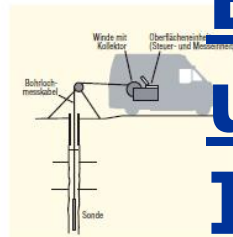
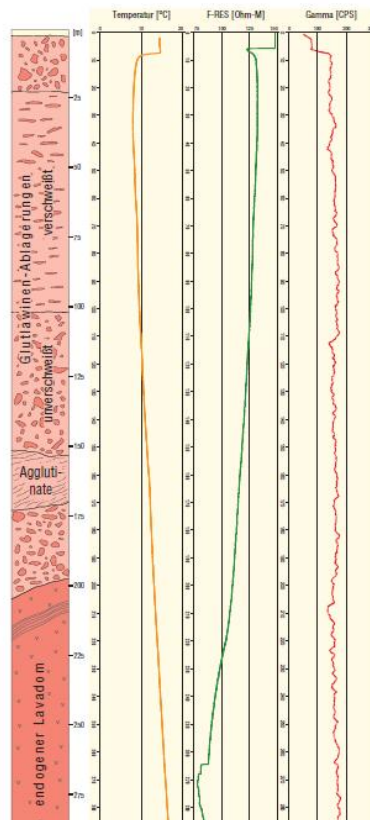
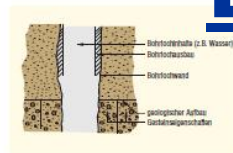


Geophysikalische Bohrlochmessungen und Nachweis der Integrität von Bohrungen

Bohrlochgeophysikalische Messungen



Hauptbestandteile einer Bohrlochmessanlage.



Mögliche Ziele bohrlochgeophysikalischer Untersuchungen.



Motorgewagen bei der Arbeit.

Dr. Matthias Kracht
Tel.: 0611-6939-720

Email: Matthias.Kracht@hlnug.hessen.de
www.hlnug.de

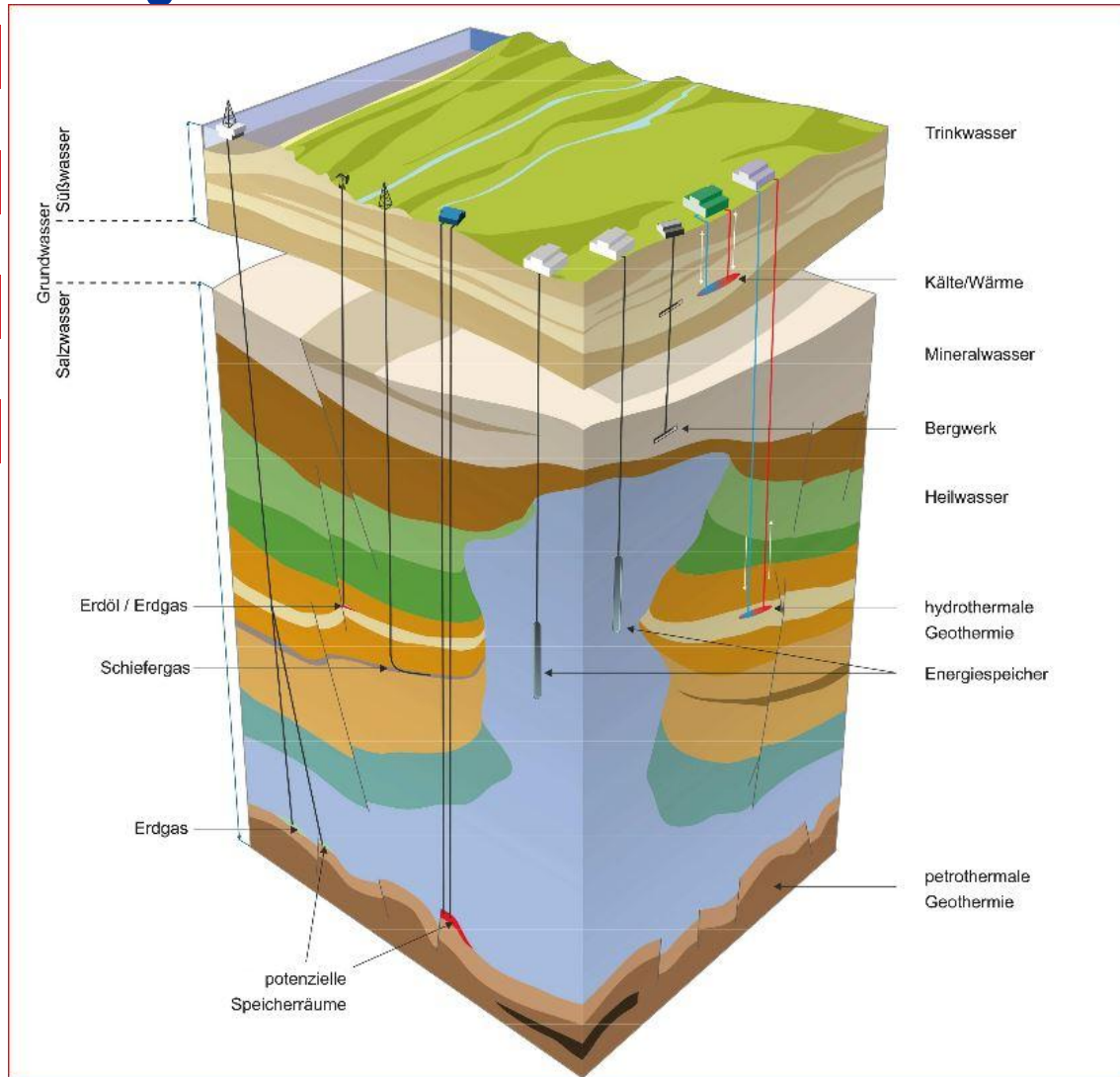
Geophysikalische Bohrlochmessungen und Nachweis der Integrität von Bohrungen



- 1. Einführung (Bohrlochgeophysik): Einsatz bei Fragestellungen im tiefen Untergrund.**
- 2. Was wird wie gemessen?**
- 3. Einsatz von Bohrlochgeophysik in der Hydrologie (Arbeitsblatt W 110, DVGW)**
- 4. Wer misst Bohrlochdaten für das HLNUG und was?**
- 5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund**
- 6. Integrität von Bohrungen**
- 7. Beispiele zur Integrität von Bohrungen: Bohrlochgeophysik**



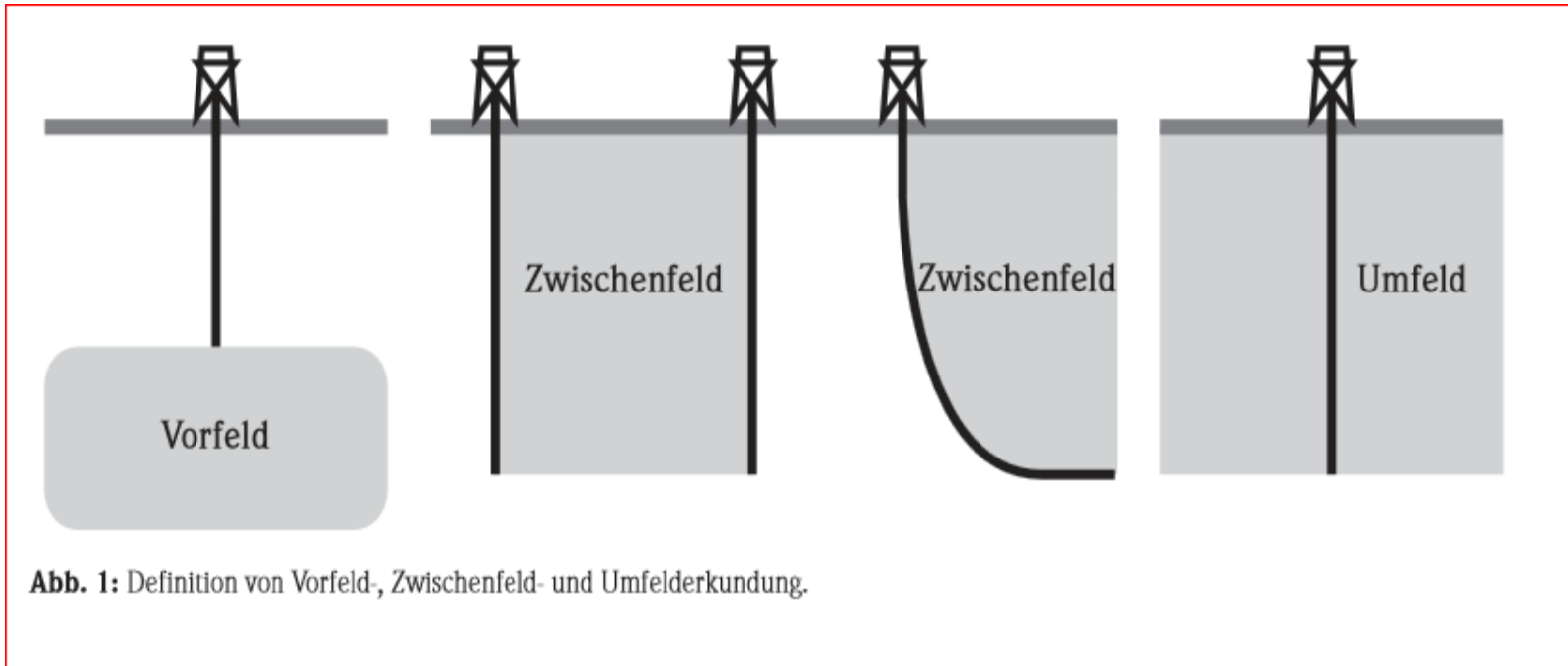
1. Einführung: Einsatz bei Fragestellungen im tiefen Untergrund



Zu den Tiefbohrungen rechnet man im Allgemeinen die Bohrungen zur Erschließung von KW-Lagerstätten. Sie sind in der Regel mindestens 500 m tief. Bei mehr als 5000 m spricht man von übertiefen Bohrungen oder (abgekürzt) Übertief.

