des gesamten von den Stromlinien durchlaufenden Raumes zusammensetzt. Dabei bilden die Spülung und der der A-Elektrode ferne Raum des Gebirges eine Art Sockelgröße und die unterschiedlichen Schichtwiderstände beim Vorbeigang der A-Elektrode eine aufgesetzte Undulation.

Bei der KAT-150 befindet sich die Elektrode B ebenfalls im Bohrloch (1,3 m oberhalb der Elektrode A, s. Abb. 3/3), und zwar als

Linienelektrode (Stecker und Stahlpanzer des Kabels). Man muß darum bei der KAT-150 von einer Pseudo-Einelektroden-Messung sprechen. Gemessen werden ebenfalls Durchgangswiderstände. Das Meßbild ähnelt der kleinen Normalen KN hinsichtlich der allgemeinen Differenziertheit. Außerdem weist es Elemente der Gradientenmessung (Oberkante) auf (vgl. Abb. 3/5 und 10/41).

Die kritischen Einsatzgrößen bei der KAT 150 sind:

- kleinster vertretbarer Spülungswiderstand:  $1 \Omega \text{ m}$
- kleinster Bohrlochdurchmesser: 70 mm.

### Dreielektroden-Sonden

Es befinden sich 3 Elektroden (Stromelektrode A, Meßelektroden M und N) im Bohrloch. Die zweite Stromelektrode B wird im Normalfall außerhalb des Bohrloches geerdet.

Theoretisch sollte sie so weit vom Bohrloch entfernt sein, daß ihr Einfluß auf die gesamte Bohrlochstrecke konstant ist (Isopotentiallinien, die von der Elektrode B ausgeht, ist am Bohrloch nahezu eine bohrlochparallele Gerade). In der Praxis befindet sie sich aber als sogenannte Schlamm-Elektrode im Spülteich. In jüngster Zeit wird auch bei 3-Elektrodenmessungen die Stahlpanzerung des Meßkabels als Elektrode B benutzt, so daß man es hier gleichfalls mit der Pseudo-3-Elektroden-Messung zu tun hat. Sich dadurch ergebende Unterschiede in den Meßdaten sind nicht bekannt.

Die gebräuchlichsten technischen Varianten der 3-Elektroden-Verfahren sind

- Gradientmessungen und
- Potentialmessungen.

Alle elektrischen Sonden sind nach ihrer Bauart Kabelsonden, eine Ausnahme ist die Sonde zur Messung des Spülungswiderstandes  $S_w$ .

Die kleinsten Bohrlochdurchmesser, in die Kabelsonden noch eingesetzt werden können, hängen vom Durchmesser der Sondenkupplung (60 mm) und vom Durchmesser des Zusatzgewichtes (60 mm) der Sonden ab.

Beim VEB Bohrlochmessung gelten für das Verhältnis SONDENDURCHMESSER zu Mindest-Bohrlochdurchmesser die Relationen

- 0,6 : 1 im Lockergestein und
- 0,8 : 1 im Festgestein.

Danach sollten Bohrlöcher ab 80 mm bzw. 100 mm Durchmesser mit allen Standardausrüstungen befahrbar sein.

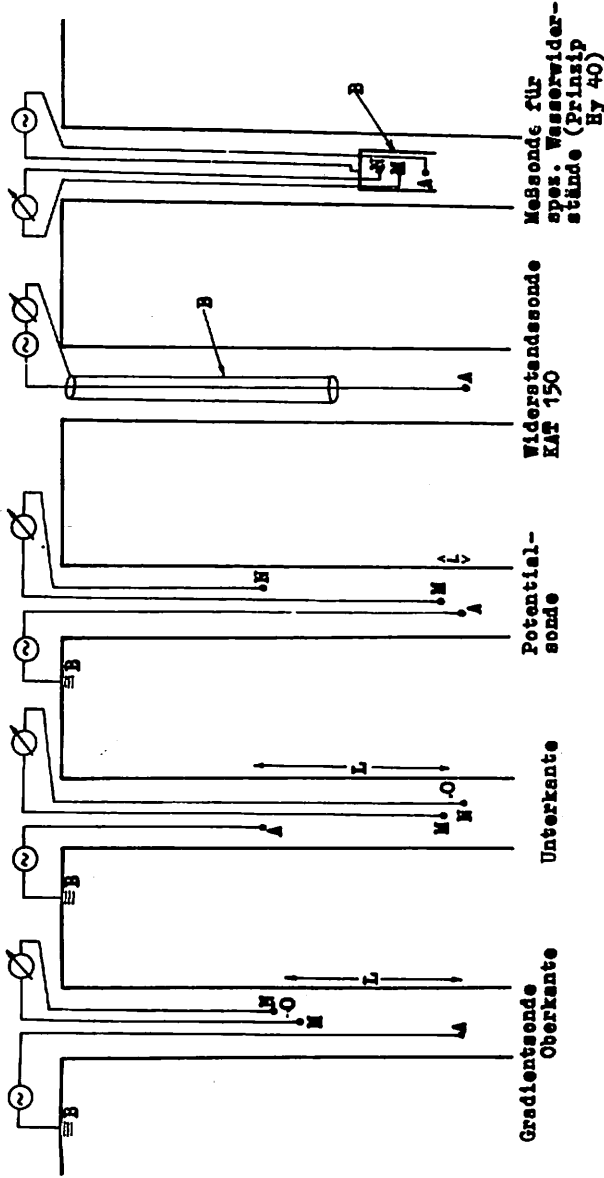


Abb. 3/3 - Elektronenordnungen bei elektrischen Widerstandssonden

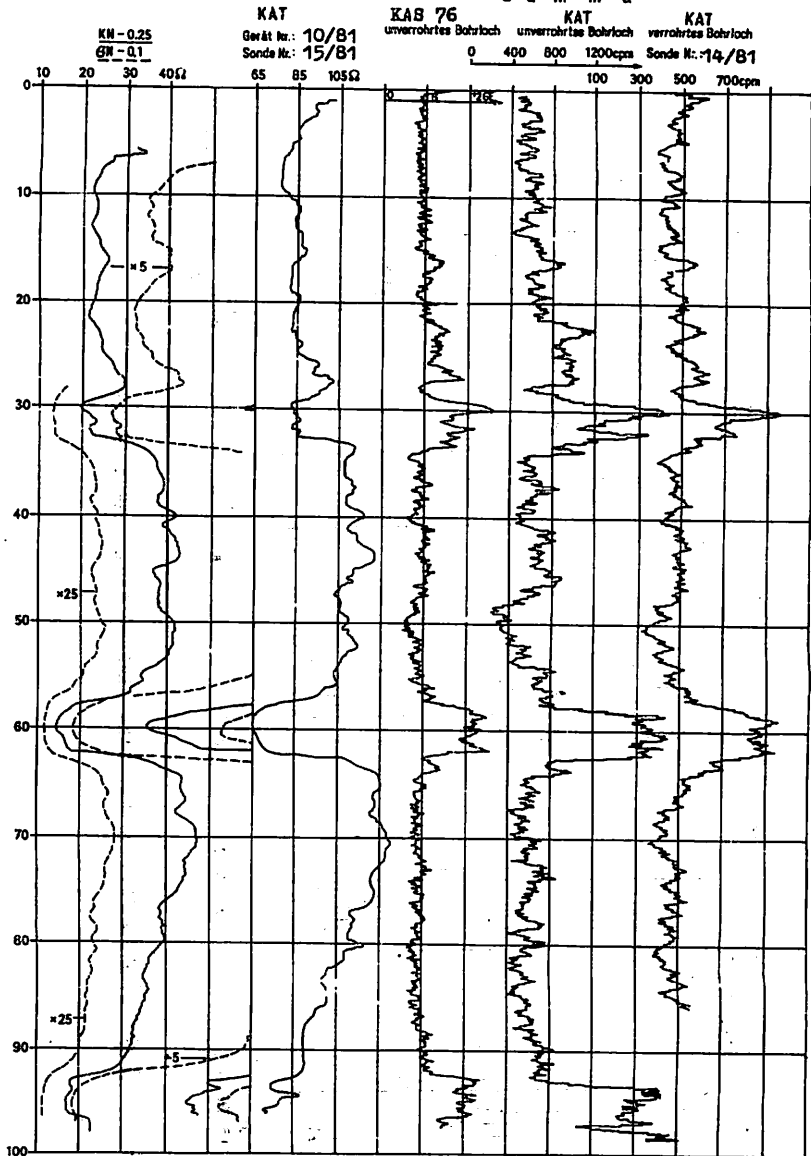


Abb.: 3/4 Vergleichende Maßbeispiele (Widerstand und Gamma)

Ober die größten noch vertretbaren Bohrlochdurchmesser werden im allgemeinen keine Angaben gemacht. Es gilt die Regel, daß mit größer werdendem Bohrlochdurchmesser die Amplituden zunehmend verflachen. Der größte mit den "Kabelsonden" noch effektiv untersuchbare Bohrlochdurchmesser ist eine Funktion des Spacing sowie der zu erkundenden Schichtmächtigkeiten und des Spülungswiderstandes. Wegen dieser Abhängigkeiten sollte bei Bohrungen mit Durchmesser  $> 250$  mm durch eine Konsultation mit dem Bohrlochgeophysiker die Wahl der richtigen Sondentypen getroffen werden.

Der VEB Bohrlochmessung besitzt mit der JS- und EL-Serie (JS 1 ... 6 und EL 1 und 2) ein breites Angebot von Gradient- und Potentialsonden mit unterschiedlichen geometrischen Parametern.

#### Gradientmessungen (OK, UK)

Bei der Gradientsonde sind die Abstände zwischen den Meßelektroden M und N gering im Vergleich zu deren Abstand zur Stromelektrode A. Man unterscheidet dabei zwischen der sogenannten Oberkantensonde (mit den Meßelektroden oberhalb A, siehe Abb. 3/3) und der Unterkantensonde (mit den Meßelektroden unterhalb der Stromelektrode A).

Die Gradientmessung bringt asymmetrische Bilder. Bei der Oberkantenvariante werden die Oberkanten der vergleichsweise (zur darüberliegenden Schicht) höherohmigen Schicht durch eine besonders steile und überhöhte Anomalienflanke abgebildet, bei der Unterkantenvariante die Unterkanten der höherohmigen Schicht. Diese Schärfe der Abgrenzung erfordert eine Mindestmächtigkeit der Schicht, die in Beziehung zur Sondenlänge, dem sogenannten Spacing, steht, wie aus der Abb. 3/5 deutlich zu entnehmen ist.

Ein Vorteil gegenüber der Potentialmessung ist, daß die Gradientmessung auch bei geringmächtigen Schichten die Richtungstreue der Amplituden beibehält.

#### Potentialmessungen (GN, KN)

Die Elektrodenfiguration der Potentialsonde ist in Abb. 3/3 dargestellt. Der Abstand der Meßelektrode M zur Stromelektrode A ist vergleichsweise klein zum Abstand zwischen den Meßelektroden M und N.

Da die Größe des Potentials eines Punktes sich umgekehrt proportional zum Abstand dieses Punktes von der Quelle verhält, wird hierdurch erreicht, daß in einer ersten Näherung das Potential im Punkt M gemessen wird. Die Sondenlänge oder das Spacing L entsprechen dem Abstand zwischen A und M.



Beim VEB Bohrlochmessungen werden für die Bohrungen der Braunkohle und der Hydrogeologie die sogenannte "große Normale" GN ( $L = 1,00 \text{ m}$ ) und die sogenannte "kleine Normale" KN ( $L = 0,25 \text{ m}$ ) eingesetzt.

Mit der großen Normalen wird einerseits zwar eine höhere Eindringtiefe erreicht, aber andererseits zwangsläufig der Einfluß eines größeren Profilanteiles registriert. Die erhaltenen Meßbilder sind symmetrisch. Ihre Amplituden entsprechen bei großen Schichtmächtigkeiten  $M (M \gg L)$  dem wahren Schichtwiderstand.

Bei kleiner werdenden Mächtigkeiten nehmen die Amplituden ab, um sich schließlich in der Richtung umzukehren (siehe Abb. 3/6).

Einige spezielle Varianten

Die Gradienten- und die Potentialanordnung sind auch als sog. "Mikrolog" im Einsatz. Die Kontaktabstände betragen hier nur wenige Zentimeter. Diese Sonden sind als Andrucksonden ausgeführt. Ihre Anwendung gehört jedoch nicht zum Standardprogramm. Sie sind besonders zu Aussagen über die Infiltrationszone geeignet.

