

M e r k b l a t t

für die in hydrogeologischen Bohrlöchern einzusetzenden Bohrlochmeßprogramme und die Interpretation der Meßergebnisse.

1. Allgemeine Ausführungen

Unter "Bohrlochmessung" im weiteren Sinne wird eine wissenschaftlich-technische Spezialdisziplin verstanden, welche die Gesamtheit der zur Untersuchung und Dokumentation von Tiefbohrlöchern und Bohrprofilen in diesen Bohrlöchern selbst eingesetzten Verfahren zur Messung physikalischer und geometrischer Parameter umfaßt. Im engeren Sinne dagegen verstehen wir unter "Bohrlochmessung" den üblichen Vorgang der Ausführung solcher Messungen; dazu wird ein Meßfühler, die Bohrlochmeßsonde, an einem Bohrlochmeßkabel mittels einer Winde in das Bohrloch eingefahren. Bei der Wiederauffahrt produziert die Sonde elektrische Signale, welche Informationen über die zu messenden Größen (z. B. Temperatur, Radioaktivität, Bohrlochneigung...) enthalten. Diese Signale werden durch das Kabel zur Bohrlochmeßapparatur geleitet. Dort erfolgt ihre Ablesung oder die automatische Registrierung als teufenabhängige Bohrlochmeßkurve. Die letztere stellt somit ein Abbild des Verlaufes oder der Änderungen der untersuchten Größe längs des vermessenen Profilabschnitts dar; ihre Registrierung erfolgt in einem bestimmten, vorgegebenen Teufenmaßstab von 1:500, 1:200, 1:100 oder auch 1:10.

Gegenwärtig sind etwa 30 verschiedene Bohrlochmeßverfahren bekannt, aus denen für die verschiedenen Untersuchungsobjekte optimale Bohrlochmeßprogramme von 3 - 10 Meßverfahren zusammengestellt werden.

Es ist die Aufgabe der Bohrlochgeophysikalischen Interpretation, aus den Bohrlochmeßergebnissen durch logische Zuordnung, bei schwierigen Erkundungsobjekten u. U. auch mittels umfangreicher, den Einsatz der EDV erfordernder Programmsysteme die gewünschten geologisch-lagerstättenkundlichen Informationen zu gewinnen.

Für einfachere Aufgabenstellungen genügt ggf. auch eine manuell-visuell ausführbare qualitative Übersichtsinterpretation.

Gegenwärtig gestatten Bohrlochmessung und Bohrlochgeophysik die Lösung von Aufgaben aus folgenden fünf Hauptkomplexen (in Klammern Beispiele hydrogeologischer Art):

1. Lückenlose geologisch-geophysikalische Dokumentation von Bohrprofilen mit Möglichkeiten zur Korrelation und der Grobeinschätzung der Lithologie (z. B. qualitative Interpretation, Trennung von Grundwasserträgern und -stauern an Hand von Standardmeßprogrammen),
2. Quantitative Bestimmung geologischer, petrophysikalischer, lagerstättenkundlicher Parameter (z. B. Bestimmung der Porosität, des Tongehalts, der Wassersättigung, des Salzgehaltes des Schichtwassers),
3. Technische Untersuchung bzw. Dokumentation von Bohrprofilen, komplettierten Bohrungen und anderweitigen untertägigen Aufschlüssen und Installationen (z. B. Kaliber- und Neigungsmessungen; Nachweis und quantitative Einschätzung von Zufluß- bzw. Schluckhorizonten; Nachweis und Untersuchung von Verrohrungen bzw. Filtern, des Ringraumzements u. ä.),
4. Regionalauswertung quantitativer Bohrlochgeophysikalischer Parameter für geologisch-lagerstättenkundliche Zwecke (z. B. kartenmäßige Darstellung regionaler Tongehaltsänderungen, der regionalen Lage der Versalzungsgrenzen, regionale Korrelation stratigraphisch vergleichbarer Bohrprofile),

5. Gewinnung petrophysikalischer Informationen zur Unterstützung (Präzisierung, vertikalen Fortsetzung) feldgeophysikalischer Untersuchungen oder Gewinnung allgemeiner geophysikalischer Informationen (z. B. Bestimmung "wahrer" spezifischer Gesteinswiderstände zur "Eichung" geoelektrischer Oberflächenmessungen u. ä.).