Quelle: <http://www.infogeo.de>

2. Einführung: Was wird wie gemessen



Bohrlochmessungen:

- LWD (Logging while drilling)
- MWD (Measurement while drilling)
- Wireline (Messung mit Kabel)

2. Einführung: Was wird wie gemessen

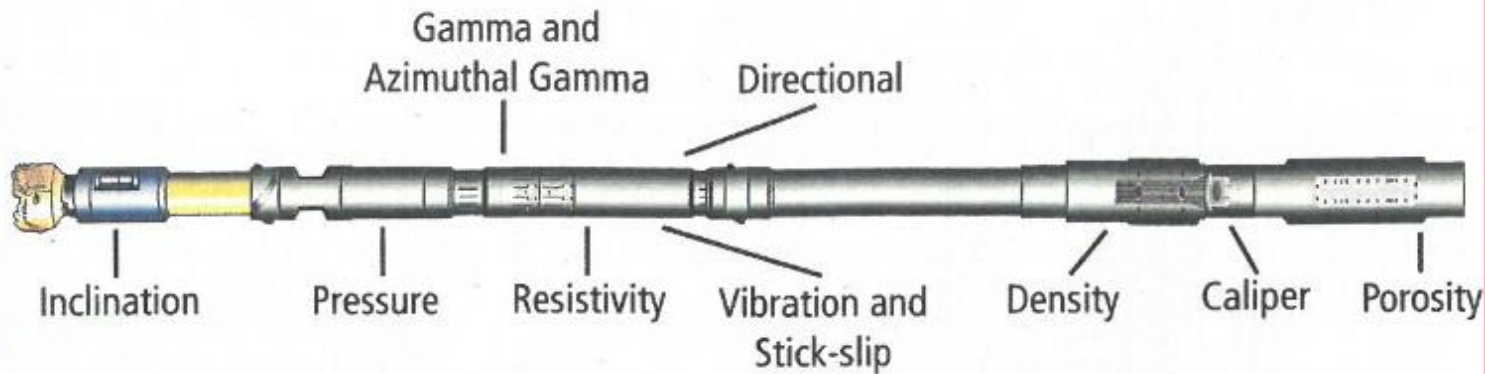


Figure 1.5 A Baker Hughes™ LWD Bottom Hole Assembly (BHA) showing the bit, MWD and LWD sensors. The assemblage provides the gamma ray, azimuthal gamma ray, 2 MHz and 400 kHz resistivity, caliper, density and neutron porosity as well as drilling information: it is 20 m (65 ft) long (from Ruszka 2003 with permission).

Bohrlochmessungen:

- LWD (Logging while drilling)
- MWD (Measurement while drilling)
- Wireline (Messung mit Kabel)

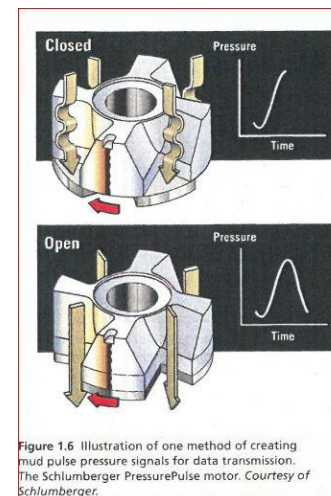


Figure 1.6 Illustration of one method of creating mud pulse pressure signals for data transmission. The Schlumberger PressurePulse motor. Courtesy of Schlumberger.

2. Einführung: Was wird wie gemessen

Funktion einer Bohrloch- mess- apparatur

2 Funktion einer Bohrlochmessapparatur

Die Hauptbestandteile einer Bohrlochmessanlage sind in Abb. 2 dargestellt. Dabei hat die Bohrlochmessapparatur drei Funktionen zu erfüllen:

- Steuerung des gesamten Messvorganges einschließlich der Bewegung der Sonde
- Stromversorgung der Sonde über das Kabel
- Registrierung (Darstellung und Speicherung) der von der Sonde über das Kabel geleiteten Messwerte.

Das Kabel wird über Teufengeber und Umlenke-rolle in das Bohrloch eingeführt. Sein Ende bildet eine Kabelkupplung. Über diese werden wahlweise die verschiedenen Messsonden mit dem Kabel verbunden.

Das Messkabel muss mechanisch zuverlässig sein und die folgenden drei Funktionen erfüllen:

- Energieversorgung der Sonde
- Messwertübertragung
- Information über Tiefenposition der Sonde

Mit der Sonde werden die unmittelbaren physikalischen Informationen als Messwerte (Spannung, Impulsrate etc.) gewonnen. Dabei gibt es zwei Typen von Messsonden:

- **passive Sonden:** Mit der Sonde werden die natürlich vorhandenen physikalischen Größen wie Temperatur, natürliche Radioaktivität (Gammastrahlung) oder das natürliche Eigenpotential gemessen.
- **aktive Sonden:** Mit der Sonde wird ein Signal der Umgebung aufgeprägt (Sender) und mit einem oder mehreren Sensoren (Empfänger) eine physikalische Größe gemessen (z. B. elektrische Widerstandsmessungen, Akustik-Log sowie Quellen auf kernphysikalischer Basis wie Gamma Gamma Messungen).

Da jedem Messwert eine Tiefe exakt zugeordnet werden soll, ist es notwendig für jede Sonde den Sondenbezugspunkt zu definieren. Die Position der Sonde im Bohrloch wird konstruktiv je nach Fragestellung bestimmt:

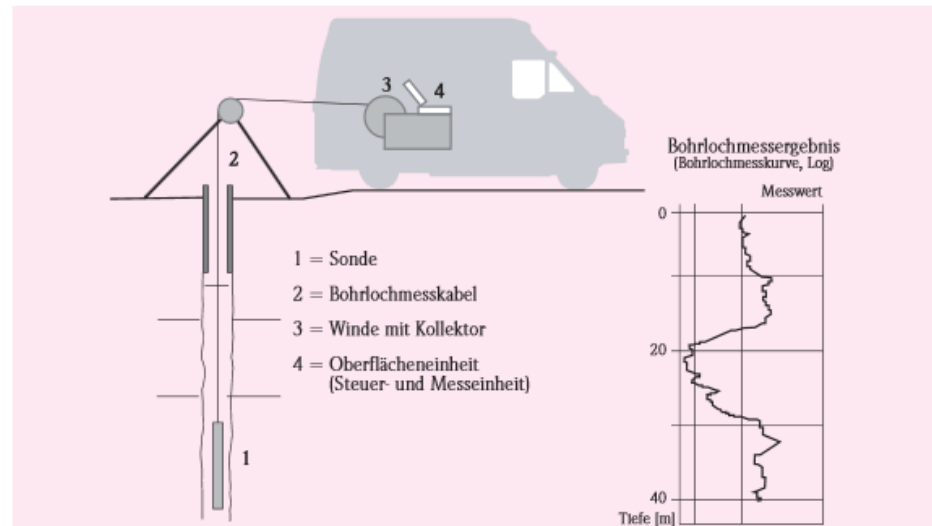
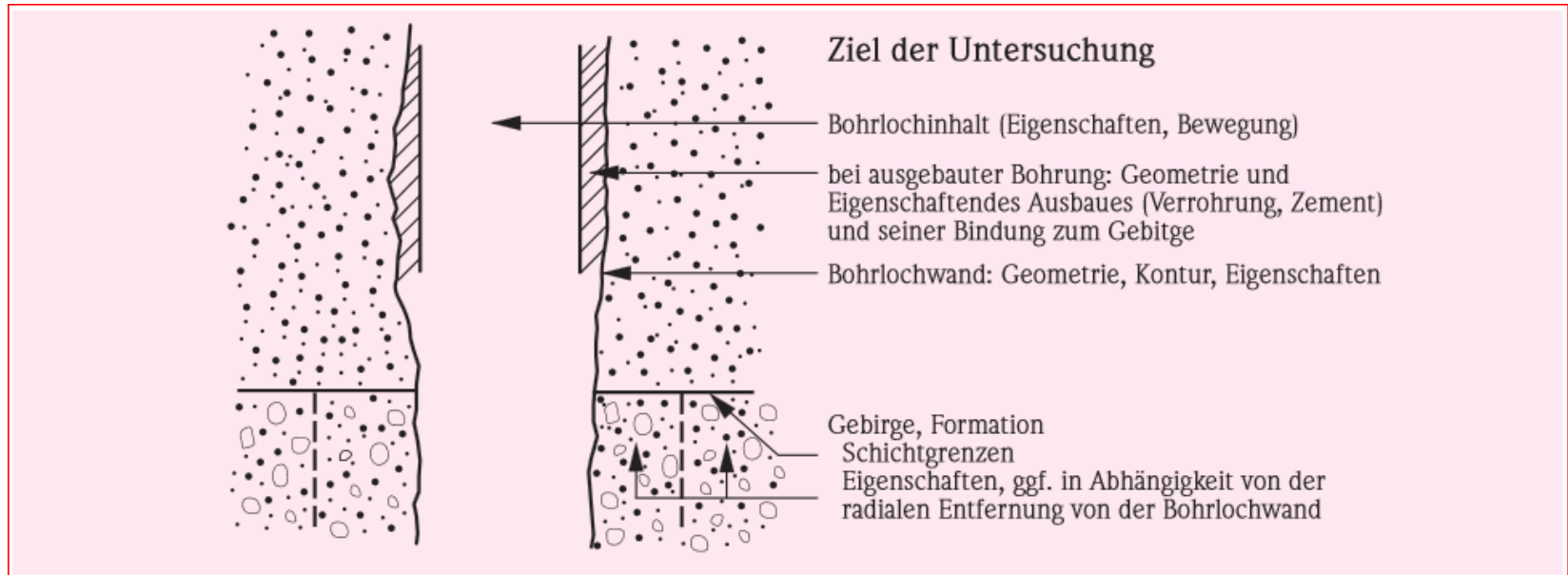


Abb. 2: Bohrlochmessanlage Hauptbestandteile.

2. Einführung: Was wird wie gemessen

Ziele der Bohrlochmessung



2. Einführung: Was wird wie gemessen

HESSEN



Welche Verfahren gibt es:

Unterschieden werden die einzelnen Bohrlochmessverfahren nach der physikalischen

Wirkungsweise:

- Elektrische und elektromagnetische Verfahren
- Kernphysikalische Verfahren
- Akustische Verfahren
- Optische Verfahren
- Sonstige Verfahren
- Verfahrenskombinationen !!!!!!!!!!!!!