Alle Bohrlochmessungen sind ihrem Wesen nach Kartierungen, d. h. es werden mit starren Eindringtiefen petrophysikalische Änderungen entlang der Bohraule registriert. Unter realen Bedingungen sind seitliche Ergebnisse von dem Einfluß der Spülung überprägt. Um die wahren spezifischen Schichtwiderstände bestimmen zu können, wurden vor allem eine technologische und technisch-technologische Lösungsvariante entwickelt:

- die seitliche Bohrlochsondierung und
- das Laterolog.

#### - Seitliche Bohrlochsondierung (SBS)

Die seitliche Bohrlochsondierung ist - wie die Bezeichnung ausdrückt - eine Summe verschiedener Bohrlochkartierungen mit systematisch unterschiedlichen Eindringtiefen (Spacing). Die einfachste Form ist die gemeinsame Anwendung der großen und kleinen Normalen, was in praktisch jedem Einsatz der Potentialmessungen erfolgt. Dieses Verfahren ist erprobt und gilt z. Z. noch als die genaueste Methode der quantitativen bohrlochelektrodischen Erkundung.

#### - Laterolog (LL)

Beim Laterolog handelt es sich um eine spezielle Anordnung der Elektroden, die die Stromlinien zwingt, weit seitlich in das Gebirge einzudringen, d. h. lateral zu wirken. Es gibt hiervon verschiedene technische Modifikationen. Das Prinzip eines sieben-

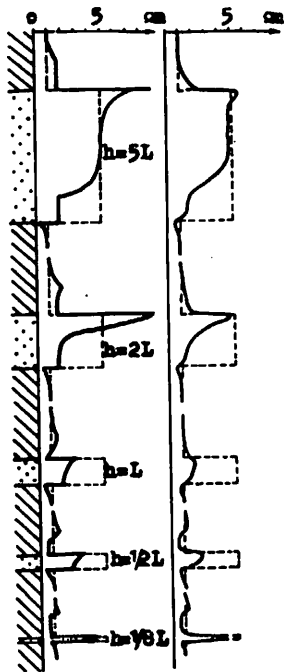


Abb. 3/5  
Kurvenbild der  
Gradientenende  
(Oberkante)

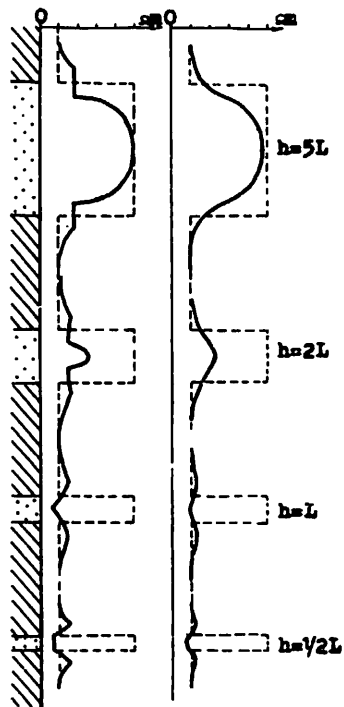


Abb. 3/6  
Kurvenbild der  
Potentialseite

Berechnete Indikationen  
hochmöglicher Schichten verschiedener  
Mächtigkeit

Jeweils links: theoretisches Bohrloch  
 $\phi = 0$

Jeweils rechts: Bohrloch  $\phi = 200$  mm  
mit Spülung

(nach LEHNERT & ROTHE 1962)

— Schichtwiderstände

— (errechnete) Meßkurve

h - Schichtmächtigkeit

L - Sondenlänge (Spacing)

poligen Laterologs wird in Abb. 3/7 dargestellt. Die Steuer-  
elektroden  $A_1$  und  $A'_1$ , die das gleiche Potential wie die eigent-  
liche Speiseelektrode  $A_0$  besitzen, bewirken, daß der Strom von  $A_0$   
quasi senkrecht zur Bohrlochachse wie eine Platte in das Gebirge  
geleitet wird. Das Meßbild zeigt wie bei Potentialmessungen  
(Abb. 3/8) symmetrische Anomalien.

Die Meßamplituden stellen eine gute Annäherung an die wahren  
Schichtwiderstände dar. Die meist eingesetzten Sonden besitzen  
ein Spacing von  $L = 0,75$  m. In Zukunft soll auch eine Sonde für  
besonders geringmächtige Schichten mit einem Spacing von  $L = 0,2$  m  
für die Routine zur Verfügung stehen.

In der gegenwärtigen Praxis wird das Laterolog in einzelnen Kom-  
ponenten gemessen und erst durch den Rechner zum synthetischen  
Laterolog vereinigt. Der minimale Bohrlochdurchmesser beträgt ca.  
80 mm, und der maximale sinnvolle Bohrlochdurchmesser wird mit  
250 mm angegeben.

Die quantitative Schichtparameterbestimmung mit Hilfe des Latero-  
logs erfolgt wie bei den anderen elektrischen Widerstandeverfahren  
auf der methodischen Basis der seitlichen Bohrlochsondierung. Der  
Vorteil des Laterologs besteht jedoch darin, daß diese quantita-  
tiven Bestimmungen bei bedeutend geringmächtigeren Schichten  
gegenüber den anderen elektrischen Verfahren erfolgreich durch-  
führbar sind.

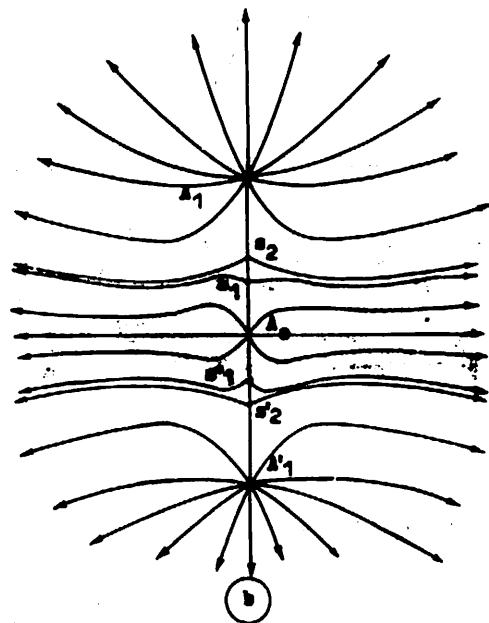
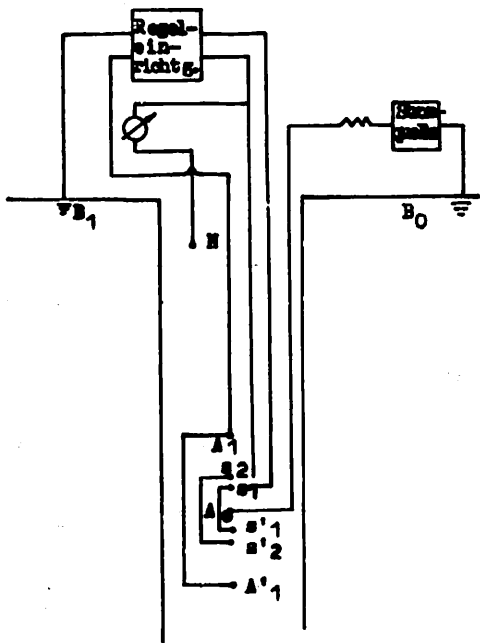


Abb. 3/7  
Lateralog

a - Elektrodenanordnung

b - Schematischer Stromlinienverlauf  
 (aus Schulungsmat. des VEB Kombinat Geophysik)

$A_0, A_1, A_1'$  - Stromelektroden mit gleichem Potential

$s_1, s_1', s_2, s_2'$  - Meßelektroden

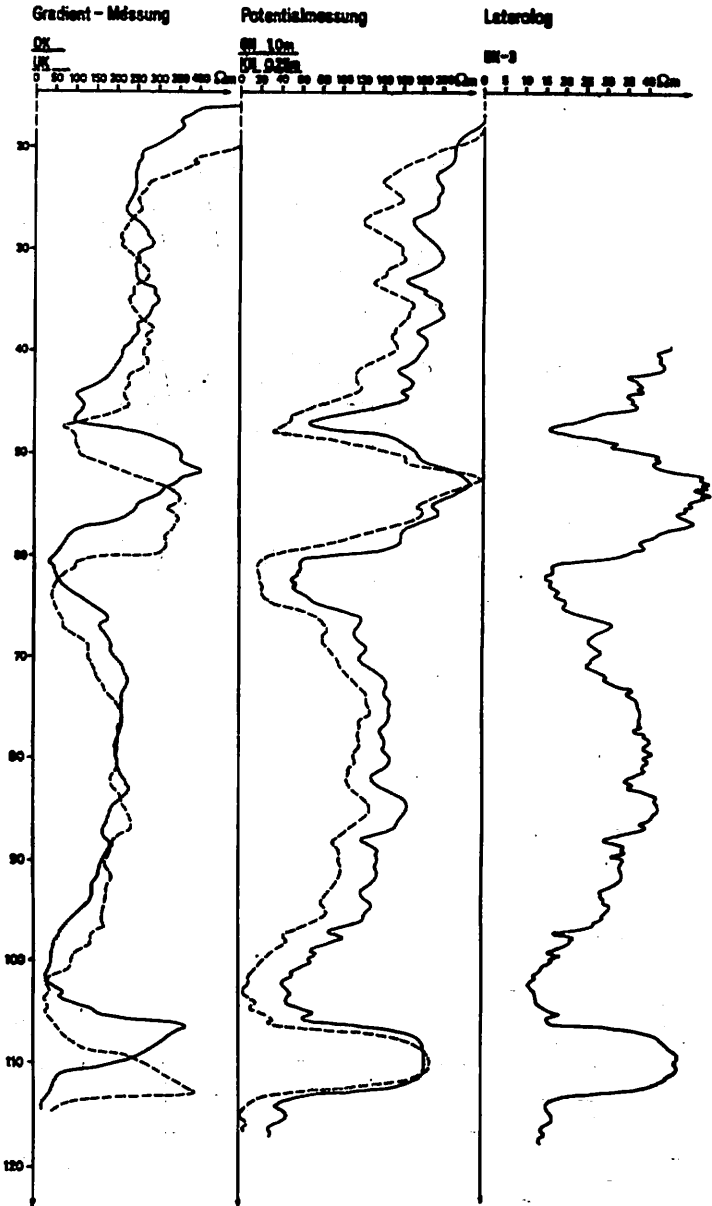


Abb. 3/8: Beispiel für praktische behrlochgeophysikalische Widerstandsmessungen Gradientmessungen, Potentialmessungen, Laterolog

### Spülungswiderstand (SW)

Bei den Messungen zur Bestimmung des spezifischen Schichtwiderstandes ist es hinsichtlich Verfahrensmethodik und konstruktivem Aufbau der Sonden das Ziel, den Einfluß der Spülung auf das Ergebnis möglichst auszuschalten oder aber zumindest gering zu halten. Die Messung des spezifischen Spülungswiderstandes SW (genauer: des spezifischen Widerstandes der Bohrlochflüssigkeit, die Bohrspülung, aber auch Grundwasser sein kann) muß mit einem Meßfühler durchgeführt werden, welcher den Einfluß der Umgebung ausschaltet sowie direkt die Messung spezifischer Größen erlaubt.

Die Abschirmung muß gleichermaßen sicher gegenüber dem Gebirge wie auch gegenüber metallischer und nichtmetallischer Verrohrung wirken. Für die Messung wird verbreitet ein 4-Elektroden-System eingesetzt, bei dem eine Stromelektrode gleichzeitig als Schirmelektrode wirkt (Abb. 3/3).

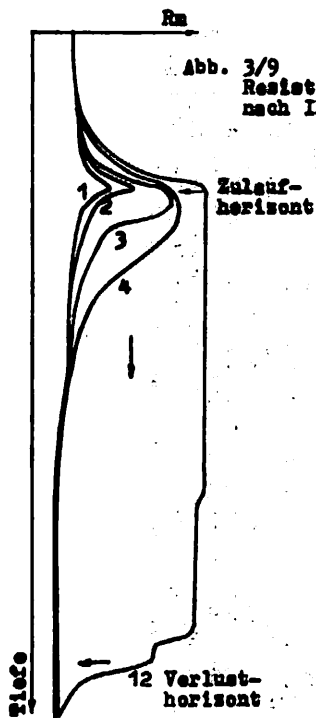
Solche, von der Bauart als Gefäßsonden zu bezeichnende Sonden, sind beim VEB Bohrlochmessung die Typen SPS-36, SPS-60 und SPS-5 sowie beim VEB Hydrogeologie Nordhausen die Typen Hy 40 und Hy 40 T. Die abgeschirmten Sonden des VEB BLM haben die Zusatzbezeichnung A. Die Messung des Spülungswiderstandes direkt ist Bestandteil der Bestimmung des Gebirgswiderstandes. Der Einfluß der Spülung in der Bohrlocheßule auf die Meßergebnisse mit den Potential- und Gradientensonden kann bei Kenntnis ihres spezifischen Widerstandes in der Auswertung berücksichtigt werden.