Mit der bohrlochmeßtechnischen Grundausrüstung werden auch eine Reihe weiterer Arbeiten ausgeführt, die insbesondere die Veränderung bzw. Beprobung des Bohrloches zum Ziele haben (Bohrlochspreng- und -schießarbeiten wie Perforation, Torpedierung, Seitenkernentnahme, Flüssigkeitsprobenahme durch "Kabeltest"), aber auch z. B. Bohrlochfernsehen und Bohrlochfotografie.

Ausführung, Auswertung und Interpretation von Bohrlochmessungen erfolgen durch den Direktionsbereich Bohrlochmessung des VEB Geophysik. Für die speziellen Zwecke des Einsatzes von Bohrlochmessungen in hydrogeologischen Bohrlöchern sind im folgenden die empfohlenen Bohrlochmeßprogramme sowie einige wichtigste Grundzüge der qualitativen Interpretation der Meßergebnisse zusammengestellt, die dazu dienen sollen, daß hydrogeologische Objekte möglichst einheitlich bearbeitet werden, bzw. daß die geologischen und bohrtechnischen Bearbeiter befähigt werden, die Meßergebnisse von sich aus übersichtsmäßig zu interpretieren. Dieses Merkblatt kann nur ein Anfang sein; es ist vorgesehen, es später durch eine ausführlicher gehaltene Broschüre zu ersetzen. In der Zwischenzeit wird darum gebeten, alle schwierigeren Probleme, deren Lösbarkeit durch Bohrlochmessungen bzw. bohrlochgeophysikalische Interpretation vermutet wird, an die verantwortlichen Mitarbeiter bzw. die Leitung des DB Bohrlochmessung des VEB Geophysik heranzutragen. Wir werden bemüht sein, in allen solchen Fällen in gemeinsamer Beratung mit den hydrogeologischen Bearbeitern den rationellsten Lösungsweg zu finden!

2. Bohrlochmeßprogramme für hydrogeologische Bohrlöcher

2.1. Lockersedimentbereich (Pleistozän, Tertiär)

2.1.1. Grundprogramm

- Kaliber (1:5)
- Widerstand (kN-0,25/gN-1,0; beide Sonden mit gleicher Empfindlichkeit)
- Gamma (KAS mit Andrückmechanismus; 3 GE/cm)
- Gamma-Gamma (KAS mit Andrückmechanismus; möglichst dichtegeeicht).

2.1.2. Zusatzmeßverfahren

Zusatzmeßverfahren sollten nach Absprache zwischen dem Objektgeologen und dem bearbeitenden Geophysiker zum Einsatz gelangen.

- Eigenpotential (wenn Hinweise auf Versalzungserscheinungen des Grundwassers vorliegen. Wegen des geringen Aufwandes sollte darauf orientiert werden, grundsätzlich die Registrierung des SP zu versuchen).
- Neutron-Gamma (0,1 NE/cm; Bestimmung des Grundwasserspiegels; Nachweis von Geschiebemergel)
- Zuflußmessungen (mittels Flowmeter bzw. Resistivimeter im ausgebauten oder u. U. auch im offenen Bohrloch).

2.1.3. Trockenbohrungen

Im Interesse einer einheitlichen Dokumentation ist auch die Vermessung von Trockenbohrungen im Lockersediment zu empfehlen. In Frage kommen die Meßverfahren Gamma, Neutron-Gamma, evtl. Neutron-Neutron und Gamma-Gamma. Die Anzahl der Verrohrungen schränkt natürlich die Aussage ein — am besten nur 1 Rohrtour.