Für eine lebenswerte Zukunft

2. Einführung: Was wird wie gemessen



Tab. 1: Übersicht Bohrlochgeophysikalische Verfahren

Messgröße	Bezeichnung	Einheit	trockenes Bohrloch	offenes Bohrloch	Stahlverrohrung	PVC Verrohrung
natürliche Gammastrahlung	GR	cps oder API	■	■	■	■
Temperatur	TEMP	°C	–	■	■	■
elektrische Leitfähigkeit	SAL	mS/m	–	■	■	■
vertikale Strömung	FLOW	± cps	–	■	■	■
Eigenpotential	SP	mV	–	■	–	–
Kaliber	CAL	mm	■	■	■	■
Einelektrodenwiderstand	R	Ωm	–	■	–	–
Mehrelektrodenwiderstand	ES, EL	Ωm	–	■	–	■
Fokussierter Widerstand	FEL, LL, ML, MLL	Ωm	–	■	–	■
elektrische Leitfähigkeit induktiv	IND, IL	mS/m	■	■	–	■
Gamma-Gamma	D	g/cm ³	■	■	□	□
Neutron-Gamma	N	cps	■	■	□	□
Schallgeschwindigkeit	SONICS, SL	m/s	–	■	–	–
Fernsehkamera	BHTV		■	Nur bei klarer Spülung		
Streichen und Fallen von Schichten	DIP	Grad	–	■	–	–
Bohrlochabweichung	DEV	m	■	■	■	■
Rohrverbindungen	CCL	cps	■	–	■	–
Zementierung	CBL	db/m	–	–	■	–
Suzeptibilität	SUS	SI	■	■	–	■

■ möglich, aber nur begrenzt sinnvoll □ nur zur Ausbaukontrolle

2. Einführung: Was wird wie gemessen



GR

Gamma Ray misst die natürliche Gammastrahlung, die vorwiegend vom besonders in Tonmineralen häufigen Kalium mit dem radioaktiven ⁴⁰K-Isotop stammt. Uran und Thorium könnten mit spektralen Gammasonden unterschieden werden, was in der Praxis aber selten geschieht.

TEMP

misst die Temperatur in der Bohrlochflüssigkeit. Änderungen im Gradienten, der tiefenabhängigen Zunahme, weisen auf Wasserzu- und -abflüsse.

SAL

Salinität misst den spezifischen elektrischen Widerstand in der Bohrlochflüssigkeit oder den Kehrwert, die elektrische Leitfähigkeit. Daraus lässt sich direkt der Gesamtsalzgehalt des Grundwassers bestimmen, Wasserzuflüsse sind erkennbar.

FLOW

ermittelt über die Umdrehungsgeschwindigkeit eines Impellerrads die vertikale Strömungsgeschwindigkeit in der Bohrlochflüssigkeit und zeigt so Zu- und Abflüsse.

SP

misst das Eigenpotenzial, das vorwiegend durch Konzentrationsgefälle oder Strömungsvorgänge erzeugt wird. Das Verfahren kann bei der Gliederung von Sand/Tonfolgen helfen.

CAL

Caliber misst den Querschnitt einer Bohrung mit ausfahrbaren Messarmen und zeigt somit Ausbruchszonen an.

R

Widerstand ist ein einfaches, selten aussagekräftiges Instrument zur groben Erfassung von Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstands im Gebirge zwischen einer Elektrode im Bohrloch und einer Elektrode an der Oberfläche.

ES, EL

sind 4-Elektrodenverfahren (ES = Electric Survey, EL = Elektriklog) zur Erfassung des spezifischen elektrischen Widerstands in der Bohrlochumgebung. Dabei werden verschiedene, in der Log-Überschrift angegebene Elektrodenabstände für geringe und größere Eindringtiefen benützt.

FEL, LL, ML, MLL

sind Multielektrodenanordnungen, sie erreichen durch Bündelung des Einspeisestroms eine gute Schichtauflösung bei der Messung des spezifischen elektrischen Widerstands in der nächsten Bohrlochumgebung (ML = Mikrolog, MLL = Mikrolaterolog) oder mit größerer Eindringtiefe (FEL = Fokussiertes Elektriklog, LL = Laterolog).

IND, IL

Induktionslog ist das einzige elektrische Verfahren, das in trockenen Bohrlöchern und bei PVC-Verrohrung zu Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes, bzw. seines Kehrwertes, der Leitfähigkeit, eingesetzt werden kann, da es induktiv arbeitet, also keinen galvanischen Kontakt benötigt.

D

Dichtelog benützt eine aktive Gammastrahlungsquelle. Die dadurch sekundär erzeugten Gammastrahlen sind ein Maß für die Gesteinsdichte.

N

Neutronenlog benützt eine aktive Neutronenquelle und misst die dadurch induzierte sekundäre Neutronen- (Neutron-Neutron-Log), manchmal auch -gammastrahlung (Neutronen-Gamma-Log). Das Verfahren reagiert empfindlich auf den Wasserstoffgehalt des Gesteins und wird zu Porositätsbestimmungen herangezogen.

SONIC

auch Sonic Log SL oder Sonic Velocity SV misst die Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen im Gestein, die von Material, Klüftigkeit und Porosität abhängt.

BHTV

Borehole Televier vermittelt ein optisches Bild der Bohrlochwand oder Verrohrung. Bei trüber Bohrlochflüssigkeit ist eine akustische Variante möglich.

DIP

Fallen misst über die Korrelation elektrischer Widerstandsmessungen mit 3 bis 6 Messarmen das Einfallen und Streichen von Schichten.

DEV

Deviation misst die tiefenabhängige Abweichung der Bohrung in horizontaler Richtung mit einer anschaulichen geometrischen Darstellung in Form von Horizontal- und Vertikalschnitten, mit Kreiselkompass auch in Stahlverrohrung möglich.

CCL

Casing Collar Locator zeigt in einer Stahlverrohrung die Rohrverbindung über elektromagnetische Feldstärkeänderungen eines induzierten Feldes an.

CBL

Cement Bond Log zeigt die Qualität einer Verrohrungszementierung über die Dämpfung von seismischen Wellen an.

SUS

=Suszeptibilität, auch MAL für Magnetiklog, misst die magnetische Suszeptibilität und kann Gesteinswechsel anzeigen. Magnetische Feldstärkemessungen sind auch möglich, werden aber in der Praxis selten eingesetzt.



3. Einsatz von Bohrlochgeophysik in der Hydrologie (Arbeitsblatt W 110, DVGW)



Technische Regel
Arbeitsblatt W 110 | Juni 2005



Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen,
Brunnen und Grundwassermessstellen –
Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen

Anwendungsbereich:
Bohrlochgeophysikalische Messungen bei der Erkundung und Gewinnung von GW sowie zur Untersuchung von Brunnen und GW-Messstellen



Für eine lebenswerte Zukunft

3. Einsatz von Bohrlochgeophysik in der Hydrologie (Arbeitsblatt W 110, DVGW)



Inhalt	
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Symbole, Abkürzungen und Einheiten	6
4 Messverfahren und ihre Prinzipien	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Kernphysikalische Verfahren.....	7
4.2.1 Allgemeines	7
4.2.2 Gamma-Ray-Log (GR)	7
4.2.3 Gamma-Gamma-Dichte-Log (GG, GG.D) ..	7
4.2.4 Neutron-Neutron-Log (NN, INN)	7
4.3 Elektrische und elektromagnetische Verfahren	7
4.3.1 Allgemeines	7
4.3.2 Eigenpotenzial-Log (SP)	8
4.3.3 Konventionelle Widerstands-Logs (EL, ML)	8
4.3.4 Fokussierende Widerstands-Logs (FEL, DLL, MLL)	8
4.3.5 Dip-Log (DIP)	8
4.3.6 Induktions-Log (IL)	8
4.3.7 Suszeptibilitäts-Log (SUS, MAL).....	8
4.4 Akustische Verfahren	8
4.4.1 Akustik- oder Sonic-Log (AL)	8
4.4.2 Akustischer Scanner (ABF, BHTV, CIBL) ...	9
4.5 Optische Verfahren	9
4.5.1 Fernsehsondierung (OPT)	9
4.5.2 Optischer Scanner (OBI, ETIBS)	9
4.6 Sonstige Verfahren	9
4.6.1 Temperatur- (TEMP) bzw. elektrisches Leitfähigkeits-Log (SAL) der Bohrlochflüssigkeit	9
4.6.2 Tracer-Fluid-Log (TFL)	9
4.6.3 Milieu-Log (MIL)	10
4.6.4 Impellerflowmeter-Log (FLOW)	10
4.6.5 Kaliber-Log (CAL)	10
4.6.6 Bohrlochverlaufs-Log (BA)	10
4.7 Weitere Anwendungen/Verfahrenskombinationen	10
4.7.1 Spektrales Gamma-Ray-Log (GR.S)	10
4.7.2 Segmentiertes Gamma-Ray-Log (SGL) ..	10
4.7.3 Dichte-Ringraumscanner-Log (RGG.D) ..	10
4.7.4 Segmentiertes Gamma-Gamma-Dichte-Log (SGG.D)	10
4.7.5 Neutron-Gamma- bzw. Gamma-Gamma-Spektrometrie (NG.ES, EBS, PE, RFA, Elementbestimmungs-Log)	11
4.7.6 Elektromagnetisches Wanddicken-Log (EMDS)	11
4.7.7 Nuklear-Magnetisches Resonanz-Log (NMR)	11
4.7.8 Akustisches Wanddicken-Log (ABFWS) ..	11
4.7.9 Cement Bond-Log (CBL).....	11
4.7.10 Packerflowmeter-Log (FLOW.P)	11
4.7.11 Fotometrisches Trübungs-Log (FMT)	11
4.7.12 Fotometrisches Fließrichtungs-Log (FMR)	11
4.7.13 Gasdynamischer Test (GDT)	12
4.7.14 Temperatur-Monitoring (TEMP.MON)....	12
5 Untersuchungsziele und Aussagemöglichkeiten der Messverfahren	13
6 Qualitätssicherung und Randbedingungen	18
7 Messprogramme	20
7.1 Allgemeines	20
7.2 Anwendungen.....	20
7.2.1 Bohrungen im Lockergestein	20
7.2.2 Bohrungen im Festgestein	23
7.2.3 Brunnen und Grundwassermessstellen	26
Anhang A (informativ).....	33



Für eine lebenswerte Zukunft

3. Einsatz von Bohrlochgeophysik in der Hydrologie (Arbeitsblatt W 110, DVGW)

5 Untersuchungsziele und Aussagemöglichkeiten der Messverfahren

In der Tabelle 1 werden die Untersuchungsziele einschließlich der Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen der Messverfahren zusammengefasst.