Einsatzkriterien: SPS 36 - Bohrlochdurchmesser < 50 mm (< 70 mm)  
SPS 5 - Bohrlochdurchmesser < 70 mm (< 90 mm)  
SPS 60 - Bohrlochdurchmesser < 80 mm (< 100 mm)  
Hy 40 - Bohrlochdurchmesser < 50 mm und  
Klarwasser

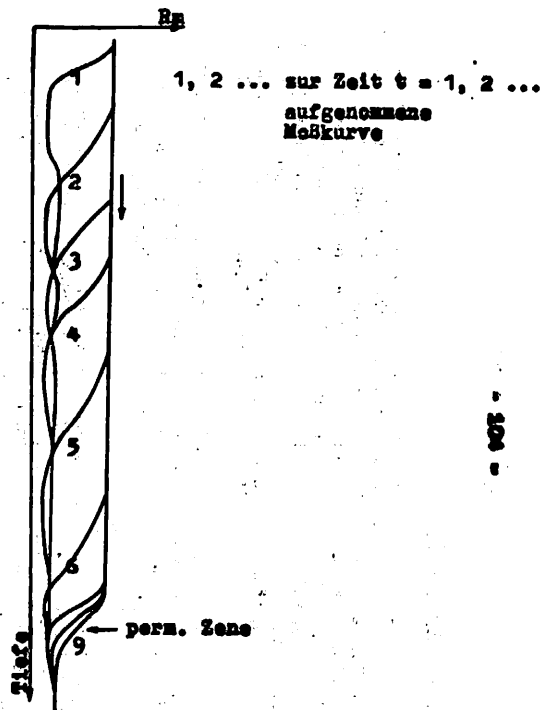
(Die Klammerwerte sind Richtwerte für das Lockergestein.)

### Resistivimetrie (RM)

Eines der bekanntesten Einsatzgebiete solcher "Gefäßsonden" ist die Resistivimetrie als Zufluß-, Verlust- oder Durchflußmessung (Abb. 3/9). In allen Varianten wird zunächst eine sogenannte Nullmessung durchgeführt. Dann wird die Bohrlochflüssigkeit in einem Grade versalzen, daß sie etwa auf ein Zehntel ihres vorherigen spezifischen Widerstandeswertes gedrückt wird. Danach werden in möglichst konstanten zeitlichen Abständen Wiederholungsmessungen durchgeführt, und zwar so lange, bis die erfaßten Veränderungen im Widerstandsprofil der Bohrlochflüssigkeit die geforderte hydraulische Beurteilung der Bohrung gestatten.



1. Beispiel einer Durchflußmessung ohne künstliche Beeinflussung. Der obere permeable Horizont besitzt ein höheres hydrostatisches Niveau.



2. Beispiel mit künstlicher Wasserauführung von oben. Im Bereich der permeablen Zone verdichten sich die "Fronten" der Widerstandskurven.

Der Unterschied zwischen Durchflußmessung einerseits und Zufluß- oder Verlustmessung andererseits besteht darin, daß im ersten Falle das "Ausströmen" der Bohrlochflüssigkeit an den hydraulisch wirksamen Zonen registriert und im zweiten Falle durch zusätzliches Einleiten bzw. Abpumpen von Süßwasser die Grundwasserdynamik zusätzlich angeregt wird. Bei Kenntnis der Einlauf- bzw. der Fördermengen lassen sich aus den Anomalien geschwindigkeiten die Teufenbereiche und die hydraulischen Wirksamkeiten der hochdurchlässigen Zonen ermitteln.

Die Genauigkeit und Aussagekraft des Verfahrens hängt nicht nur von der Qualität der Meßeonden und der Messung ab, sondern in erheblichem Maße vom Vorhandensein einer geeigneten Pumpe und der dazugehörigen technischen Peripherie.

Ob quantitative Ergebnisse oder nur unbefriedigende qualitative Aussagen gemacht werden können, ist schließlich damit verbunden, mit welcher Näherung hydrodynamische Vorgänge, wie sie die Erkundung fordert, simuliert werden können.

Die Resistivimetrie gehört wie die Flowmetrie (s. 3.2.4.4.) zu den sog. "dynamischen Verfahren", weil damit dynamische Vorgänge untersucht werden können. Integrierter Bestandteil dieser dynamischen geophysikalischen Verfahren sind außerdem Anwendungsvarianten der Thermometrie (s. 3.2.4.3.).

### 3.2.2. Radiometrische und kernphysikalische Verfahren

#### 3.2.2.1. Gammamessung (G)

Mit der Gammamessung wird die natürliche Radio(Gamma)aktivität der Gesteine registriert. Diese geht in der Hauptsache auf das Wirken der Elemente der Uran-Thorium- und Kalium-Reihe zurück. Wenn man die Lagerstätten radioaktiver Minerale ausklammert, läßt sich das folgende vereinfachte Schema aufstellen:

- Bei den Eruptivgesteinen ist die Radioaktivität der sauren Phasen höher als die der intermediären und noch höher als die der basischen Phasen. Die Ursachen liegen im Mineralbestand, was sowohl den akzessorischen Einbau der radioaktiven Elemente in das Kristallgitter verschiedener Minerale als auch relative (in der Regel allerdings äußerst geringe) Anteile von Mineralen aus Verbindungen mit den genannten radioaktiven Elementen betrifft.



- Die chemischen Sedimente sind in der Hauptsache von äußerst geringer Radioaktivität; lediglich Kalisalze sind vergleichsweise höher radioaktiv. Das liegt an dem sehr konstanten Anteil des Isotops  $^{40}\text{K}$  von 0,011 % im Kalium (vgl. Kap. 7).
- Die klastischen Sedimente bestehen aus rolligen und bindigen Komponenten.

Die rolligen Sedimente mit ihrer geringen spezifischen Oberfläche können nur entsprechend ihrem Mineralbestand radioaktiv sein und zeichnen sich überwiegend durch niedrige Aktivitätswerte aus. Erhöhte Anteile von Glimmer und Feldspat (z. B. in porphyrischen Sanden) können die Radioaktivität jedoch merklich erhöhen.

Die Tone mit ihren großen spezifischen Oberflächen besitzen sowohl gittereigene radioaktive Bestandteile als auch aus den Lösungen des Sedimentationsmilieus eingelagerte radioaktive Bestandteile.

In der Regel ist deshalb die Radioaktivität in erster Näherung ein Richtwert für den Feinstkorngesamtgehalt der klastischen Sedimente. Auch erhöhte Radioaktivitäten in den chemischen Sedimenten sind meist auf tonige Verunreinigungen zurückzuführen.

In der Hydrogeologie der Lockergesteine ist die G-Messung die wichtigste geophysikalische Methode zur Unterscheidung von Wasserleitern und Wasserstauern.

- Die Radioaktivität von organischen Sedimenten (Kohle) ist im Regelfall äußerst gering (geringer als die der Sande).

Die natürliche Eigenstrahlung der Gesteine wird mit verschiedenartig konstruierten Szintillationssonden gemessen. Sie wird als sogenannte Dichtestrahlung registriert. Der Integrator des Gerätes macht die Registrierung der kontinuierlichen Dichtekurve erst möglich, bewirkt aber andererseits eine gewisse Mittelung der Aktivitäten auf einer Meßstrecke  $S$ , die dem Produkt aus Integrationskonstante und der Sondenfahrtgeschwindigkeit  $v$  entspricht (Standard des VEB Kombinat Geophysik in der Braunkohle:

$$\tau = 3 \text{ s}$$

$$v = 4 \text{ m/min}$$

$$\text{KAT-150: } \tau = 6 \text{ s}$$

$$v = 3 \text{ m/min}.$$

Die Schlußfolgerungen hieraus sind die Begrenztheit der erfassbaren Schichtmächtigkeiten mit unverfälschter Amplitude (1,2 m). Als kleinste korrigierbare Schichtmächtigkeit wird 45 cm angegeben.

Die Registrierung der Gamma-Indikationen erfolgt in sogenannten Gamma-Einheiten (GE) und nur bei der KAT-150 in Impulsen pro Minute (opm).

Beispiele von Gammamessungen mit verschiedenen Apparaturen und unter verschiedenen Bedingungen sind in Abb. 3/4 enthalten. Die derzeit im VEB Bohrlochmessungen gebräuchlichsten Sonden sind:

<u>Typ</u>	<u>Sondendurchmesser</u>	<u>(optimaler) Bohrdurchm. 1)</u>
KAS 76	76 mm	100 ... 400 mm
KAS 60	60 mm	80 ... 350 mm
ZGGS 60	60 mm	80 ... 350 mm

Für die tragbare BLM-Apparatur gilt

GS 36	36 mm, Einsatzdurchm.	50 ... 200 mm.
-------	-----------------------	----------------

Mit den Sonden KAS 76 und KAS 60 können gleichzeitig G- und GG-Messungen durchgeführt werden. Die Sonde ZGGS 60, als neueste Entwicklung, gestattet neben der G- und der Kalibermessung gleichzeitig die GG-Messung mit zwei Spacinge und zwei unterschiedlichen Integrationszeiten. Mit der GS 36 sind G und GG nur getrennt meßbar.

Im Kombinat Geophysik wird z. Z. an der Entwicklung und Einführung der Gamma-Spektrometrie, als einer neuen Qualität der Gamma-Messung, gearbeitet.

Durch Aufnahme der Impulshöhenverteilung - d. h. des Energiespektrums der beteiligten natürlichen radioaktiven Nuklide - werden Aussagen über die Anteile der strahlenden Elemente (K - 1,46 MeV, U - 1,76 MeV, Th - 2,62 MeV) und damit Rückschlüsse auf die Gesteinsminerale ermöglicht.

### 3.2.2.2. Gamma-Gamma-Messung (GG)

Bei der Gamma-Gamma-Messung werden Sonden verwendet, die neben dem Gamma-Strahlungsempfänger eine von diesem abgeschirmte Strahlungsquelle besitzen. Von den drei Wechselwirkungsprozessen mit den Gesteinen (Photoeffekt-COMPTON-Streuung und Paarbildung) wird bei der Standard-Gamma-Gamma-Messung nur die COMPTON-Streuung ausgenutzt.

1)

In Lockergestein sind höhere Mindestbohrdurchmesser erforderlich, während im Hartgestein beim Einsatz sogenannter Sedimentbohren, die den Nachfall auffangen sollen, mit nur ganz wenigen Millimetern Spielraum für die Sonden gerechnet werden braucht.

Petrophysikalisch spiegelt die (Standard)GG-Messung die Dichteverhältnisse und die Änderungen des Verhältnisses von Ordnungszahl  $Z$  und Atomgewicht  $A$  der am Aufbau des untersuchten Mediums beteiligten Elemente wider. Letzteres Verhältnis ist aber von untergeordneter Bedeutung, so daß man bei der GG-Messung auch von einem Dichte-Log spricht.

Bei den verwendeten Sondentypen erhält man abnehmende Maßwerte mit zunehmender Dichte.

Wegen der geringen Eindringtiefe der Gamma-Gamma-Messungen von weniger als zwei Dezimetern wirken sich Unregelmäßigkeiten des Bohrlochkalibers recht stark auf die Auswertbarkeit der Gamma-Gamma-Kurve aus. Deshalb ist im Zusammenhang mit der GG-Messung unbedingt eine Kalibermessung erforderlich (s. a. Abb. 10/4). Bei sehr genauen Auswertungen muß die Intensität der natürlichen Gammastrahlung berücksichtigt werden.

Die GG-Messung ist das sicherste geophysikalische Nachweismittel für Braunkohlenflöze und Braunkohlenmischgesteine.