2.2. Festgesteinsbereich

2.1.1. Grundprogramm

- Kaliber (1:5)
- Widerstand (Ok/Uk-2 m)
- Gamma (KAS mit Andrückmechanismus; 3 GE/cm)
- Lokalisierung von Zufluß- bzw. Verlusthorizonten (abhängig von angetroffenen Bedingungen) mittels Resistivimeter- (Temperatur und Spülungswiderstand) bzw. Flowmetermessungen.

2.2.2. Zusatzmeßverfahren

Zusatzmeßverfahren sollten nach Absprache zwischen dem Objektgeologen und dem bearbeitenden Geophysiker zum Einsatz gelangen.

- Neutron-Gamma (0,1 NE/cm; zusätzliche lithologische Aussagen in karbonatischen und sulfatischen Abfolgen; Grundwasserspiegelmessung).
- Gamma-Gamma (KAS mit Andrückmechanismus, nur bei weitgehend glattem Kaliber; möglichst dichtegeeicht).
- Laterolog bzw. Mikrolaterolog (in Teufen > 100 m, sehr detailliertes Widerstandsprofil; ersetzt evtl. gesamtes übriges Widerstandsprogramm).
- evtl. weitere Widerstandsmeßverfahren (kN/gN; Induktionslog u.a.) z. B. zur Porositätsabschätzung usw.
- Bohrlochabweichung in Spezialfällen.

3. Hinweise für die lithologische Interpretation von Bohrlochmeßergebnissen aus hydrogeologischen Bohrlöchern

Alle physikalische Parameter messenden Bohrlochmeßverfahren unterliegen naturgemäß einer Störung infolge des Vorhandenseins des Bohrloches selbst, der Nachbarschichten und der Mächtigkeit der untersuchten Schicht. In einer sog. "1. Interpretationsetappe"

müssen daher an die abgelesenen, "scheinbaren" Meßwerte Korrekturen für die Spülungsbeschaffenheit (Dichte, spez. Widerstand...), den Bohrlochdurchmesser, die Schichtmächtigkeit usw. angebracht werden. Für die qualitative Interpretation ist mindestens eine erfahrungsmäßig zu erwerbende Kenntnis der Richtung dieser Störungen bzw. von Größe und Richtung der erforderlichen Korrekturen erforderlich, die im Rahmen des vorliegenden Merkblattes nicht vermittelt werden kann. Die folgenden Tabellen liefern daher nur erste Anhaltspunkte für die lithologische Interpretation! - Vgl. Tab. 1 und 2, Abb. 1.

Versalzungsgrenzen geben sich in den Widerstandskurven aus porösen, permeablen Bereichen durch allgemeine Niveauveränderungen zu erkennen, die auch quantitativ ausgewertet werden können. Das Beispiel der Abb. 2 entspricht einer Zunahme des äquivalenten NaCl-Gehalts von ca. 0,5 g/kg oberhalb 70 m auf ca. 2,5 g/kg unterhalb 90 m; zwischen 70 und 90 m befindet sich eine Übergangszone. Anstelle der hier eingesetzten Sondenkombination Ok/Uk-2,75 empfiehlt sich für derartige quantitative Widerstandsauswertungen die Verwendung sogenannter Normalsonden (kN/gN-Kombination, vgl. Abschn. 2), die weniger empfindlich auf Induktionsstörungen infolge zu großer Kabellänge u. dgl. reagieren.

4. Nachweis von Zufluß- und Verlusthorizonten

Vertikale Flüssigkeitsströmungen im Bohrloch wie auch ihre Veränderungen, wie sie in Höhe von Zufluß- und Verlusthorizonten eintreten, lassen sich qualitativ und quantitativ am besten mit dem Turbinenflowmeter untersuchen. Abb. 3 zeigt rechts den Nachweis zweier Zuflußhorizonte durch die Flowmetermessung. Es ist zu beachten, daß die Strömungsgeschwindigkeit im Bohrloch und damit

Tabella 1

Schematischer Überblick über das bohrlochgeophysikalische Erscheinungsbild wassergesättigter Lockersedimente. (R_a = scheinbarer spezifischer Widerstand, J_G^+ = Meßwert der Gamma-Messung in "GE" = Gammaeinheiten, abzüglich Nulleffekt, J_{NG}^+ = Meßwert der Neutron-Gamma-Messung in "NE" = Normaleinheiten, abzüglich des Meßwertes in reinem, tonfreiem Sand).