Tabelle 1 – Untersuchungsziele, Aussagemöglichkeiten und Anwendungsgrenzen bohrlochgeophysikalischer Messverfahren

Messverfahren	Bohrungen im Lockergestein	Bohrungen im Festgestein	Brunnen und Grundwassermessstellen
GR	lithologische Gliederung des Gebirgsaufbaus Erkennung und Abgrenzung von Grundwasserhemmern Bestimmung des Feinkornanteils (Schluff, Ton) im Sediment Ermittlung radiometrischer Gesteinsanomalien (radioaktive Kluffüllungen)		Erkennung von Feinkornanteilen im Filterkies Ermittlung der Lage von Tonsperren bei genügend hohem γ -Strahlungscontrast zwischen Ton und Gebirge
GG, GG.D	lithologische Gliederung des Gebirgsaufbaus anhand gesteinscharakteristischer in situ-Dichten Bestimmung der Porosität	wie Lockergestein zzgl. Abgrenzung von wasserhöflichen Störungs- bzw. Entfestigungszonen	Einschätzung der Lagerungsdichte im Ringraum (z. B. Brückenbildung, Erkennung von Materialdefiziten) Abdichtungsnachweis bei vorhandenem Dichtecontrast (hier auch wichtiges Validierungsverfahren zum CBL) Abgrenzung von Sperrrohren Erkennen von Rohren abweichender Wandstärke (in geeigneten Ausbauten: dichteabhängige Gliederung des anstehenden Gebirges)
NN (INN)	lithologische Gliederung (Erkennung von Ton, Schluff und tonig-schluffigen Bereichen, insbesondere beim Auftreten von Kieslagen mit erhöhter Gammastrahlung) Porositätseinschätzung Bestimmung der Wassersättigung des Gebirges	lithologische Gliederung (evaporitische Sedimente sowie magmatische und metamorphe Abfolgen im Kristallin) Porositätseinschätzung Bestimmung der Wassersättigung des Gebirges	Erkennen von bindigen Abdichtungen unbekannter Zusammensetzung Feststellung der Filterkiesoberkante Porositäts- und Wassergehaltseinschätzung im Ringraum (in geeigneten Ausbauten: Bestimmung der Wassersättigung des Gebirges)
SP	lithologische Gliederung in Sand-Ton-Profilen Erkennung kontaminierter Abschnitte im Grundwasser Anwendung nur bei deutlichem Leitfähigkeitscontrast zwischen Bohrlochfluid und Grundwasser sinnvoll	wie Lockergestein, aber nur wenig zielführend	Anwendung nicht sinnvoll

3. Einsatz von Bohrlochgeophysik in der Hydrologie (Arbeitsblatt W 110, DVGW)

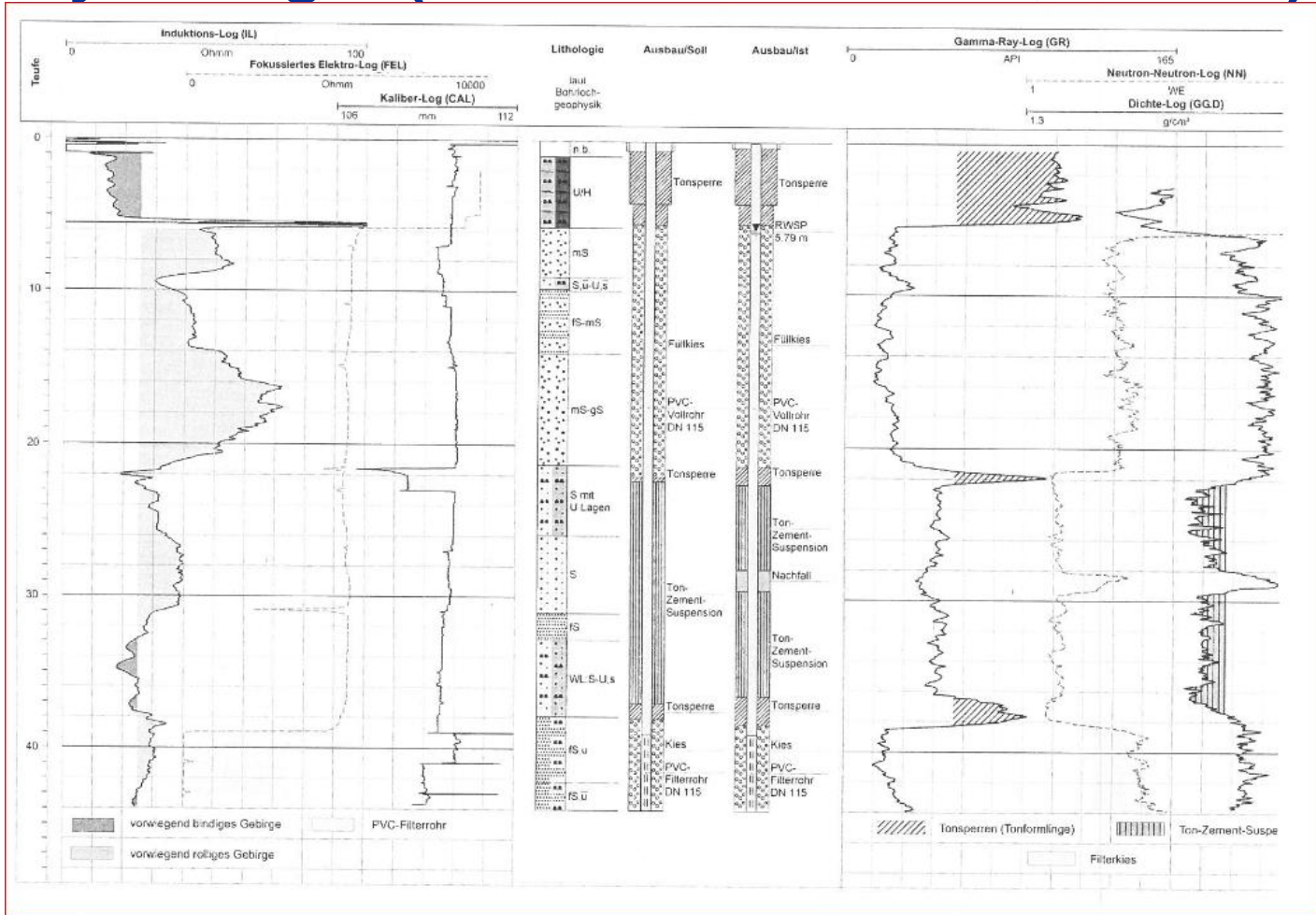
Tabelle 5 – Messprogramme in Brunnen und Grundwassermessstellen im ausgebauten Zustand (Fortsetzung)

Zielstellung	Kombination der Messverfahren	Untersuchungsziele/Bemerkungen	Anwendung
Lage der Filterstrecke und der Rohrverbindungen	FEL	nur in elektrisch nicht leitenden Rohren einsetzbar	++
	EMDS	nur in Stahlrohren einsetzbar	
	CCL	nur in Stahlrohren einsetzbar	+
	CAL, OPT	bei starken Rohrbelägen nur eingeschränkte Aussagen	-
	FLOW.P	wie CAL und nur im wasserführenden Bereich einsetzbar	-
Nachweis einer ordnungsgemäßen Verfüllung des gesamten Ringraums, Untersuchung der Homogenität der Filterkiesschüttung	GG bzw. GG.D	Nachweis der Ringraumverfüllung und Ausbildung von Materialdefiziten kann nur einseitig oder als Durchschnitt über den gesamten Ringraum erbracht werden, alternativ RGG.D	++
	RGG.D	Nachweis einer homogenen Verfüllung über den gesamten Umfang des Ringraums (horizontale Ausbildung von Verfüllungen)	++
Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Rohrverbindungen	FEL	Screeningverfahren für die Dichtheitsprüfung, nur in elektrisch nicht leitenden Rohren einsetzbar, kein eindeutiger Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Rohrverbindungen	++
	SAL	nur indirekter Nachweis von Fremdwasserzutritten im Zusammenhang mit TEMP-Messung, wenn damit eine Änderung des Chemismus verbunden ist	(+)
	TFL	Messungen in Ruhe und bei Förderung oder bei Wassereingabe, Direktnachweis von Fremdwasserzutritten, ggf. in Ergänzung zu FLOW	-
	Packertest	Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von potenziell undichten Rohrverbindungen/Leckstellen, (im Anschluss an FEL, wenn der Verdacht auf Undichtigkeiten besteht), wichtig für die Dichtheitsprüfung von Stahlrohren	(+)
Wanddicke -Durchrostung	EMDS	Überprüfung der Wanddicke (Grad der Durchrostung), nur bei alten Brunnen/Messstellen mit Stahlausbau von Interesse	-
Richtung und Neigung des Ausbaus	BA	im Stahlausbau Richtung nicht oder nur mit Kreiselkompass bestimmbar	-
Zuflussermittlung, Vertikalströmung	FLOW, TEMP/SAL	Ermittlung der Zuflussverteilung (Brunnen-/Messstellenanströmung) als Nullmessungen und bei Förderung, Feststellen von Vertikalströmungen als Einflussfaktor bei Beschaffenheitsmessungen	++
Durchlässigkeit des Filterbereichs	FLOW.P	Durchlässigkeit von Filterrohr und der Kiesschüttung im filterrohrnahen Bereich	++
Wasserchemismus	TEMP/SAL	Überprüfung des Wasserchemismus in Brunnen und Messstellen (Salinität, vertikale Schichtung)	++
	MIL	Messung von pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Redoxpotenzial, Temperatur und Leitfähigkeit des Wassers	-

++ Messung unverzichtbar + Messung wird empfohlen (+) Messung unter bestimmten Bedingungen notwendig - Messung nur bei besonderen Fragestellungen



3. Einsatz von Bohrlochgeophysik in der Hydrologie (Arbeitsblatt W 110, DVGW)



Beispiel für eine bohrlochgeophysikalische Brunnenkontrollmessung



Für eine lebenswerte Zukunft



4. Wer misst Bohrlochgeophysik für das HLNUG und was? HLNUG(G2)

Bohrlochgeophysik beim HLNUG (Dezernat G2, Fachgebiet Geophysik)

Neben Messungen an der Erdoberfläche können mit speziellen Messsonden physikalische Parameter in Bohrlöchern beobachtet werden. Am HLNUG gibt es hierfür eine **Multisonde** mit 3 Aufnehmern in einem Gehäuse, die an einem Messkabel mit einer elektrischen Winde **bis zu 500 m tief kontinuierlich Messwerte** aufzeichnen kann. Beobachtet werden mit dieser Apparatur die **natürliche Gammastrahlung, die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit, bzw. ihr Kehrwert, der elektrische Widerstand.**

Die **Gammastrahlung** zeigt vornehmlich den Tongehalt des Untergrunds an, weil Ton einen besonders hohen Anteil des radioaktiven Kaliumisotops K40 enthält. So können häufig Schichtgrenzen erkannt werden.