Die Registrierung der GG-Kurve erfolgt in Impulsen pro Minute bzw. in Gamma-Einheiten (GE). In den Profildarstellungen des VEB Bohrlochmessung werden in der Regel Dichteskalen für die GG-Kurven angegeben. Die damit zuordenbaren Dichten sind Scheindichten, d. h. sie sind ohne die entsprechenden Korrekturen nicht exakt quantitativ verwertbar; aber sie sind ausgezeichnete Hilfen bei der qualitativen Gesteinsbewertung.

Über die eingesetzten Sondentypen mit ihren technologischen Eigenschaften ist im Punkt 3.2.2.1. berichtet worden. Es bleibt zu ergänzen, daß die Möglichkeit der GG-Messung mit zwei unterschiedlichen Spacings  $L$  für die quantitative gesteinsphysikalische Aussage von hohem Wert ist.

Die Schichtmächtigkeiten, für die in der Aufzeichnung die Maximalamplituden gerade noch erreicht werden, sind von dem Spacing  $L$  der jeweiligen Sonde abhängig. Vom VEB Kombinat Geophysik werden angegeben:

<u>Spacing</u>	<u>Schichtmächtigkeit</u>
$L = 50$ cm	1,40 m (ältere Standardtypen)
$L = 35$ cm	1,20 m (KAS 76/2, KAT-150, 2GGS 60)
$L = 15$ cm	0,60 m (2GGS 60).

Mit Hilfe von Auswertungsalgorithmen können Mächtigkeits- und Amplitudenkorrekturen geringmächtiger Schichten vorgenommen werden.

Wie bei der G-Messung gibt es auch in der GG-Messung bedeutende Weiterentwicklungen, die allerdings in der Mehrzahl als Zukunftsaussichten zu werten sind:

### Selektive GG-Messung

Bei dieser auch als "photoelektrische Dämpfung" bezeichneten Methode spielen Paarbildung und Photoeffekt eine größere Rolle. Es werden Strahlungen niedriger Energie verwendet. Besonders schwere Elemente sind mit diesem Verfahren heraushebbar. Die Registrierung kann präzise auf die Energiepeaks der Einzelelemente eingestellt werden.

### Spektrometrie sekundärer Gamma-Strahlen

Die Spektrometrie der Rückstreugammastrahlung geht davon aus, daß die Energie dieser sekundären Gamma-Quanten vom Atomgewicht der getroffenen Elemente gesetzmäßig abhängig ist. Ferner ist die Impulsrate im betreffenden Energiebereich proportional der Anzahl der Atome des zugehörigen Atomgewichtes. Es sind quantitative Bestimmungen vor allem von Buntmetallgehalten möglich.

Dieses Verfahren wurde auch mit Erfolg auf NG-Quanten angewandt (Neutron-Gamma-Einfang-Spektrometrie). Hierzu ist vor allem der Nachweis von nichtmagnetischem Eisen als positives Ergebnis zu nennen. Die entsprechende Sonde besitzt einen Durchmesser von 100 mm.

### Röntgenradiometrie (Röntgenfluoreszenz)

Dieses ebenfalls zu den Gamma-Methoden gehörende Verfahren beruht auf der Anregung und Registrierung der charakteristischen Röntgenstrahlung der Atome gesteinsbildender Elemente im Bohrloch.

Das Vorhandensein einer eindeutigen Beziehung zwischen der Ordnungszahl  $Z$  des interessierenden Elements und seiner charakteristischen Röntgenstrahlung gestattet die Anwendung des Verfahrens für direkte und quantitative Elementbestimmungen, z. B. für Zinn (STEINBRECHER, 1983)

### 3.2.2.3. Neutron-Gamma-Messung (NG)

Die Neutron-Gamma-Sonde besitzt eine Neutronenquelle und einen Gammaempfänger. Beide sind durch eine Bleiabschirmung voneinander getrennt. Es wird die sogenannte Einfang-Gamma-Strahlung gemessen. Diese entsteht bei der Absorption der thermischen (langsamen) Neutronen, d. h. der beim elastischen Zusammenstoß mit Atomkernen abgetrennten schnellen Neutronen durch andere Atome. Da es vornehmlich der Wasserstoff ist, der für das Abbremsen der schnellen Neutronen und damit für den Wertevorrat einfangbarer thermischer Neutronen sorgt, verläuft die Intensität der so entstehenden Gamma-Strahlung im großen und ganzen gleichmäßig zur Änderung des Wasserstoffgehaltes. Dabei ist es gleichgültig, in welcher Verbindung die Wasserstoffatome vorkommen, d. h. Wasserstoff in der Porenflüssigkeit reagiert genau so wie z. B. das Kristallwasser im Gips.

Die Stärke der empfangbaren NG-Strahlung hängt petrophysikalisch noch von den Absorptionseigenschaften (Einfangquerschnitt) des durchlaufenden Materials ab. Allgemeine Bedeutung hat für die vor-

liegende Problematik vor allem das Chlor, aber auch erst bei stark salzhaltigen Formationswässern. Außerst hohe Absorptionseigenschaften haben außer diesen Schwermetalle, so daß teilweise nur Bruchteile eines Prozentes im Gestein ausreichen, um ihren sichtbaren Niederschlag in der NG-Messung zu finden.

Schließlich spielt der Abstand von der Neutronenquelle eine bedeutende Rolle. Während in der Nachbarschaft (1 - 2 dm) die Dichte der thermischen Neutronen wie auch der NG-Strahlung sich gleichsinnig mit der Porosität ändert, ist es bei größeren Entfernungen (> 3 dm) umgekehrt. Da im zweiten Falle eine höhere Auflösung erreicht wird, arbeitet man im Süßwasser bevorzugt mit langen Sonden, d. h. mit relativ großem Abstand zwischen Quelle und Empfänger.

Im porösen Medium vermittelt die NG-Kurve ein Abbild der wassererfüllten Porosität. Für genaue quantitative Auswertungen muß die Wirkung der natürlichen Gammastrahlung abgezogen werden.

Die Standardsonden des VEB Bohrlochmessung sind in der Regel ab 75 mm Bohrlochdurchmesser einsetzbar. Die Sonde GS-36M, als Sondenvariante für die KAT-150, ist ab 50 mm Bohrlochdurchmesser zu verwenden.

Die NG-Messung (Standardmessung) tritt hinsichtlich ihrer Anwendung mehr und mehr zugunsten der Neutron-Neutron-Messung zurück. Dagegen gewinnt die spektrometrische Untersuchung der durch Neutroneneinfang entstehenden G-Strahlen an Bedeutung (s. 3.2.2.2. und LÖTZSCH, 1983).

#### 3.2.2.4. Neutronen-Aktivierungsverfahren

Einen wichtigen Platz unter den für elementspezifische Aussagen einsetzbaren BLM-Verfahren (vgl. LÖTZSCH, 1983) nimmt die seit mehreren Jahren routinemäßig angewandte Neutronenaktivierung ein, welche auf der Untersuchung einer induzierten Radioaktivität beruht.

Durch Bestrahlung mit einer Neutronenquelle und Einfang thermischer Neutronen entstehen bei einer großen Anzahl gesteinsbildender Elemente künstliche radioaktive Isotope. Beim Zerfall dieser kurzlebigen Isotope wird eine Gamma-Strahlung freigesetzt. Die Messung der Energie der freiwerdenden Gammastrahlung und die Messung der Halbwertszeiten gestatten mineralspezifische Aussagen.

Im VEB Bohrlochmessung wurde dieses Verfahren für den Fluorid-Nachweis entwickelt und in neuerer Zeit auch für die Aluminium-Bestimmung eingesetzt (STEINBRECHER & STILLER, 1985).

Die beim VEB Bohrlochmessung vorhandenen Sonden ANGS 42, ANGS 48 und ANGS 64 für die Späterkundung sind den dort eingesetzten Bohrkalibertypen angepaßt. Für die Al-Erkundung wird z. Z. noch eine umgebaute KAS 76 eingesetzt, für die ein Mindestbohrlochdurchmesser von 90 mm genannt wird. Bei der Anmeldung von

Neutronenaktivierungsmessungen sollte in jedem Falle der eingesetzte Bohrmeißeldurchmesser angegeben werden.

Wie bei den anderen radiometrischen Verfahren verhindert die Verrohrung nicht grundsätzlich eine Messung (im Gegensatz zur Bohrlochelektrik), aber sie verändert die Amplitude. Bei allen elementspezifischen Verfahren spielt die Nähe oder Ferne der Spektrallinie von der des Verrohrungsmaterials eine Rolle.

### 3.2.2.5. Neutron-Neutron-Messung (NN)

Das Neutron-Neutron-Verfahren beruht auf der Intensitätsmessung thermischer, d. h. langsamer, Neutronen, die beim elastischen Zusammenstoß der von der Neutronenquelle (Cf - 252) ausgehenden schnellen Neutronen mit den Atomkernen der Umgebung entstehen.

Der weitaus größte Energieverlust der schnellen Neutronen tritt beim Zusammenstoß mit massegleichen Wasserstoffatomen auf. Deshalb entstehen in hochporösen, wassergesättigten Gesteinen in der Nachbarschaft der Quelle die vergleichsweise größten Konzentrationen an thermischen Neutronen.

Die abgebremsten Neutronen werden schließlich von den Atomkernen eingefangen, so daß ebenfalls im hochporösen wassergesättigten Medium die Dichte der thermischen Neutronen schneller abnimmt als im wenig porösen Medium.

Die Abb. 3/10 gibt hierüber einen anschaulichen Überblick und zeigt zugleich, daß mit großen Sondenlängen  $L$  ( $L$  = Abstand zwischen Quelle und Empfänger) die bessere Auflösung zu erreichen ist.

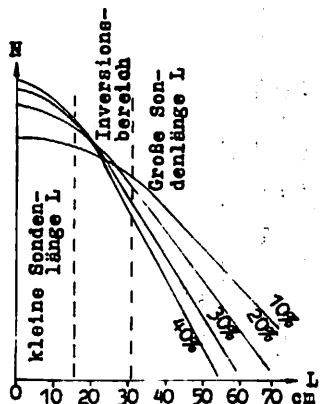
In der hier interessierenden Praxis werden große Sondenlängen ( $L$  = 40 cm) eingesetzt, wodurch sich die Materialien mit höheren Wasserstoffgehalten in vergleichsweise niedrigen Meßgrößen  $INN$  und die Materialien mit niedrigen Wasserstoffgehalten in vergleichsweise höheren Meßgrößen  $INN$  widerspiegeln. Es spielt in diesem Zusammenhang keine Rolle, in welcher Form der Wasserstoff im Gebirge enthalten ist. Das Kristallwasser im Gips ist gleichermaßen wirksam wie das Porenwasser. In klastischen Sedimentgesteinen kann somit die Neutron-Neutron-Messung Aufschluß über die Porosität des Gebirges geben. Um recht genaue Porositätsgrößen zu erhalten, nutzt man komplex die GG- und die NN-Messung.

In neuerer Zeit werden die Meßwerte in Wassereinheiten WE angegeben. Die beim VEB Bohrlochmessung derzeit gebräuchliche Meßsonde ist die NNS-60 (VOLKER, 1983).

Auch an die tragbare BLM-Apparatur KAT 150 ist eine NN-Sonde anschließbar. Die erforderlichen Bohrlochdurchmesser betragen (in mm):

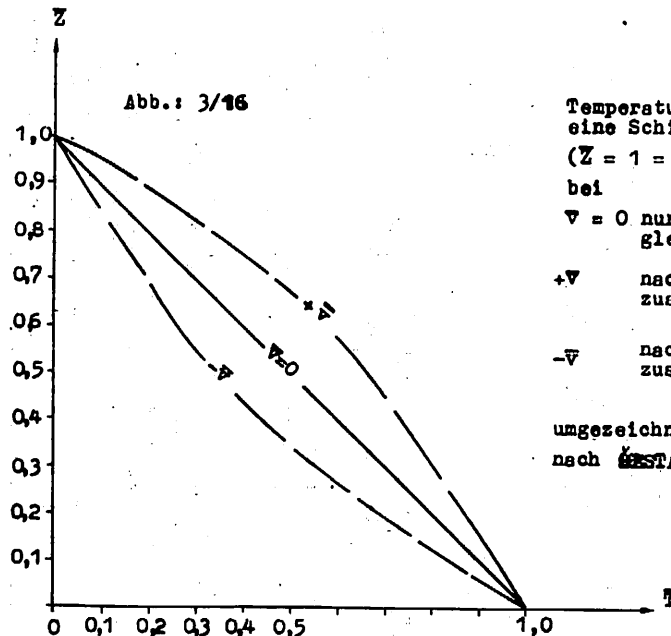
	<u>Festgestein</u>	<u>Lockergestein</u>
NNS-60	80	90
KAT-Sonde	50	70.