Sediment	R_a	J_G^+ (GE)	J_{NG}^+ (NE)	GG-Amplitude z. Sandniveau	Dichte (g/cm^3)
Sand, rein	sehr hoch	0	0	0 - Niveau)
" , schwach tonig-schluff.	hoch	0 - 3	- 0,1	0 - Niveau) 1,95 - 2,20
" , tonig-schluffig	mittel	3 - 6	- 0,1	0 - Niveau)
" , stark tonig-schluffig	mittel	6 - 9	- 0,1	etwas erhöht)
" , kalkig	sehr hoch	0 - 9	0,1; 0,2	bis stark erniedrigt	2,1 - 2,3
Schluff	niedrig	9 - 12	- 0,2	erhöht	1,8 - 2,0
Ton	sehr niedr.	12 - 18	- 0,2	erhöht	1,8 - 2,0
Geschiebemergel	mittel-niedrig	6 - 12	0,2; 0,3	stark erniedrigt	2,2 - 2,4
Braunkohle	niedrig	- 3	- 0,3	sehr stark erhöht	1,15 - 1,25
Einfluß von Kalibererweiterungen	reduzierend	gering	reduzier.	stark erhöhend	
Einfluß von Verrohrungen	$R_a = 0$	reduzier. um 20 bis 50 %	reduzier.	stark reduzierend	

- 1 -

Tabelle 2

Schematischer Überblick über das bohrlochgeophysikalische Erscheinungsbild verfestigter Sedimente

Sediment	R_a	J_G^+ (GE)	NG-Amplitude	Dichte (g/cm^3)
Sandstein, rein, salzwasser- führend	niedrig	0	mittel	2,1
" , rein, süßwasser- führend	hoch	0	mittel	2,1
" , tonig-schluffig	abfallend	0 - 12	abfallend	2,1
" , bindemittelreich (karbonatisch)	hoch (Spitzen!)	0 - 9	mittel-hoch	2,4
Schluffstein	niedrig	12 - 18	niedrig	2,2
Tonstein	niedrig	18 - 48	niedrig - Minimal	2,2
Mergelstein	niedrig	12 - 30	mittel	2,4
Kalkstein, Dolomit	sehr hoch	0 - 6	hoch	2,7
Anhydrit	Maximal- werte	0 - Niveau	sehr hoch	3,0
Gips	Maximal- werte	0 - Niveau	niedrig-Tonniveau	2,32
Einfluß von Kalibererweite- rungen	reduzierend	gering reduz.	reduzierend	stark reduzierend
Einfluß zunehmender Porosität	reduzierend	ohne	reduzierend	reduzierend

Zeichenerklärung: $J_G^+ = J_G - J_0$ (Sandstein, rein) = Gammaaktivität
 R_a = scheinbarer spezifischer Widerstand

Bedingungen für quantitative Werte: Durchmesser 120 - 200 mm; Spülungswiderstand $R_m > 5$ Ohm.m;
 Schichtwasserwiderstand $R_w > 10$ Ohm.m

auch die Anzeige der Flowmeterkurve stark vom Bohrlochdurchmesser abhängt, vgl. die "Kalibereffekte" in Abb. 3. Bei kontinuierlicher Flowmetermessung ist auch der durch die Eigenbewegung des Flowmeters verursachte Meßwert zu berücksichtigen. Die Anwendung der Flowmetermessung wird durch die Ansprechschwelle und die Umströmung der Meßsonde (sofern diese keinen den Ringraum absperrenden Packer aufweist) eingeschränkt.