Die **elektrische Leitfähigkeit** reagiert empfindlich auf Inhaltsstoffe im Grundwasser und kann somit z.B. bei der Entdeckung auch schwacher Versalzungen helfen.

Die **Temperatur** schließlich ist ein wichtiger Parameter bei der Beurteilung des geothermischen Potenzials. Daneben geben auch kleine Abweichungen von der normalen Temperaturzunahme mit der Tiefe Hinweise auf Strömungsvorgänge im Grundwasser.



Für eine lebenswerte Zukunft

4. Wer misst Bohrlochgeophysik für das HLNUG und was?

- Messung der natürlichen Gammastrahlung
- API Units oder cps
- Aussagen zur Lithologie und Tongehalt

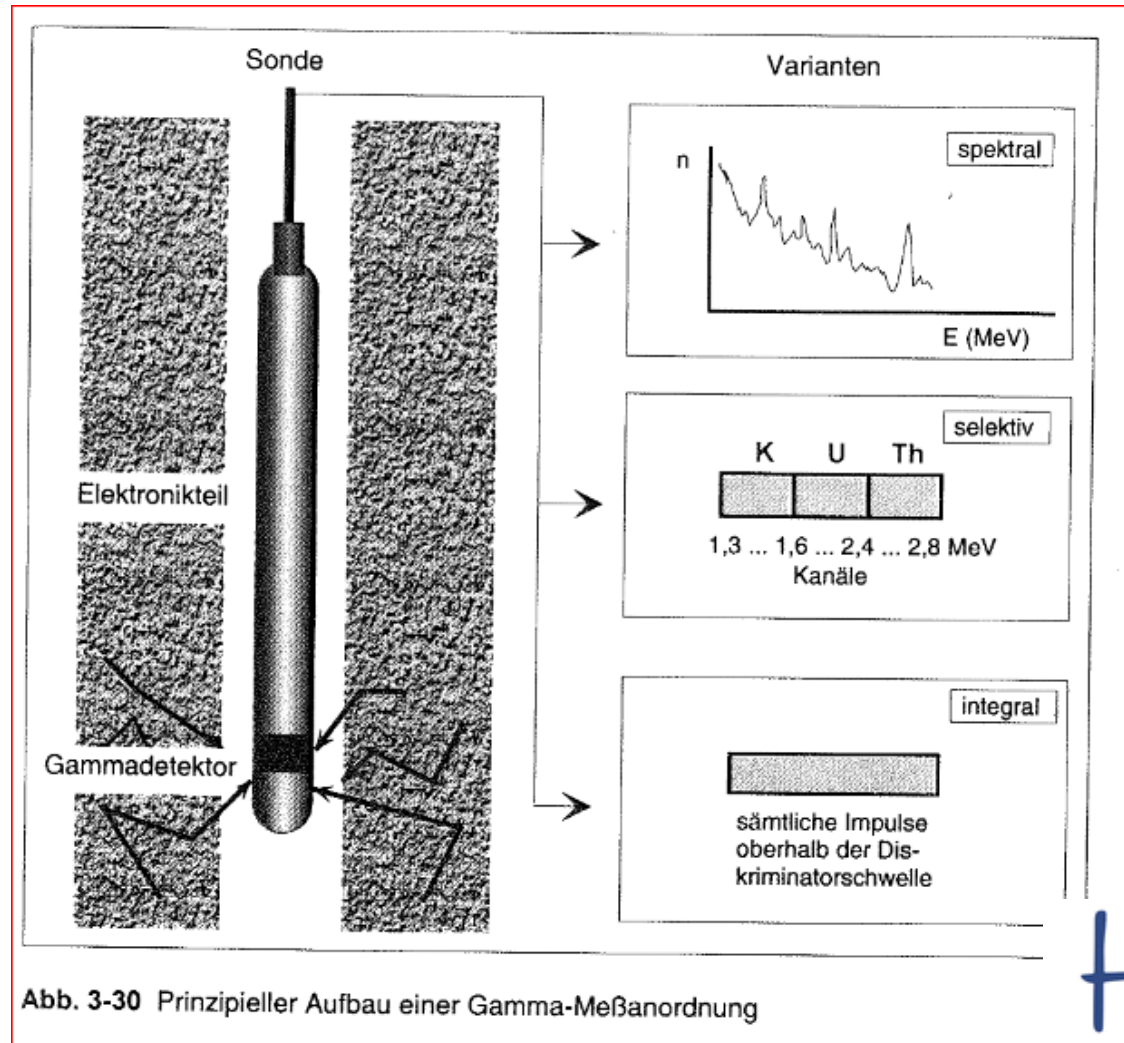
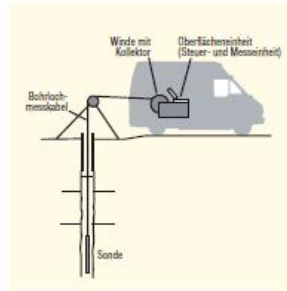
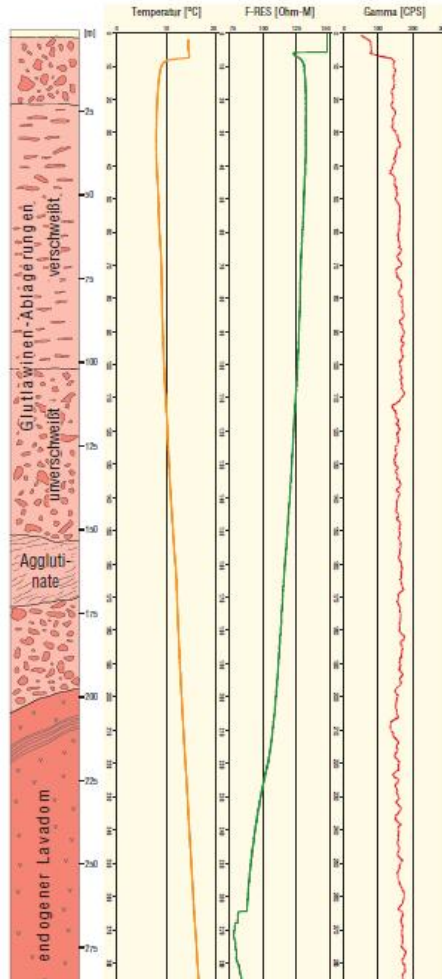


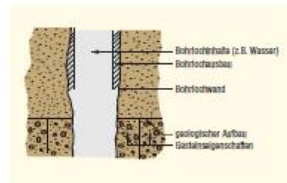
Abb. 3-30 Prinzipieller Aufbau einer Gamma-Meßanordnung

4. Wer misst Bohrlochgeophysik für das HLNUG und was?

Bohrlochgeophysikalische Messungen



Hauptbestandteile einer Bohrlochmessanlage.



Mögliche Ziele bohrlochgeophysikalischer Untersuchungen.



Messwagen bei der Arbeit.

HLNUG(G2)

Grundelemente

- Geländegängiges **Messfahrzeug**
- **Stromversorgung** 220 V AC / 12-24 V DC
- Fest installierte **Winde**
- **Messkabel** (zugfest, längentreu)
- **Teufenzähler**
- Dreibein / **Umlenkrolle**
- **Sondenadapter**
- kleinkalibrige **Bohrlochsonden** (Ø 42 mm)

Messparameter: Temperatur, Gamma, Leitfähigkeit



4. Wer misst Bohrlochgeophysik für das HLNUG und was: LIAG

1	Natürliche Gammastrahlung	GR; SGR
2	Dichte	D
3	Neutronenporosität	N-N
4	Chemische Elementbestimmung	N-G (EBS)
5	Schall-Laufzeit	Sonic
6	Vertikales Seismisches Profil	VSP
7	Borehole Televiwer	BHTV
8	Eigenpotential	SP
9	Spez. elektr. Widerstand in 16"-64" Normalanordnung	ES
10	Spez. elektr. Widerstand in fokussierter Anordnung	FEL; DLL
11	Spez. elektr. Widerstand in Mikroanordnung	MLL
12	Spez. elektr. Widerstand der Bohrlochflüssigkeit	SAL
13	Scheinbare elektr. Aufladefähigkeit (Induzierte Polarisation)	IP
14	Fallwinkel und -richtung der durchteuften Schichten / Bohrlochgeometrie / Magnetfeld	DIP; DV; MAG
15	Elektr. Leitfähigkeit	IND
16	Magnetische Suszeptibilität	SUSZ
17	Bohrlochdurchmesser	CAL
18	Bohrlochtemperatur	TEMP
19	Vertikale Fließgeschwindigkeit im Bohrloch	FLOW
20	Entnahme von Flüssigkeitsproben aus einem Bohrloch	SAMP



Methodenforschung - Sektionen / Gesteinsphysik & Bohrlochgeophysik / Ausstattung / Bohrlochsonden bis 6000m /

Digitale Bohrlochsonden

Temperatur
 Messbereich 0-175°C
 Sensor PT 1000
 Genauigkeit 0,1°C

Gamma Ray (counts per second)
 Sensortyp Szintillationskristall (NaI) 100mm x Ø 20mm

Druck
 Messbereich 0-1000 bar
 Genauigkeit ±1 bar
 Temperaturfestigkeit 200°C

Salinität
 4-Leitermessung
 Messbereiche 0-3 mS/cm, 0-30mS/cm, 0-300 mS/cm
 Genauigkeit ± 10 %

Flow
 Messbereich 0-500 m/min. dynamisch in Wasser
 Genauigkeit ± 0,3 m/min. in Wasser
 Ansprechschwelle ± 1,2 m/min. in Wasser



Gerätebetreuung
 Jens Kuhnisch
 +49 (0)511 643-3536
 Thomas Grelle
 +49 (0)511 643-2511
 Jan-Thorsten Blanke
 +49 (0)511 643-3538

Bohrlochsonden bis 6000 m
 Messfahrzeug
 Analoge Temperatursonden
 Digitale Bohrlochsonden

Bohrlochsonden bis 1300 m (Links)
 Bohrlochsonden bis 6000 m (Rechts)



Für eine lebenswerte Zukunft



5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund?