Abb.: 3/10



Abhängigkeit der Dichte  $N$  der therm. Neutronen von der Sondenlänge  $L$  mit Porosität als Parameter (aus LEHNERT & ROTH 1962).

Abb.: 3/16



Temperaturlinienverlauf durch eine Schicht ( $Z = 1 =$  Mächtigkeit der Schicht) bei

- $v = 0$  nur durch Temperaturausgleich ohne Masseströmung
- $+v$  nach oben gerichteter zusätzlicher Masseströmung
- $-v$  nach unten gerichteter zusätzlicher Masseströmung

umgezeichnet

nach GASTAKOV, V., M. u. a. 1975

### 3.2.3. Akustische Verfahren und Bohrlochseismik

#### 3.2.3.1. Akustiklog (AL)

Das Akustiklog erlaubt eine kontinuierliche Messung von Schallgeschwindigkeiten im Gestein. Mittels eines Ultraschallimpulsgebers (20 kHz) werden pro Sekunde etwa 15 - 30 kurzzeitige Impulse durch die Spülung und den Filterkuchen zum Gebirge geleitet.

Ein schallisolierendes Zwischenstück ( $L = 1$  bis  $2$  m) trennt den Geber vom Ultraschallempfänger.

Der Teil der Energie, der unter dem Grenzwinkel der Totalreflexion (vgl. Refraktions-Seismik in 3.1.1.2.) auf die Bohrlochwand auftrifft, läuft als Grenzschichtwelle zum Schallempfänger, der ein Signal erzeugt, das über Tage registriert wird.

Die Schallgeschwindigkeit in Gesteinen ist maximal gleich der Schallgeschwindigkeit in den gesteinsbildenden Mineralien. Sie ist jedoch um so kleiner, je größer die totale Porosität und je kleiner die Schallgeschwindigkeit im porenfüllenden Medium (Gas, Öl, Wasser) sind.

Die als Akustiklog bezeichnete Meßkurve zeigt die Laufzeit oder - nach entsprechender Eichung - die Schall-Fortpflanzungsgeschwindigkeit in den durchfahrenen Schichten an. Als zweite Kurve kann die Gesamtlaufzeit als Summe der einzelnen Meßwerte vom Beginn der Meßfahrt an aufgezeichnet werden.

Fehlerquellen: Einfluß von Spülung und Filterkuchen, Quellen von Tonschichten.

Zur Reduzierung der Fehlereinflüsse werden Mehrsender-Mehrempfänger-Akustiklogsonden eingesetzt.

Anwendungsgebiete der kontinuierlichen Geschwindigkeitsmessung:

- Porositätsbestimmung (qualitativ und halbquantitativ),
- geologische Korrelation,
- Unterstützung seismischer Messungen,
- Überprüfung der Qualität der Ringraumzementation.



### 3.2.3.2. Akustisches Bohrlochfernsehen (ABF)

Das akustische Bohrlochfernsehen beruht auf dem Impuls-Echo-Verfahren.

Ein piezoelektrischer Schwinger erzeugt 2000-mal pro Sekunde Ultraschallimpulse mit einer Frequenz von 800 kHz und empfängt die Echos. Dieser als kombinierter Sender und Empfänger wirkende Schwinger ist an der Peripherie des Sondenkopfes untergebracht. Er besitzt eine Rotationsgeschwindigkeit von 3 bzw. 6 Umdrehungen pro Sekunde.

Die Gesamtsonde ist ca. 5,5 m lang und hängt an einem siebenadrigen Bohrlochmeßkabel. Die Sonde wird während der Messung mit einer Vertikalgeschwindigkeit von 2,5 - 3 m/min bewegt. Auf diese Art und Weise wird das Bohrloch systematisch und lückenlos abgetastet.

Eine Nord-Orientierungseinrichtung sorgt für die Richtungszerordnung und dirigiert den Ablauf der Registrierung (beim Norddurchgang beginnt die Messung, und Nord befindet sich immer links auf dem Registrierfilm). Die erhaltenen Echos werden in der Sonderelektronik so umgewandelt, daß sie über normales Bohrlochkabel der Obertageapparatur zugeführt werden können. Die Registrierung erfolgt in Form stufenloser Helligkeitsvariationen auf 16 mm-Schwarz-Weiß-Schmalfilm. Die Bildhelligkeit ist der Echoenergie direkt proportional (vgl. K. FÜRSTER, 1978).

In den registrierten unterschiedlichen Helligkeitswerten spiegeln sich die Reflexionseigenschaften der unverrohrten oder verrohrten Bohrlochwand wider. Unterschiedliche Reflexionseigenschaften besitzen die Gesteine zunächst aufgrund ihrer unterschiedlichen stofflichen Zusammensetzung.

In Abb. 3/11 stellen die hellen Bereiche Dolomit, die grauen Bereiche Steinsalz und die dunklen Streifen Sylvinit dar. Gleichzeitig ist ersichtlich, wieviel präziser hier im Vergleich zur Gammamessung die Schichtung abgebildet wird.

Großen Einfluß hat auch die verschiedenartige Rauigkeit der Oberfläche der Bohrlochwand. Deshalb ist das Verfahren bevorzugt zum Nachweis von Klüften und Kavernen (Abb. 3/12), aber auch von Defekten in der Verrohrung (Abb. 3/13) geeignet.

Wie die Reflexionseigenschaften der Gesteine, so beeinflußt auch die Länge des zurückgelegten Weges den Energiegehalt der elastischen Wellen. "Unrunde" Bohrlöcher oder verbeulte Röhre spiegeln sich durch vertikale diffuse Hell-Dunkel-Zonen wider (Abb. 3/14 und 3/15).

Die Art der Aufzeichnung erlaubt auf einfache Weise, sehr genaue orientierte Kluft- und Schichtneigungsbestimmungen durchzuführen. In gewissen Grenzen sind die Beträge der Kluftöffnungen quantitativ zu bestimmen. Desgleichen sind die Daten des ABF zur Kaliberbestimmung verwertbar.

Einige Vorteile gegenüber dem optischen Bohrlochfernsehen sind

- die nicht vorhandene Notwendigkeit, Klarwasser als Flüssigkeitssäule einzusetzen,
- die Verwendbarkeit gewöhnlicher Bohrlochmeßkabel und
- die horizontale Meßrichtung, durch die die Bohrlochwand als Abwicklung dargestellt wird und durch die sowohl präzise Schichtneigungsauswertungen als auch Kaliberbestimmungen möglich sind.

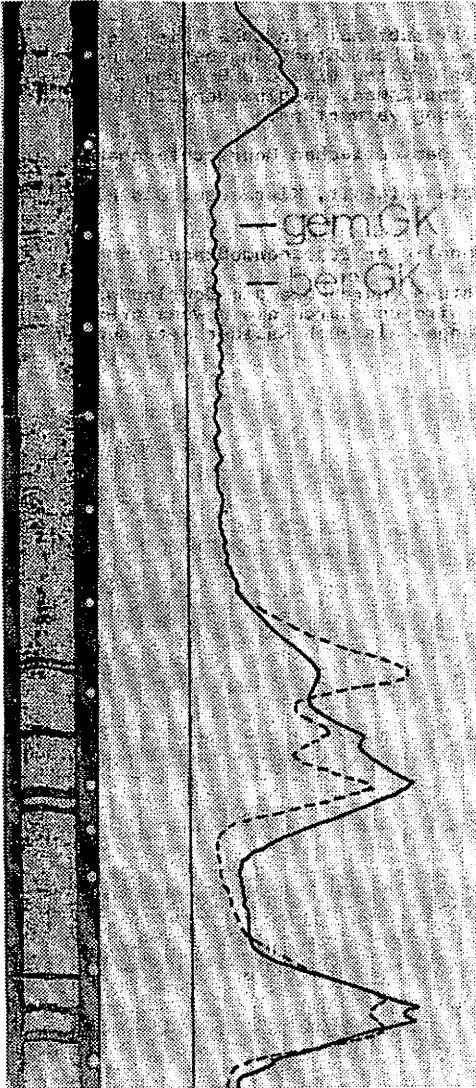


Abb. 3/11:

Akustisches Bohrloch-  
fernsehen

Beispiel  
für die Widerspiegelung  
lithologischer Verhält-  
nisse

---

helle Bereiche -

Dolomit;

graue Bereiche -

Steinsalz;

dunkle Streifen -

Kalisalz  
(Sylvinit)

Kalisalz wird schärfer  
im ABF-Bild als in der  
Gammaanomalie angezeigt

- gemessene Gamma-  
kurve
- nach ABF-Befund  
berechnete Gamma-  
kurve

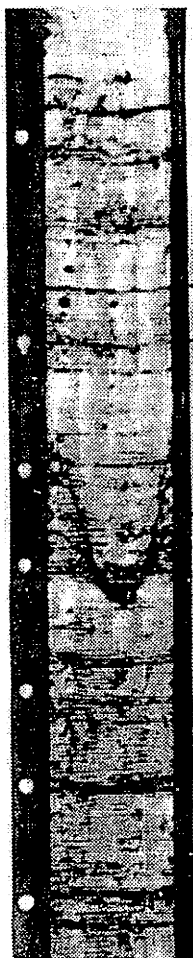


Abb. 3/12:

Akustisches Bohrlochfernsehen

Beispiel für die Abbildung  
von Klüften

1 - horizontale Lagenklüfte

2 - steil einfallende Kluft

Abb. 3/13:

Akustisches Bohrlochfernsehen

Anwendung für technische Kontrollen

Beispiel für Riß in der Verrohrung

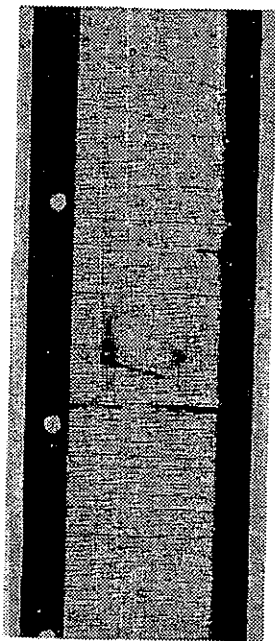




Abb. 3/14:

Akustisches Bohrlochfernsehen

Beispiel für

- Vertikalrisse im Bohrloch

und

- Abweichung von der Zylinder-  
form des Bohrloches  
(dunkle Schatten, um  $180^\circ$  versetzt)



Abb. 3/15:

Akustisches Bohrlochfernsehen

Beispiel für ovale Verrohrung,  
die außerdem lokal verdreht ist  
(siehe dunkle, um  $180^\circ$  versetzte  
Schatten)

### 3.2.3.3. Seismische Vertikalprofilierung (VP)

Die Bohrlochseismik umfaßt seismische Meßverfahren, die unter Einbeziehung einer Bohrung als Meßort durchgeführt werden.

Damit sind zwei Zielstellungen verbunden:

1. Die Bestimmung der petroakustischen Parameter Geschwindigkeit, Reflexionskoeffizient und Absorptionskoeffizient sowie die Festlegung der Zuordnung seismischer Reflexionshorizonte zum petrophysikalischen Profil.
2. Die Untersuchung struktureller und nichtstruktureller Veränderungen in der Umgebung der Bohrung.

Grundsätzlich erfolgen bei allen bohrlochseismischen Messungen die Energieanregung an bzw. in der Nähe der Erdoberfläche und der Empfang der seismischen Impulse innerhalb der Bohrung.

Der in der Nähe der Erdoberfläche mittels Sprengung erzeugte seismische Impuls wird durch eine Kontrollsonde in Sprengpunktnähe und durch die Bohrlochsonde registriert.

Die Meßtaufe der Bohrlochsonde wird schrittweise reduziert, so daß entlang der Bohrung ein vertikales Profil vermessen wird.

In der Meßsonde befinden sich Oberflächengeophone. Die Aufzeichnung der registrierten Wellen erfolgt analog oder digital.

Die Auswerteverfahren entsprechen denen der Oberflächenseismik unter Berücksichtigung der geometrischen Lage vom Sprengpunkt und Empfangspunkt im Bohrloch.