Spontane wie auch durch Abpumpen oder Nachfüllen von Wasser provozierte Zu- und Abflüsse lassen sich durch wiederholte Messung des spezifischen Widerstandes der Bohrlochflüssigkeit nachweisen, sofern dieser durch Versalzen (Einfüllen von Salzwasser oder mehrfaches Durchfahren mit perforiertem Salzbehälter) verändert wurde.

Im Beispiel der Abb. 3 beträgt der spez. Widerstand der Bohrlochflüssigkeit ursprünglich ca. 11 Ohm.m, nach Versalzen ca. 2 Ohm.m; durch Abpumpen wird der Süßwasserzufluß angeregt, der sich durch Widerstandserhöhung von 2 Ohm.m in Richtung auf 11 Ohm.m zu erkennen gibt.

Im Beispiel der Abb. 4 wurde nach dem Versalzen laufend gleichmäßig Süßwasser ins Bohrloch eingefüllt, die "Widerstandsfront" Süßwasser/Salzwasser wird durch wiederholte Messungen im 10-Minuten-Abstand verfolgt und kommt in Höhe des Schluckhorizonts zum Stillstand.

So wie hier der Elektrolytgehalt als "Tracer" dient und durch die Messung des Flüssigkeitswiderstandes nachgewiesen wird, können auch andere Eigenschaften, in denen sich die bewegte von der stehenden Bohrlochflüssigkeit unterscheidet, zum Nachweis von Zu- und Abflüssen (in speziellen Varianten auch zur Abschätzung der horizontalen Fließgeschwindigkeit) ausgenutzt werden. Weit verbreitet ist die radioaktive Markierung, wofür meist spezielle

Tracerinjektoren verwendet werden, die ins Bohrloch eingefahren werden und an einer beliebigen Stelle eine punktförmige Markierung der Bohrlochflüssigkeit anzubringen erlauben. Auch die Temperaturmessung gestattet den Nachweis von Flüssigkeitszu- und -abflüssen: Über Verlusthorizonten ist die Bohrlochflüssigkeit relativ "zu kalt" (wie im Beispiel der Abb. 4), über Zuflüssen dagegen "zu warm", weil das aufsteigende Wasser die im tieferem Horizont herrschende höhere Temperatur mit nach oben trägt.

5. Wichtigste vom DB Bohrlochmessung des VEB Geophysik ausgeführte Meßverfahren und eingesetzte Bohrlochmeßgeräte (Tab. 3)

Abk.	Verfahren	Gerätetyp	Durchmesser (mm)		Bemerkungen
			Außen- \emptyset d. Sonde	kleinster Bohrl.- \emptyset	
Wid.	Konventionelle Widerstandsmessung mit "Kabelsonden"		60	72	
SP	Eigenpotential, mit der Wid.-Kabelsonde gemessen		60	72	
LL	Laterolog	ABK-3 (SU)	80	96	ab 40 m Teufe
MLL	Mikrolaterolog	KMBK-3 (SU)	-	150	beschränkt einsetzbar
G	Natürl. Gammastrahlung	KAS-70 KSS Mini-KS = KKS GS-50	108 93 65 50	130 114 78 60	m.Szintill.-Detektor m.Zählrohren m.Szintill.-Detektor m.Zählrohr
GG	Gamma-Gamma	wie G	wie G	wie G	Dichtezeichnung bedingt möglich
NG	Neutron-Gamma	KSS od. GS-50			
G-Is	Isotopenejektor	-	50	60	Komb.m.Sonde GS-50
Kb	Kaliber	KSS-01	80	96	
T	Temperatur	ETMI-55 TS-50	60 50	72 60	
FM	Flowmeter	.	.	.	verschied. Geräte ab 50 mm \emptyset
BA	Bohrlochabweich.	IK-2	60	72	
SW	Spül.-Widerstand	SWS-2	65	78	

Schematische Darstellung des lithologischen Ansprechens verschiedener Bohrlochmeßkurven