Neben den wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen werden u.a. folgenden Spezialfirmen (Service) für Bohrlochgeophysik (auch mit der Namensgebungen ihrer Messverfahren) bei „*RIDER & KENNEDY: The geological interpretation of WELL LOGS, 2011, ISBN 978-0-9541906-8-2*“ parallel vorgestellt:

- Schlumberger
- Baker Hughes
- Halliburton
- Weatherford
- etc.

15 IMAGE LOGS

Table 15.2 Wireline acoustic imaging tools.

Tool	Description	Company	Samples,	*rps	¹ Logging speed
UBI	Ultrasonic Borehole Imager	Schlumberger	180–250/500	7.5	120–250 m/hr (400–800 ft/hr)
CBIL™	Circumferential Borehole Imaging Log	Baker Hughes™	125–250	6	730 m/hr (2400 ft/hr)
STAR™	Simultaneous Acoustic and Resistivity Imager	Baker Hughes™	250	12	180–365 m/hr (600–1200 ft/hr)
CAST	Circumferential Acoustic Scanning Tool	Halliburton	100–200	6–18	275–365 m/hr (900–1200 ft/hr)
UMI	Ultrasonic Micro-Imager	Weatherford	240	18	549 m/hr (1800 ft/hr)

Useful sources: Paillet et al. 1990; Hurley, In Asquith & Krygowski 2004; Serra 2008; Lagraba et al. 2010.
 *rps = revolutions per second. ¹Logging speeds indicative only.



Für eine lebenswerte Zukunft



5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund?

Sektion 5 (Wadern-Fm., Donnersberg-Fm.)

Nr.	Ziel der Messung	Messmethode	Bohrloch
1	Lithologie, Korrelation	Gamma Ray	open hole
2	Bohrlochverlauf	Richtung/Neigung	open hole
3	Bohrlochvolumen, Orientierung von Ausbrüchen	FMI	open hole
4	Korrelation	Widerstand (Induction) / GR / SP	open hole
5	Dichte	CNL	open hole
6	Temperatur	kontinuierliche Temperaturmessung	open hole
7	Klufterkennung, -orientierung	FMI, UBI	open hole
8	Korrektur Seismik, Klufpermeabilität	Sonic (DSI Stoneley Mode)	open hole
9	Zementationsgütemessung	SBL (7")	Cased hole

Tabelle 20: Geophysikalische Bohrlochmessungen Sektion 5

- FMI
- SP
- GR
- CNL
- UBI
- Sonic (DSI Stoneley Mode)
- SBL

• **Anfrage: TÖB**



Für eine lebenswerte Zukunft



5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund?

Sektion 5 (Wadern-Fm., Donnersberg-Fm.)

Nr.	Ziel der Messung	Messmethode	Bohrloch
1	Lithologie, Korrelation	Gamma Ray	open hole
2	Bohrlochverlauf	Richtung/Neigung	open hole
3	Bohrlochvolumen, Orientierung von Ausbrüchen	FMI	open hole
4	Korrelation	Widerstand (Induction) / GR / SP	open hole
5	Dichte	CNL	open hole
6	Temperatur	kontinuierliche Temperaturmessung	open hole
7	Klufterkennung, -orientierung	FMI, UBI	open hole
8	Korrektur Seismik, Klufpermeabilität	Sonic (DSI Stoneley Mode)	open hole
9	Zementationsgütemessung	SBL (7")	Cased hole

Tabelle 20: Geophysikalische Bohrlochmessungen Sektion 5

- FMI (Fullbore Formation Microimager)
- GR (Gamma Ray)
- SP (Eigenpotenzial)
- CNL (Compensated Neutron Log)
- UBI (Ultrasonic Borehole Imager)
- Sonic (DSI Stoneley Mode)
- SBL (Cement Bond Log - Sea Bed Logging Segmented Bond Log??)

• **Anfrage: TÖB**



Für eine lebenswerte Zukunft

5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund?



Image Logs:

- Messkonzept wurde in den 1980er Jahren eingeführt
- Höhere Samplerate (Messwerte anstatt alle 15 cm alle 2,5 mm -> d.h. pro Messung 250 Werte)
- Image Logs können erzeugt werden aus: Elektrischen, akustischen, Photoelektrischen, Dichte, Gamma Ray, und Kaliber- Messungen
- Um von **einer** Messkurve an der Bohrlochwand Messwerte darzustellen, werden diese auf der Kurve eingefärbt (d.h. optische Werte zugeordnet).



Für eine lebenswerte Zukunft

5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund ? Image Logs

15 IMAGE LOGS

Table 15.2 Wireline acoustic imaging tools.

Tool	Description	Company	Samples,	*rps	¹ Logging speed
UBI	Ultrasonic Borehole Imager	Schlumberger	180–250/500	7.5	120–250 m/hr (400–800 ft/hr)
CBIL™	Circumferential Borehole Imaging Log	Baker Hughes™	125–250	6	730 m/hr (2400 ft/hr)
STAR™	Simultaneous Acoustic and Resistivity Imager	Baker Hughes™	250	12	180–365 m/hr (600–1200 ft/hr)
CAST	Circumferential Acoustic Scanning Tool	Halliburton	100–200	6–18	275–365 m/hr (900–1200 ft/hr)
UMI	Ultrasonic Micro-Imager	Weatherford	240	18	549 m/hr (1800 ft/hr)

Useful sources: Paillet et al. 1990 ; Hurley, In Asquith & Krygowski 2004 ; Serra 2008 ; Lagrabda et al. 2010.

*rps = revolutions per second. ¹Logging speeds indicative only.

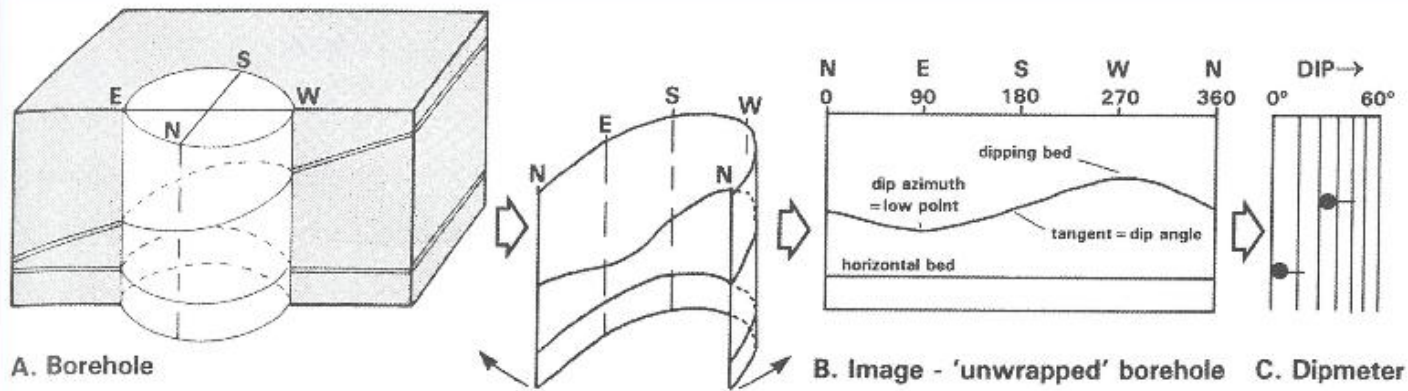
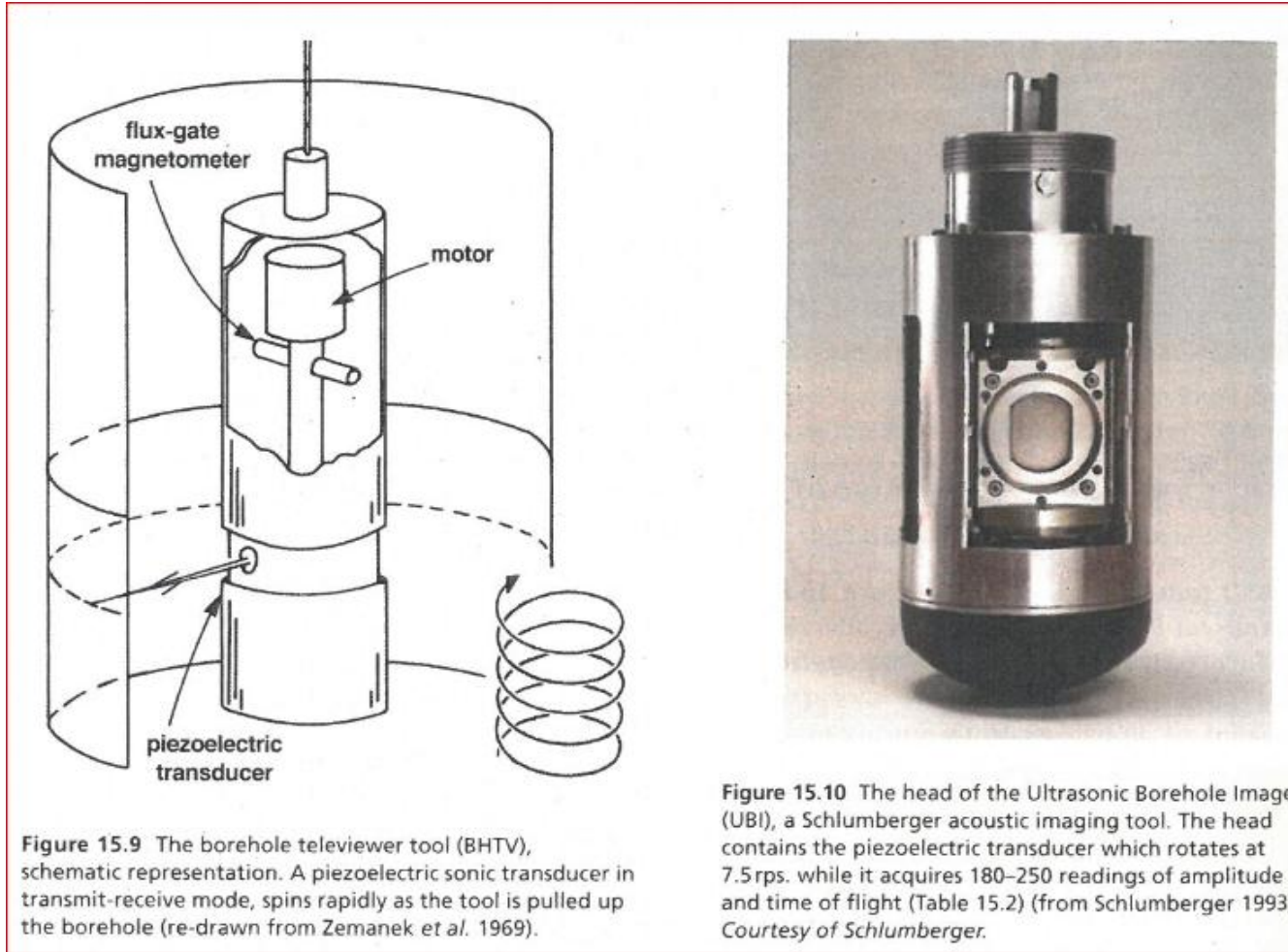