Bei größeren Entfernungen zwischen Bohrung und Sprengpunkt (bis ca. 5 km) spricht man von Offsetvertikalprofilierungen. Zur Untersuchung des Umfeldes einer Bohrung wandern dabei meist die Sprengpunkte von der Bohrung weg, und die Bohrlochsonde verbleibt in ihrer Position.

### 3.2.3.4. Mikroseismische Karottage (MSK)

Die MSK erfolgt in Flachbohrungen u. a. zur Mächtigkeitsbestimmung der "Langsamschicht", die mit der Verwitterungsschicht bzw. der Schicht oberhalb des Grundwasserspiegels identisch ist.



Sie dient der Vorbereitung und Auswertung seismischer Erkundungsarbeiten (optimale Anregungstiefe, Berechnung statischer und dynamischer Korrekturen, Geschwindigkeitsbestimmung).

Als Impulsgeber werden Zünder verwendet, die in bestimmten Teufenintervallen als sog. "Zündergirlande" in der seismischen Schußbohrung angeordnet sind. Der Energieempfang erfolgt über ein Geophon am Bohrlochmund.

### 3.2.4. Technische und sonstige Verfahren

#### 3.2.4.1. Kalibermessung (KB)

Der Kalibermesser besteht aus einem Zentralkörper mit einem Arm oder mehreren Armen. Diese werden mit Federkraft an das Gebirge gedrückt. Mit ihrer Spreizung betätigen sie einen veränderlichen Widerstand, wodurch eine dem Bohrlochdurchmesser proportionale elektrische Meßkurve erhalten wird. Die aufgetragene Kurve gibt im allgemeinen keinen Aufschluß über Abweichungen von der Rotationsymmetrie des Bohrloches, sondern zeigt nur die "gemittelten" Veränderungen an. Diese Qualitätseinschränkungen sind bei einem einarmigen Kalibermesser (KAT-150) zwangsläufig größer als bei einem vierarmigen. Für besondere Erfordernisse (z. B. Untersuchung der Abweichung von der Rotationsymmetrie) wurden spezielle Kalibermesser ermittelt, die hier aber nicht weiter erörtert werden sollen. Hierzu gehören u. a. die 2 x 2-armigen Kalibermesser, welche zwei Meßkurven liefern, sowie das ABF (s. 3.2.3.2.).

Die Kaliberkurve findet sowohl unmittelbare als auch mittelbare Verwendung:

- Kenntnis des Kalibers bedeutet Kenntnis des Hohlraumvolumens, was bei Zementierungen und sonstigen Hinterfüllungen benötigt wird,
- In der Kaliberkurve spiegeln sich verschiedene Gesteinseigenschaften wider. Im Lockergestein kesseln grobe rollige Gesteine leicht aus (Kalibervergrößerung), während Tonquellen (Kaliberverengung). Im Festgestein zeigen Kalibererweiterungen Störungszonen, aber auch Auslaugungszonen an.
- Schließlich dient das Kaliberlog zur Korrektur der Meßkurven anderer geophysikalischer Verfahren. Im Prinzip sind alle geophysikalischen Meßergebnisse von den Kaliberänderungen beeinflusst. Besonders hoch ist die Auswirkung aber bei allen Verfahren mit geringer Eindringtiefe und hohem Einfluß der Porosität, d. h. bei der GG-, NN- und NG-Messung (s. Abb. 3/10), aber auch bei der Vertikalströmungsmessung (z. B. Flowmetrie, wo Kaliberänderungen scheinbare Verlust- oder Speisehorizonte vortäuschen können).

Beim VEB Bohrlochmessung ist eine große Zahl unterschiedlicher Typen von Kalibermeßsonden im Einsatz, mit denen Bohrlöcher ab 40 mm Durchmesser bis zu Schächten mit einigen Metern Durchmesser untersucht werden können.

#### 3.2.4.2. Bohrloch-Abweichungsmessung (BA)

Zur Bestimmung der Lage eines Bohrloches bzw. seiner Abweichung von der projektierten Bohrstrecke dienen automatische oder von Obertage bediente Inklinometer, mit denen Neigungen und Azimut des Bohrloches über die Bohrstrecke gemessen werden.

In der Praxis werden folgende Inklinometerkonstruktionen eingesetzt:

- Foteklinometer
- elektromechanische Inklinometer
- Kreiselinklinometer.

Neigungsmessungen sind besonders wichtig für abgelenkte, gerichtete und untertägige Bohrungen.

Darüber hinaus ist die Überwachung der Richtung aller tieferen Bohrungen, die ungewollt von der Vertikalen abweichen, für geologische, technische und markenscheiderische Zwecke wesentlich.

Die Darstellung der Meßergebnisse geschieht meistens als Projektion der abgebohrten Strecke auf eine horizontale Ebene.

#### 3.2.4.3. Temperaturmessung (T)

Temperaturmessungen sind von vielseitiger Bedeutung. Als klassische Temperatursonden sind sogenannte Widerstandsthermometer im Einsatz, die sich wegen ihrer hohen Auflösung und Linearität auszeichnen.

Später sind als thermische Meßfühler vor allem Thermistoren (Halbleiter), Transistoren und Quarze hinzugekommen. Von der Anwendungsmethodik her sollen hier drei unterschiedliche Verfahren betrachtet werden:

- Messung stationärer und quasistationärer geothermischer Felder in ruhenden Bohrungen, (nach LEHNERT & ROTHE, 1962, soll die Messung frühestens 5 Tage nach dem letzten Spülungs-umlauf erfolgen);
- Messung der durch Spülungs-umlauf gestörten geothermischen Felder in ihrer instationären Wiederaufbauphase (kurze Zeit nach dem letzten Spülungs-umlauf; LEHNERT & ROTHE, 1962);

- Messung dynamischer Temperaturanomalien bei gerichteter künstlicher Wasserbewegung im Bohrloch (am vorteilhaftesten während des Abpumpens bzw. Wassereintrags).

Beim erstgenannten Verfahren will die klassische Geothermie Abbildungen der unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit der Gesteine im Temperaturbild erhalten. Solche Messungen spiegeln auch die Einflüsse entsprechend bedeutender, nicht unmittelbar von der Bohrung erfaßter geothermischer Wirkkörper wider.

In jüngster Zeit werden auch andere Probleme mit diesem Verfahren bearbeitet, z. B.

- Bestimmung der Permeabilität geringdurchlässiger Schichten (SESTAKOV u. a., 1975) durch Auflösung der in der Temperaturkurve enthaltenen überlagerten Wirkung von Wärmetransport und Wärmeleitfähigkeit (Abb. 3/16) und
- Erfassung natürlicher oder angeregter hydrogeologischer Strömungsfelder im Untergrund (Abb. 3/17).

Beim zweitgenannten Verfahren geht man davon aus, daß die Schichten je nach ihrer Wärmeleitfähigkeit mehr oder weniger schnell das gestörte Gleichgewicht wieder herstellen wollen. Die Auswertung läuft auf eine lithologische Interpretation des Materials hinaus. Besondere Fälle sind hierbei die Bestimmung natürlicher Wärmefelder, z. B.:

- Gasaustritt (negative Anomalie)
- Sulfiderze (positive Anomalie)
- Zonationsstellen (positive Anomalie).

Sie bedürfen in jedem Falle einer modifizierten angepaßten Verfahrenstechnik, die sich teilweise an die erstgenannte Vorgehensweise annähert.

Die dritte Verfahrensvariante ist für die hydrogeologische Ortung von Zulauf- oder Verlusthorizonten das empfindlichste Verfahren (LUX, K. N., 1980). Die Bereiche mit mobilem Wasser zeigen sich deutlich im Anomalienbild (Abb. 3/18). In diesem Beispiel erfolgte die Messung bei gleichzeitigem Abpumpen der Bohrung.

Gerade zu diesem Problemkreis der Anwendung thermischer Messungen in hydrogeologischen Bohrungen und Brunnen sind umfangreiche neue Entwicklungen im Gange, deren Verfolgung Aufmerksamkeit verdient.

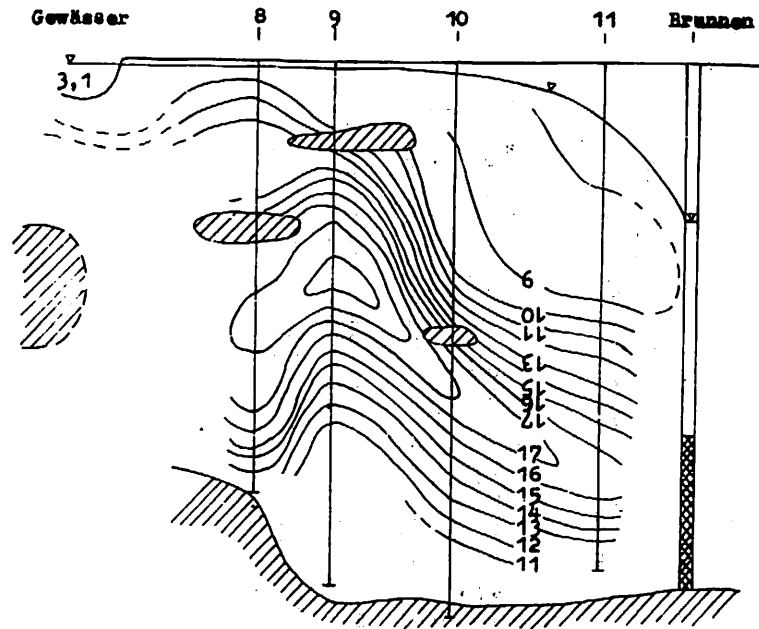


Abb.: 3/17  
 Profilschnitt mit Isothermen. Die Messung im Winter zeigt, daß erst jetzt das "Sommerwasser" des Vorfluters den Brunnen erreicht und in welchem Grade die Anpassung an die Grundwassertemperatur erfolgt. (- aus "Kombinierte Meßeinrichtung HR 3 T" VEB HGM -)

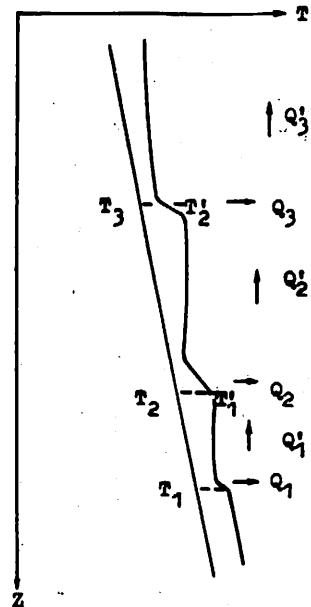


Abb.: 3/18  
 Hydrodynamisch wirksame Tiefenbereiche nachgewiesen durch Temperaturmessungen (aus LUX 1975)

Die beim VEB Bohrlochmessung im Einsatz befindlichen geothermischen Sonden beruhen auf dem Prinzip der nahezu linearen Widerstandsabhängigkeit eines Cu-Drahtes von der Temperaturänderung. Die bekanntesten der eingesetzten Sonden sind:

Typ	Bohrloch-durchmesser	obere Einsatzgrenze	Meßfehler
TEG-60	> 80 mm (> 100 mm)	125 °C	± 1,5 °C
TS 36	> 50 mm (> 70 mm)	150 °C	± 1,5 °C

(Die Klammerwerte sind Richtwerte für das Lockergestein).

Die Temperatursonden des VEB HGN sind nur für Kluswassereinsatz gedacht (geringes Gewicht) und bezüglich der verwendeten Materialien nur bis + 50 °C einsetzbar. Im einzelnen handelt es sich um nachstehende drei Sondenvarianten:

Typ	Bohrloch-durchmesser	Basis	geprüfte Einsatzbereiche	Auflösung	Meßfehler
Hy 40 T	50 mm	Thermistor	0 ... 30 °C	0,1 °C	± 0,1 °C
Hy 30 T	35 mm	Thermistor	0 ... 30 °C	0,1 °C	± 0,1 °C
DT 1 (digital)	20 mm	Transistor	0 ... 30 °C	0,01 °C	+ 0,1 °C (alle rel.)

Daneben gibt es sogenannte Differentialthermometer, mit denen die Temperaturdifferenzen kontinuierlich aufgezeichnet werden ( $\Delta Z = 1,75$  m). Diese sind jedoch kaum noch im Einsatz und werden nach und nach durch hochauflösende Thermosonden ( $\Delta T: 0,01$  °C und sogar  $0,001$  °C) ersetzt.