U - unbestimmt

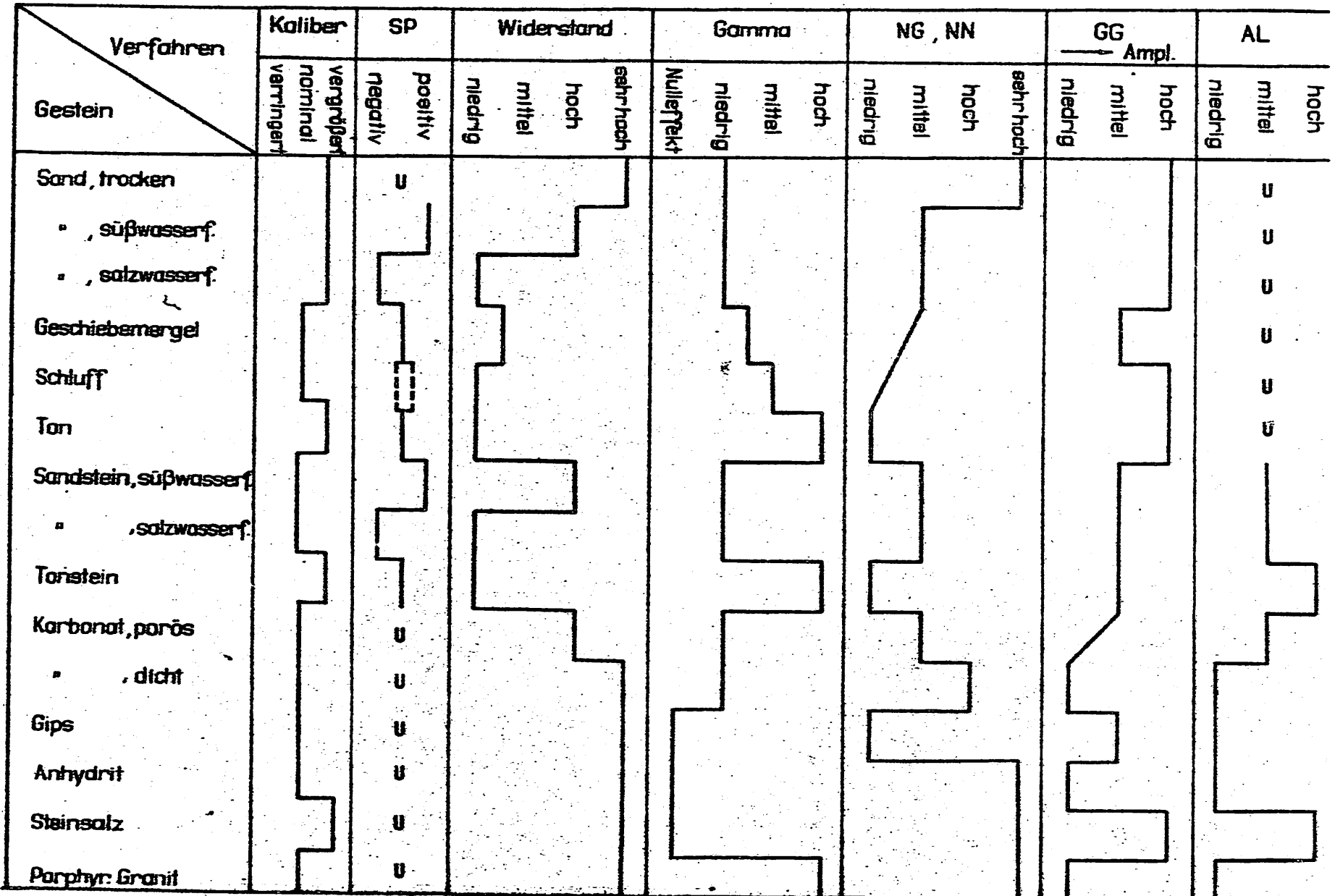
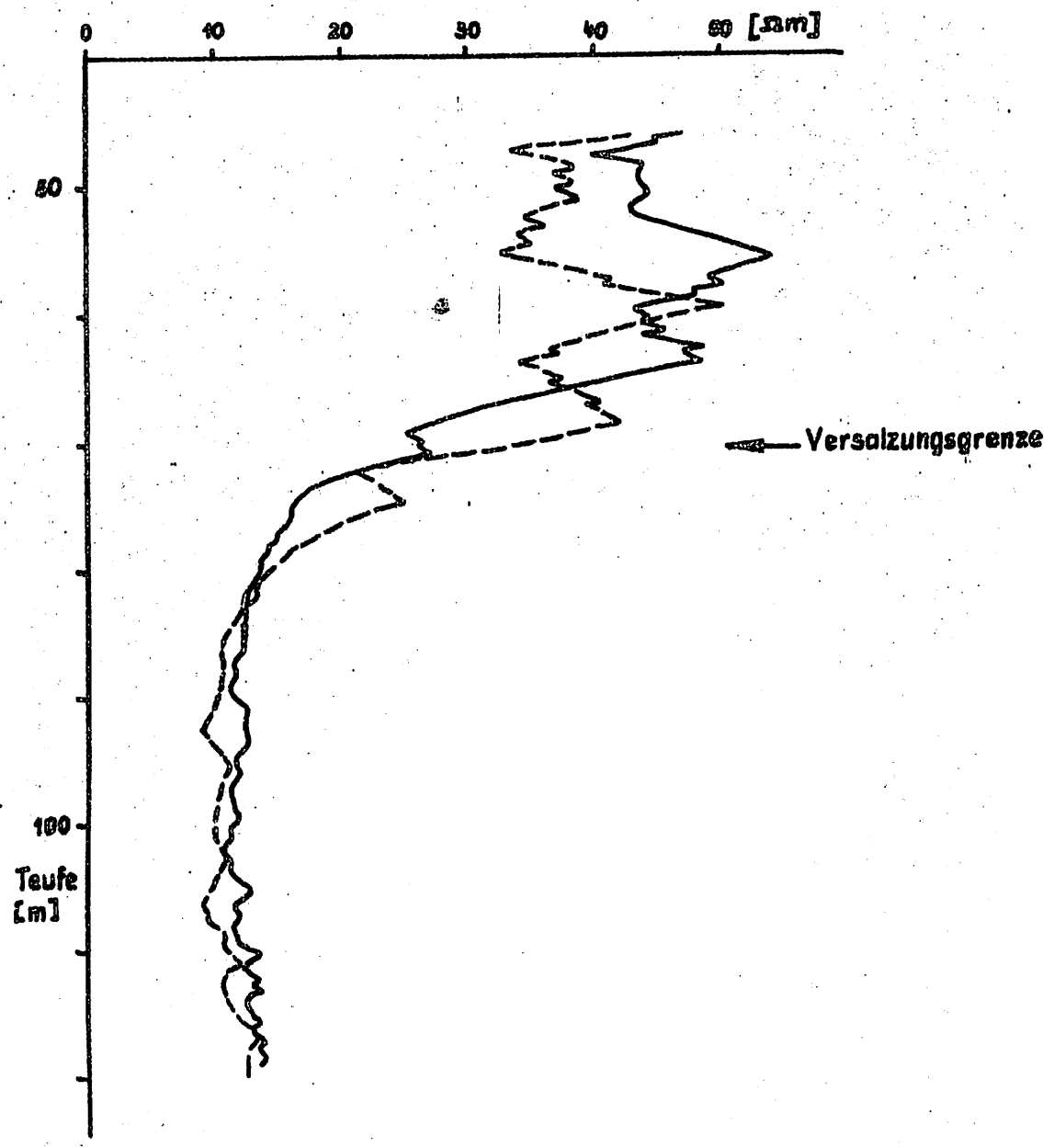