Figure 15.2 Representation of borehole wall images on a flat surface. (A) The images derived from the cylindrical borehole are presented on a flat surface (screen or hard copy log plot) by 'unwrapping' onto a vertical depth grid and horizontal grid of compass bearings. (B) In this format, horizontal and vertical surfaces are unchanged but dipping surfaces become represented by a sinusoid. (C) Dip and azimuth results may be plotted on a standard dipmeter tadpole grid.

5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund?

Image Logs



Quelle: RIDER & KENNEDY: *The geological interpretation of WELL LOGS*, 2011, ISBN 978-0-9541906-8-2

5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund? Image Logs

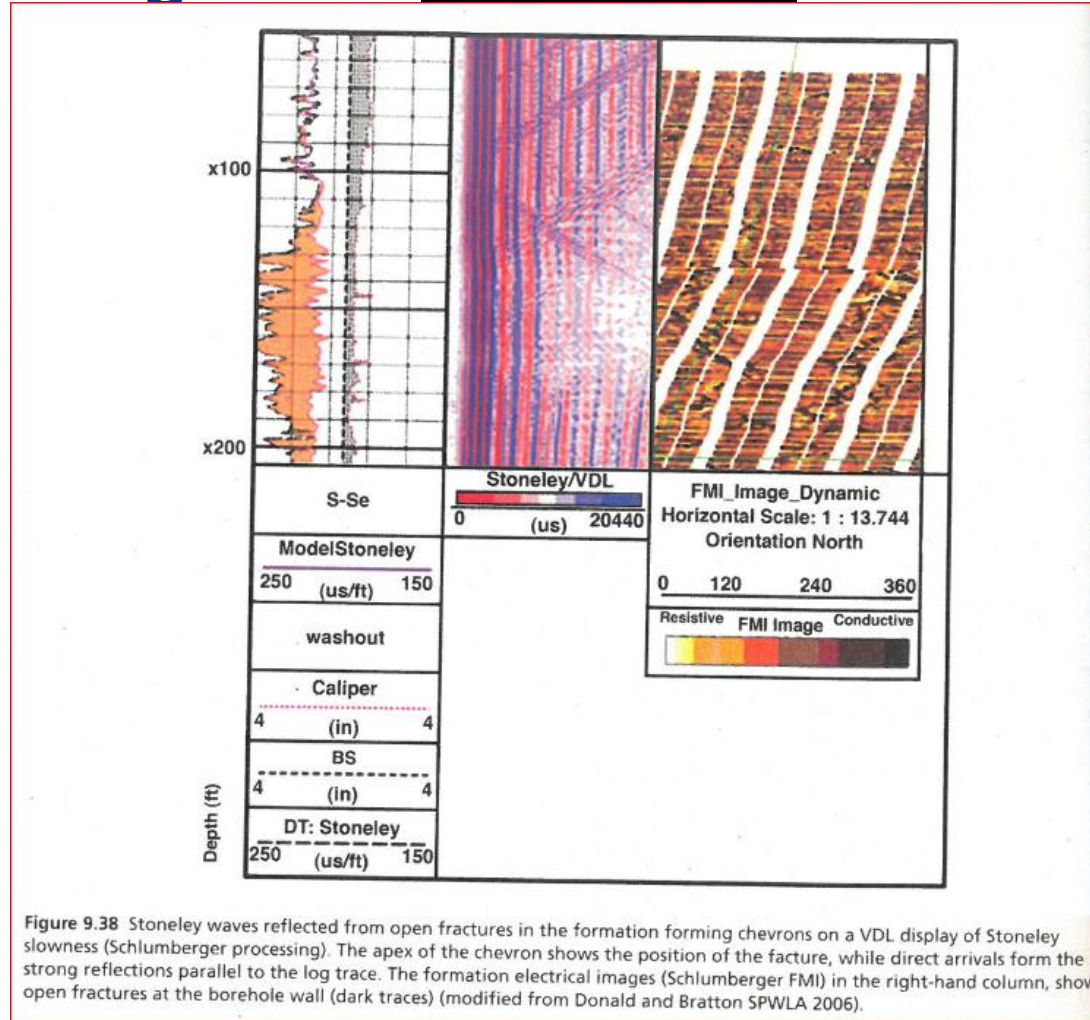


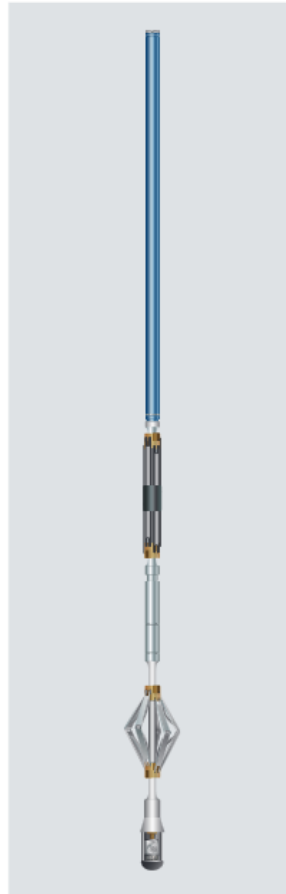
Figure 9.38 Stoneley waves reflected from open fractures in the formation forming chevrons on a VDL display of Stoneley slowness (Schlumberger processing). The apex of the chevron shows the position of the fracture, while direct arrivals form the strong reflections parallel to the log trace. The formation electrical images (Schlumberger FMI) in the right-hand column, show open fractures at the borehole wall (dark traces) (modified from Donald and Bratton SPWLA 2006).

Quelle: RIDER & KENNEDY: *The geological interpretation of WELL LOGS*, 2011, ISBN 978-0-9541906-8-2

5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund?

USI UltraSonic Imager Tool

Schlumberger



The USI* UltraSonic Imager tool (USIT) uses a single transducer mounted on an Ultrasonic Rotating Sub (USRS) on the bottom of the tool. The transmitter emits ultrasonic pulses between 200 and 700 kHz and measures the received ultrasonic waveforms reflected from the internal and external casing interfaces. The rate of decay of the waveforms received indicates the quality of the cement bond at the cement/casing interface, and the resonant frequency of the casing provides the casing wall thickness required for pipe inspection. Because the transducer is mounted on the rotating sub, the entire circumference of the casing is scanned. This 360° data coverage enables the evaluation of the quality of the cement bond as well as the determination of the internal and external casing condition. The very high angular and vertical resolutions can detect channels as narrow as 1.2 in. [3.05 cm]. Cement bond, thickness, internal and external radii, and self-explanatory maps are generated in real time at the wellsite.