#### 3.2.4.4. Flowmetermessung (FM)

Das Flowmeter ist ein Gerät zur Messung von Fließgeschwindigkeiten. Hinsichtlich seiner Anwendung wird zwischen Vertikal- und Horizontalflowmeter unterschieden. Das erstgenannte mißt die Geschwindigkeit einer Strömung in der Bohrung, die sowohl nach oben als auch nach unten gerichtet sein kann. Mit dem Horizontalflowmeter werden annähernd horizontal gerichtete Fließgeschwindigkeiten gemessen.

Die Vertikalflowmetrie ist sowohl als Punktmessung als auch als kontinuierliche Messung einsetzbar (Abb. 3/19).

Die Horizontalflowmetrie wird für hydrogeologische Untersuchungen in der Regel als Punktmessung durchgeführt. Sie liefert an den hydraulisch wirksamen Stellen scharfe Impulse,

während die Fließrate in den hydraulisch nicht wirksamen Bereichen gleich Null ist (Abb. 3/20). Ihr Einsatzgebiet ist auf Spezialprobleme begrenzt.

Das verbreitetste technische Prinzip ist das Flügel-flowmeter. Da letzteres eine mechanische Reibung besitzt, also erst ab einer bestimmten Fließgeschwindigkeit reagiert, wurden zur Messung sehr geringer Geschwindigkeiten auch andere Meßprinzipien entwickelt. Aus der Sowjetunion ist ein Prinzip bekannt, das eine Temperaturquelle und einen Temperaturfühler im Strömungskanal besitzt. Die Temperaturänderung ist dann ein Maß der Fließgeschwindigkeit.

Ein sehr interessantes Prinzip scheint ein an der Universität Rostock erprobtes System der Verdriftung der Frequenzen von Funksignalen im strömenden Wasser zu sein. Die Einsatzgrenzen sollen zwischen  $v = 1$  mm/s und 3 m/s liegen.

Der Einsatz der Vertikalflowmeter erfolgt sowohl im ruhenden Bohrloch als auch im Arteser oder im Bohrloch mit künstlich bewegter Flüssigkeitssäule (Abpumpen oder Einleiten von Wasser).

Die Messungen dienen zu Bestimmungen der hydraulisch wirksamen Bereiche in Lage und hydraulischer Wirksamkeit.

Ein erprobter anderer Einsatz des Vertikalflowmeters besteht darin, daß durch seine Eigenbewegung eine Scheinströmung erzeugt wird. Aus dem Grad der Wasserverdrängung lassen sich im Brunnen Aussagen über die ausgebauten Filterstrecken und deren Funktionstüchtigkeit machen.

Die im VEB Kombinat Geophysik zum Standard entwickelten Vertikalflowmeter betreffen die FM 36.1-Serie mit folgenden Flügelkörpern:

Typ	Durchmesser	Einsatz ab Bohrlochdurchmesser	Ansprechgeschwindigkeit
MS 36	36 mm	50 mm	3 m/min
MS 50	50 mm	65 mm	1,5 m/min
MS 76	76 mm	100 mm	1,0 m/min.

Zuflussprofilierung mittels Flowmeter

ab  $v=5\text{m/min.}$   $\tau = 6\text{ s}$   
-x-  $v=0\text{m/min.}$   $\tau = 6\text{ s}$  (Punktmessung)

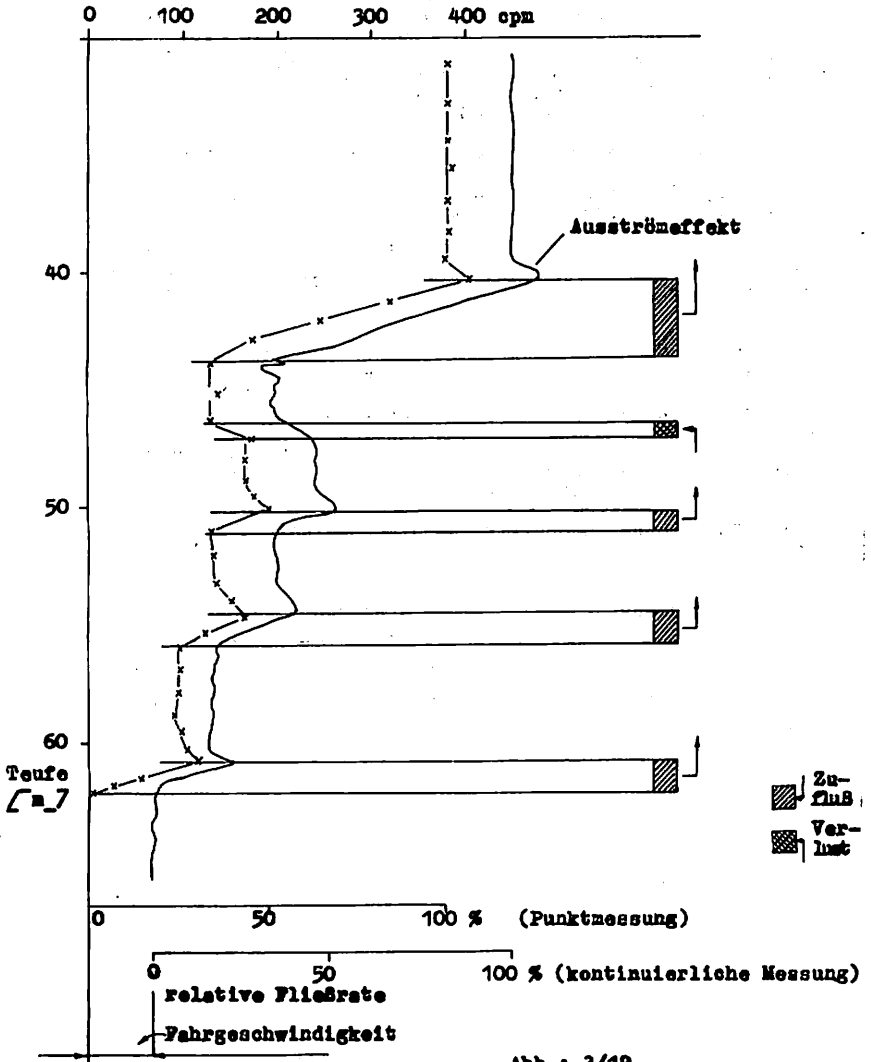


Abb.: 3/19  
(aus LUX, 1980)

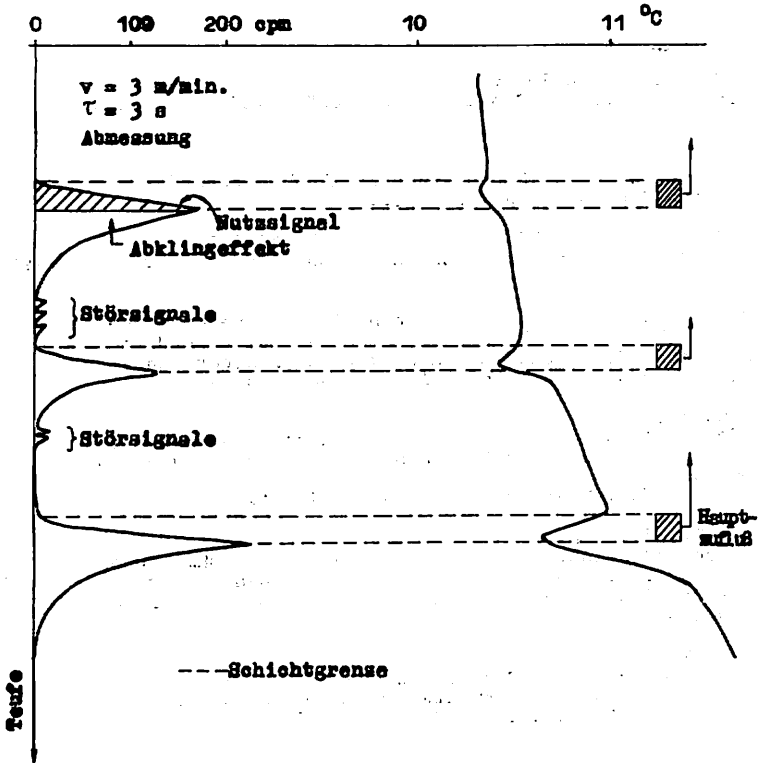


Abb.: 3/20

Zuflussschweis mittels Horizontalfowmeter- und  
Temperaturmessung  
(aus LUX, 1980)



Literatur zu 3.2.

LEHNERT, K. und ROTHE, K.:

"Geophysikalische Bohrlochmessungen", Akademie-Verlag  
Berlin 1962

MILITZER, H.:

Geophysikalisches Grundlagenpraktikum, Bergakademie Freiberg,  
Sektion Geowissenschaften, 1981

SESTAKOW, V. M., KRAVČENKO, I. P., PASKOVSKIJ, I. S.:

"Praktikum po dinamike podzemnych vod", Izdatelstvo MGU, 1975

BRANDT, G.:

"Untersuchungen über die mathematischen Zusammenhänge zwischen  
chemischen und elektrischen Meßwerten aus Labordaten und  
Messungen des spezifischen elektrischen Widerstandes"  
VEB Hydrogeologie Torgau, 1978 (unveröffentlicht)

FÜRSTER, K.:

"Entwicklung und Erprobung eines akustischen Meßverfahrens  
zur Untersuchung der Innenwand verrohrter und unverrohrter  
Bohrungen"

Dissertation, Freiberg, 1978 (unveröffentlicht)

IRMERT, S. u. a.:

"Abschlußbericht zum Forschungsthema Bohrlochmessungen und  
Interpretation der Ergebnisse für hydrogeologische Bohrungen"  
VEB Bohrlochmessung und -zementierung, Gommern, 1966  
(unveröffentlicht)

LUX, K.-N.:

"Hydrogeologie und Bohrlochmessung", (Begriffe, Definitionen,  
Formeln und Arbeitshinweise für den Geophysiker)  
VEB Geophysik Leipzig, 1975 (unveröffentlicht)

LUX, K.-N.:

"Interpretation von geophysikalischen Bohrlochmessungen in  
hydrogeologischen Bohrungen des Festgesteins"  
VEB Geophysik Leipzig, 1980 (unveröffentlicht)

VEB Geophysik

Tragbare Bohrlochmeßanlage KAT-150  
(Bedienungs- und Wartungsanleitung)

VEB Geophysik

Lehrgang: Interpretation geophysikalischer Meßergebnisse  
zur Braunkohlenerkundung, Teil 1 Bohrlochgeophysik  
Leipzig, 1984

VEB Hydrogeologie  
"Anleitung zum Verständnis geoelektrischer Untersuchungen  
in der Hydrogeologie"  
Torgau, 1982

VEB Hydrogeologie  
"Kombinierte Meßeinrichtung HR 3 T"  
(Technische Beschreibung, Bedienungsanleitung)  
Torgau, 1982

VOLKER, A.:  
Ergebnisse beim Einsatz des Neutron-Neutron-Verfahrens in  
Flachbohrungen  
FFH C 387 (1983), S. 28 - 42

STEINBRECHER, D.:  
Bericht über Versuchsarbeiten zur Einführung des röntgen-  
radiometrischen BLM-Verfahrens in die Praxis der Zinnerz-  
erkundung der DDR; VEB Geophysik, 1983 (unveröffentlicht)

LÜTZSCH, W.:  
Elementarspezifische Verfahren der Bohrlochmessung  
FFH C 387 (1983), S. 43 - 50

LÜTZSCH, W.:  
Physikalisch-messtechnische Grundlagen der  $\gamma$ -spektrometrischen  
Bohrlochmeßverfahren  
FFH C 387 (1983), S. 121 - 125

STEINBRECHER, D. & D. STILNER:  
Aussagemöglichkeiten von Neutronenaktivierungsmessungen  
im Bohrloch zur Bewertung von Begleitrohstoffen im Braun-  
kohlendeckgebirge;  
Vortrag BHT Freiberg, 1985

#### 4. Regionaler geophysikalischer Erkundungsstand für das Gesamtgebiet der DDR

Ein Qualitätsmerkmal rationell durchgeführter geologischer Untersuchungsarbeiten ist die sorgfältige Analyse des vorhandenen Kenntnisstandes.

Für regionale Betrachtungen ist der oberflächengeophysikalische Erkundungsstand in einer Reihe von Spezialkarten zur Geologischen Karte der DDR dokumentiert, auf die im folgenden kurz eingegangen werden soll.