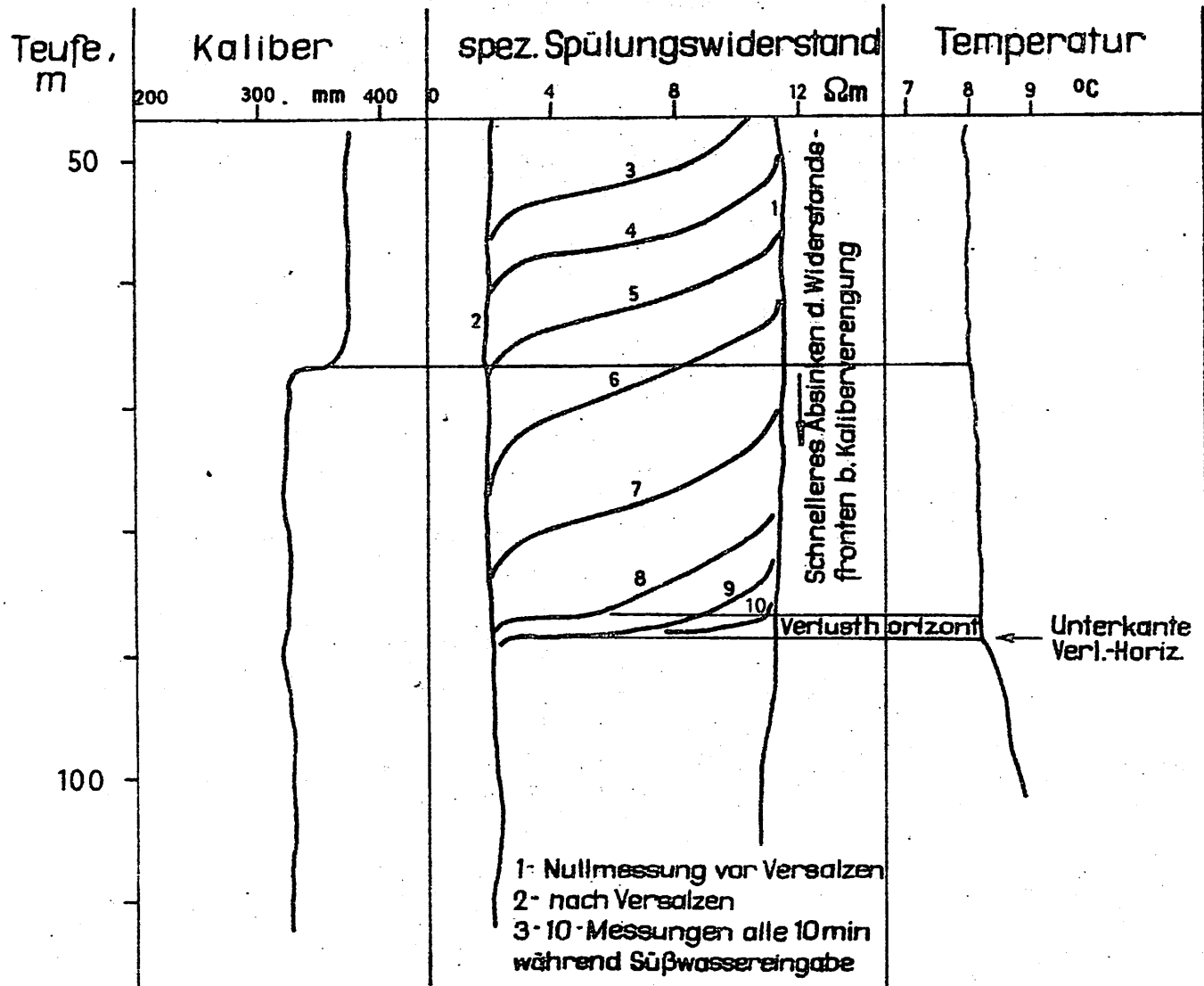


Abb. 1

Beispiel einer Versalzung

N 0.5 M 2.5 A (OK)
A 2.5 M 0.5 N (UK)





Verlustmessung

Beispiel einer Zuflußmessung