Applications

- Cement evaluation
- Casing inspection
 - Corrosion detection and monitoring
 - Detection of internal and external damage or deformation
 - Casing thickness analysis for collapse and burst pressure calculations

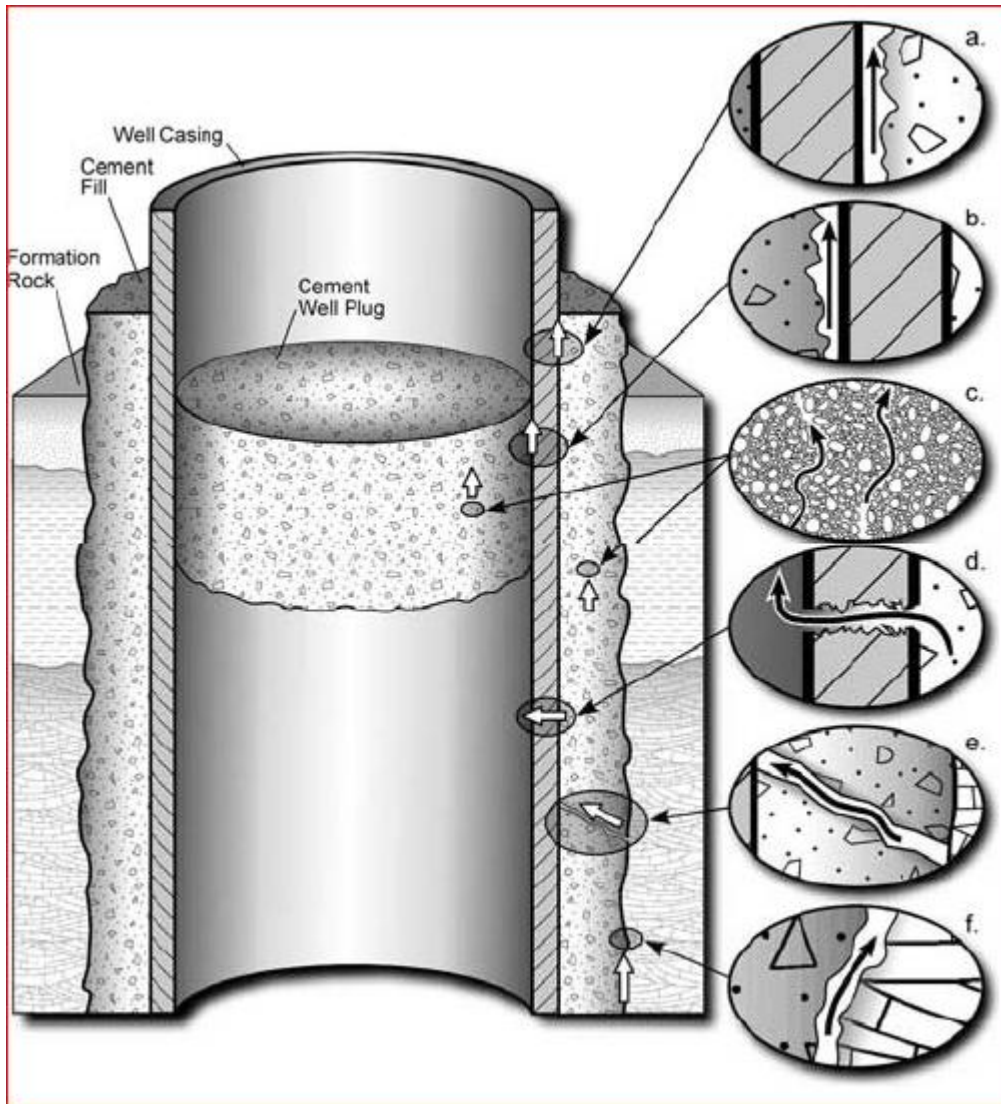
Measurement Specifications

	USIT
Output	Acoustic impedance, cement bonding to casing, internal radius, casing thickness
Logging speed	1,800 ft/hr [549 m/h]
Range of measurement	Acoustic impedance: 0 to 10 MRayl [0 to 10 MPa.s/m]
Vertical resolution	Standard: 6 in. [15.24 cm]
Accuracy	Less than 3.3 MRayl; ±0.5 MRayl
Depth of investigation	Casing-to-cement interface
Mud type or weight limitations ¹	Water-base mud: Up to 15.9 lbm/gal Oil-base mud: Up to 11.2 lbm/gal
Combinability	Bottom only tool, combinable with most tools
Special applications	Identification and orientation of narrow channels

¹ Exact value depends on the type of mud system and casing size.

6. Integrität von Bohrungen

Mögliche Migrationspfade



6. Integrität von Bohrungen



Was heißt Integrität von Bohrungen?

Die Sicherstellung der Bohrlochintegrität bedeutet die Vermeidung unkontrollierter Fließwege in oberflächennahe Schichten.

Dies wird sichergestellt durch:

- Casing- und Zementauslegung
- Direkte Messungen während des Abteufens (Formationsgradiententests und Futterrohrtests)
- **Bohrlochmessungen**
- Bewertung der Zementation und Zementverteilung
- Qualitätssicherung entsprechend dem Stand der Technik (Managementsystem)



Für eine lebenswerte Zukunft



6. Integrität von Bohrungen

Was heißt Integrität von Bohrungen?

Gesetzliche Grundlagen/Stand der Technik:

-Hessische Bergverordnung vom 30. August 2012: § 7 Bohrungen
 -> Mindestanforderungen siehe Anlage: Anforderungen bei der Herstellung von Bohrungen.

- E DIN EN ISO 16530-1:2016-01 (D/E) Erdöl- und Erdgasindustrie – Bohrungsintegrität – Teil 1: Leitlinien zur Lebenszykluslenkung
- DIN EN ISO 16530-1:2016-02 (D/E) Petroleum and natural gas industries – Cements and materials for well cementing
- WEG-Richtlinie „Praxis der hydraulischen Bohrlochbehandlung für konventionelle Speichersysteme“ (Stand: 06/2014)

Literatur:

http://dialog-erdgasundfrac.de/sites/dialog-erdgasundfrac.de/Files/2_9_Kurzgutachten-Bohrung-Zementation-Verrohrung-final.pdf

Websites:

www.wellintegrity.net

-http://petrowiki.org/Well_integrity



Für eine lebenswerte Zukunft

6. Integrität von Bohrungen



Wie wird die Integrität von Bohrungen aus ->Sicht der Bohrlochgeophysik beobachtet?

- Überwachung der Temperatur bei der Aushärtung des Zements
- Kaliber
- GR (Spektrales Gamma Log)
- CBL (Cement Bond Log):

-> Akustiklog Messung der bei Empfänger ankommenden refraktierten Welle (Amplitude oder Dämpfungsmaß)

-> Aufnahme des gesamten Wellenbildes

-> Reflexion des Puls Echo: Amplituden und Laufzeiten der reflektierten Wellen an den Grenzen Spülung-Rohrtour, Rohrtour-Zement und Zement-Formation

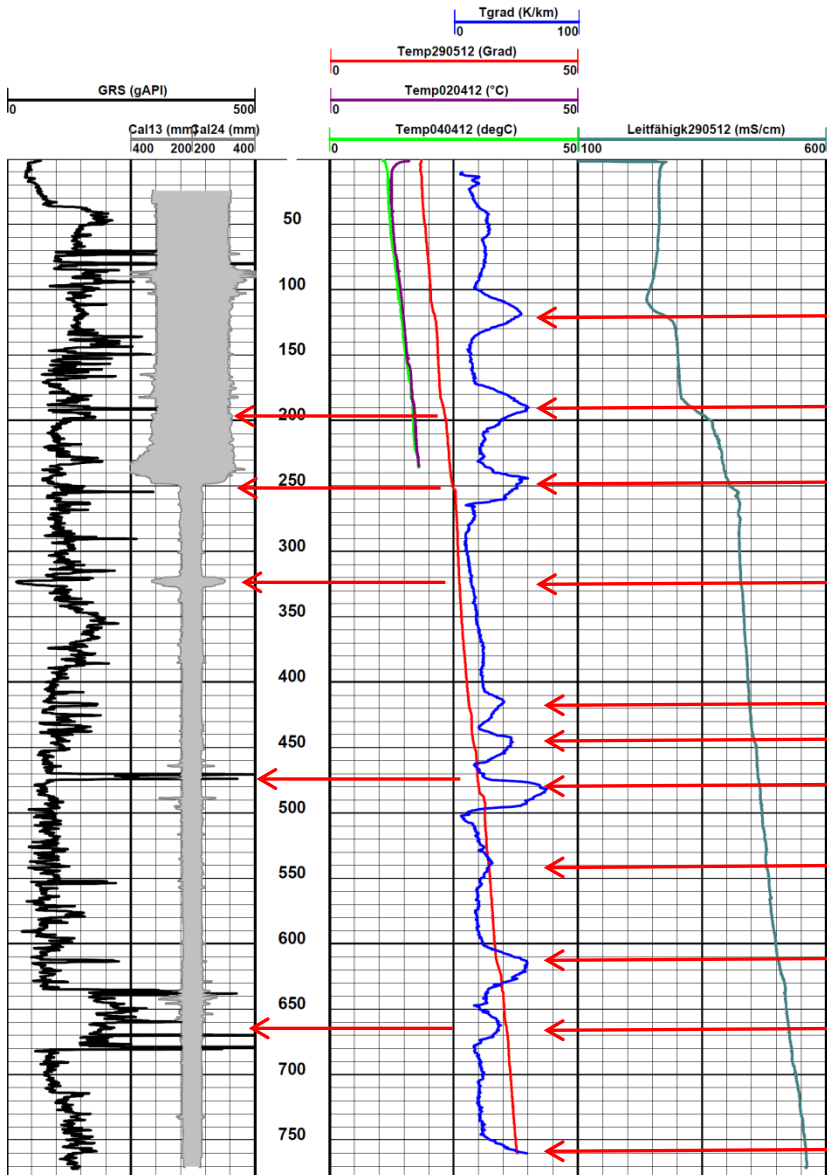
7. Beispiele zur Integrität von Bohrungen: Bohrlochgeophysik



Heubach

→ Y-Ray-Log, Kaliber, Temperatur und Leitfähigkeit, Petrographie

Beobachtung an Spülproben



- 112m, 135 m, 148-152 m: Pegmatite
- 191-193 m: Cuttings sehr fein, hydrothermal alteriert
- 240-241 m: Starke Rotfärbung, Kluftbeläge
- 321-326 m: Hydrothermal alteriert, Nachfallzone
- 416 m: Pegmatit, geringmächtig
- 432 m: Pegmatit
- 467-471 m: Aplit
- 539 m: Pegmatit
- 611 und 613 m: Aplit
- 634-679m: Rhyolith
- ab 762 m granitoider Gneis





8. Zusammenfassung:

1. Einführung (Bohrlochgeophysik): Einsatz bei Fragestellungen im tiefen Untergrund.
2. Was wird wie gemessen (allgemein)?
3. Einsatz von Bohrlochgeophysik in der Hydrologie (Arbeitsblatt W 110, DVGW)
4. Wer misst Bohrlochdaten für das HLNUG und was?
5. Wer misst Bohrlochgeophysik im tiefen Untergrund
6. Integrität von Bohrungen
7. Beispiele zur Integrität von Bohrungen: Bohrlochgeophysik

8. Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