##### 4.1. Refraktionsseismische Laufzeitpläne

Die bereits vor 1945 im Rahmen der geophysikalischen Reicheaufnahme begonnene und später vom VEB Geophysik abgeschlossene refraktionsseismische Übersichtsvermessung wurde zu einer Karte mit nachstehendem Titel verarbeitet:

Geologische Karte der DDR 1 : 500 000

- Geophysik -

Laufzeiten des seismischen Impulses für 2 und 4 km

Grundentfernung

1964 herausgegeben vom VEB Geophysik

(Farbdruck mit Erläuterungen)

wissenschaftliche Redaktion: E. THOMAS

Zum Anliegen dieser Karte seien aus den Erläuterungen folgende Hinweise gegeben:

Der geologische Bau des Untergrundes der DDR nördlich der Mitteldeutschen Hauptlinie war bis zu Beginn der fünfziger Jahre weitgehend unbekannt, da mächtige känozoische Ablagerungen die tiefen Strukturen verhüllen.

Für eine erste Bestandsaufnahme des Strukturinventars erwies es sich daher als zweckmäßig, den auf Lagerstätten von Kohlenwasserstoffen häufigen Sedimentationsraum des Norddeutschen Beckens mit geophysikalischen Mitteln näher zu untersuchen und damit zunächst Strukturen des postsalinaren Stockwerkes (Salzstöcke, Salzkissen, passive Hochlagen) aufzusuchen. In einem Gebiet mit intensiver Salzttektonik zeigten sich refraktionsseismische Übersichtsmessungen (sog. "Streuerchießen") als besonders geeignet, eine nahezu lückenlose Inventur der salinaren Strukturen bei großem Meßfortschritt zu erreichen.

Der Beobachtungsentfernung von 4 km entspricht im Durchschnitt eine Eindringtiefe von ca. 1 000 m. Wo abschirmende schallharte Horizonte fehlen, sind Strukturen bis maximal ca. 1 500 m Tiefe zu erkennen.

Die in der Karte als Isochronen dargestellten Laufzeitwerte werden durch die variierende Tiefenlage verschiedener schallharter Schichten (Zechstein, Muschelkalk, Malm, Oberkreide in kalkiger Fazies) bestimmt.

Da es sich hierbei jedoch nicht um eine Tiefenliniendarstellung handelt, ist zu beachten, daß "Kurzzeitgebiete" nicht immer Hochlagen älterer Schichten darstellen, sondern auch das Einsetzen schallharter junger Sedimente abbilden können.

Umgekehrt stellen "Langzeitgebiete" nicht immer Mulden dar, sondern können auch durch Hochlagen älterer Schichten mit geringer Geschwindigkeit bedingt sein.

Der 4-km-Laufzeitplan liegt für den gesamten Nordteil der DDR bis etwa zur Linie Haldensleben - Torgau - Cottbus vor.

In Gebieten mit besonders kurzen Laufzeiten oder mit ungünstigen Bedingungen für die Energieübertragung wurde eine Isochronenkarte für 2 km Grundentfernung konstruiert.

Die Tiefenreichweite beträgt hier ca. 500 m. Damit gibt sie die oberflächennahen Verhältnisse besser wieder und bildet etwa das Relief der Grenzfläche Tertiär - Prätertiär ab.

Der 2 km-Isochronenplan existiert nur für das Gebiet östlich der Linie Bützow - Rheinsberg - Rüdersdorf - Wittenberg - Hoyerewerda.

Allgemein ist aus dem Isochronenverlauf die Streichrichtung der Strukturelemente meist gut zu erkennen, so daß insbesondere nachfolgende reflexionseismische Untersuchungen für die Erdöl/Erdgas-Prospektion rationell angesetzt werden konnten.

Mit Hilfe der refraktionseismischen Übersichtsvermessung der nördlichen Bezirke der DDR konnten mehr als 120 strukturelle Hochlagen (Salzstöcke, Antiklinalen) und eine geringere Anzahl von Einmuldungen ermittelt werden.

Eine aktuelle Anwendung finden die refraktionseismischen Laufzeitpläne sowie ausgewählte Blätter des regionalen Kartenwerkes der Reflexionseismik (vgl. 4.2.) bei der im Abschnitt 5.2.2.6. behandelten komplexen Nachinterpretation des oberflächengeophysikalischen Kenntnisstandes 1 : 50 000 im Hinblick auf mögliche Bildungsräume bzw. Verbreitungsgebiete von Braunkohle.

Ergänzend sei hier noch angeführt, daß auf der Grundlage tiefenseismischer Untersuchungsprogramme des VEB Geophysik für den Nordteil der DDR bis etwa zur Mitteldeutschen Hauptlinie im Maßstab 1 : 500 000 auch refraktionsseismische Laufzeitpläne für 20, 30, 40, 50 und 60 km Grundentfernung vorliegen (W. LANGE, 1973). Sie vermitteln ein qualitatives Abbild der regionalen Lagerungsverhältnisse bis ca. 15 km Tiefe.

#### 4.2. Regionales Kartenwerk der Reflexionsseismik

Zur regionalen Zusammenfassung und Verallgemeinerung der vorwiegend für die Erdöl-Erdgas-Erkundung durchgeführten reflexionsseismischen Messungen wird vom VEB Geophysik unter Leitung von H.-G. REINHARDT für alle verfolgbaren Leithorizonte im Raum nördlich der Mitteldeutschen Hauptlinie ein "Regionales Kartenwerk" in den Maßstäben 1 : 50 000 (nur Altmark), 1 : 100 000, 1 : 200 000 und 1 : 500 000 herausgegeben und ständig aktualisiert.

Tiefenliniendarstellungen existieren für nachstehend bezeichnete und zugeordnete Leithorizonte:

T <sub>0</sub>	-	Diskordanzfläche Pleistozän
A <sup>m</sup> <sub>1</sub>	-	im Miozän
A <sub>1</sub>	-	Grenzbereich Oligozän/Eozän (etwa Rupelbasis)
A <sub>2</sub>	-	Basis Obereozän
T <sub>1</sub>	-	Transgressionsfläche Känozoikum
T <sub>2</sub>	-	Diskordanzfläche Campan bis Maastricht
B <sub>1</sub>	-	Grenzbereich Turon/Coniac
B <sub>2</sub>	-	Basis Cenoman
T <sub>2</sub>	-	Transgressionsfläche Mittelalb bis Cenoman
T <sub>3</sub>	-	Transgressionsfläche Hauterive bis Unteralb
T <sub>4</sub>	-	Diskordanzfläche Wealden bzw. Valangin
E <sub>1</sub>	-	Oberfläche Kimmeridgeanhydrit
E <sub>2</sub>	-	Oberfläche Korallenoolith
L <sub>1</sub>	-	Grenzbereich Lias/Dogger
L <sub>4</sub>	-	etwa Basis Lias

T <sub>6</sub>	-	Diskordanzfläche Rätkeuper bis Oxford
K <sub>2</sub>	-	Oberfläche Oberer Gipskeuper
T <sub>7</sub>	-	Transgressionsfläche Dolomitmergelkeuper
M <sub>1</sub>	-	etwa Oberfläche Muschelkalk
M <sub>2</sub>	-	in der Hauptmuschelkalkfolge
M <sub>3</sub>	-	Basis Muschelkalk
S <sub>1</sub>	-	Anhydrite im Grenzbereich Pelitrötfolge/ Salinarrotfolge
T <sub>9</sub>	-	Transgressionsfläche Nordhausen- bis Sollingfolge
X <sub>1</sub>	-	Oberfläche Zechstein
X <sub>2</sub>	-	Oberfläche Hauptanhydrit
Z <sub>1</sub>	-	Oberfläche Basalanhydrit
Z <sub>3</sub>	-	Basis Zechstein
H <sub>6</sub>	-	etwa Basis Saxon

Vorhandensein und Ausprägung der einzelnen Leithorizonte sind unterschiedlich. Übersichten zur Verfolgbarkeit der Reflektoren sind im VEB Geophysik (Gruppe "Regionales Kartenwerk") vorhanden und können dort eingesehen werden.

#### 4.3. Schwerekarten

Aus der vom VEB Geophysik ab 1955 vorgenommenen Regionalaufnahme mit ca. 1,5 km Punktabstand resultieren folgende Schwerekarten:

a) Geologische Karte der DDR  
Karte der Bouguer-Schwerestörung  $\Delta g_0$   
1 : 500 000  
herausgegeben 1977 vom ZGI im Auftrag des MfGeo (Farbdruck)  
wissenschaftliche Redaktion: W. CONRAD, S. GROSSE,  
S. THOMASCHEWSKI.

b) Kartenwerk 1 : 200 000 für die DDR  
(einschließlich von Bereichen der Granzanliegerstaaten).

Für den Nordteil der DDR (bis in den Bereich der Flechtingen-Roßlauer-Scholle und in den Raum südlich Berlin) existiert eine weitere Aufnahme mit ca. 500 m Punktabstand (stellenweise auf 250 m verdichtet). Dazu ist jedoch noch keine einheitliche Karte vorhanden. Begrenzungen und Anomalienkarten der einzelnen Maßgebiete sind im VEB Geophysik einzusehen.

Die im Rahmen der Braunkohlenerkundung etwa ab 1966 durchgeführten gravimetrischen Übersichts- und Spezialmessungen erfolgen mit Punktabständen von 250 m bis 50 m. Karten des Erkundungsstandes werden vom VEB Geophysik laufend präzisiert.

Als Teilergebnis der 1982 begonnenen komplexen Nachinterpretation 1 : 50 000 für die regionale Braunkohlenforechung (vgl. 5.2.2.6.) liegen für eine Reihe von Blattschnitten einheitliche Bouguer-karten sowie Lokal- und Regionalfeldkarten vor.

#### 4.4. Karten der magnetischen bzw. aerogeophysikalischen Vermessung

- a) Als Bestandteil der Reicheaufnahme erfolgte auch für das Gesamtgebiet der heutigen DDR eine  $\Delta Z$ -Vermessung mit einem lockerem Punktnetz (ca. 5 Punkte pro Meßtischblatt). Dazu existieren unveröffentlichte Kartenblätter 1 : 200 000, die für einzelne Bereiche z. Z. noch den aktuellen Stand verkörpern (z. B. Thüringer Becken).
- b) Für den südlichen Teil der DDR (Sachsen/Thüringer Schiefergebirge/S.-Thüringen/tw. Thüringer Wald) wurden von M. LEHMANN  $\Delta Z$ -Kartenblätter 1 : 200 000 sowie eine  $\Delta Z$ -Karte 1 : 500 000 zusammengestellt. Diese Karten basieren auf einer Vermessung mit ca. 350 m Punktabstand.
- c) Als Unikat existiert im VEB Geophysik für den Südteil außerdem eine Meßtischblatt-Sammlung zur  $\Delta Z$ -Aufnahme.
- d) Für den Nordteil der DDR (bis zur Linie Halberstadt-Roßlau-Lübbenau, aber ohne Usedom und Zingst) liegt eine einheitliche  $\Delta T$ -Aufnahme mit ca. 500 m Punktabstand (teilweise auf 250 m verdichtet) vor.

Davon wurden abgeleitet:

1. Geologische Karte der DDR  
Magnetik  
Anomalien der Totalintensität  $\Delta T$   
1 : 500 000  
herausgegeben 1977 vom ZGI im Auftrag des MfGeo (Farbdruck)  
wissenschaftliche Redaktion: H. LINDNER, R. SCHEIBE
2. Meßgebietkarten 1 : 50 000 bzw. 1 : 100 000.

- e) Als Bestandteil der komplexen konditionsgerechten Kartierung 1 : 100 000 für die regionale metallogenetische Erforschung des Grundgebirges im Südtail der DDR wurde 1982 vom VEB Geophysik mit der aerogeophysikalischen Vermessung der Grundgebirgseinheiten im Maßstab 1 : 25 000 begonnen.

Die geophysikalische Komplexmethodik umfaßt folgende Verfahren:

- Magnetik ( $\Delta T$ )
- Gammespektrometrie (U, Th, K)
- Elektromagnetik (VLF).

Dokumentations- und Interpretationsberichte für erste Teilgebiete liegen vor.

#### Literatur zu Kapitel 4

LANGE, W. :  
Beiträge zur regionalen tiefenseismischen Erkundung des Nordteiles der DDR  
(KMgW- und "Sewlja"-Programm 1963 - 1971)  
Dissertation KMU Leipzig, 1973 (unveröffentlicht)