



Beschreibung der bei tegeo eingesetzten Messverfahren

Siehe hierzu auch DVGW- Arbeitsblatt W 110

## Gamma Ray (GR)

Anwendung: Das Gamma Ray Verfahren wird zur **Detektion zwischen Ton- und Sandschichten** im offenen Bohrloch sowie zwischen **rollig/kiesigen** und **bindig/tonigen Hinterfüllungen** bei verrohrten Ausbauten verwendet. Das Messsignal wird beeinträchtigt durch große Bohrkaliber in offenen Bohrungen und in Stahl verrohrten Ausbauten.

Prinzip: Messung der natürlichen Radioaktivität der Gesteine oder Ausbau Hinterfüllungen

Messverfahren: Gamma Ray Messungen detektieren die natürliche Radioaktivität der Gesteine, die durch den Zerfall der im Gesteinsgerüst enthaltenen Radionuklide hervorgerufen wird. Hauptbestandteile sind die Isotope der Uran- und Thorium-Reihen, sowie die des Kaliums 40. Diese Isotope stehen in unterschiedlichen Konzentrationen in den Gesteinen zueinander und erlauben daher eine grundlegenden lithologische Interpretation des Messdiagramms.

Erhöhte Konzentrationen der Isotope - und folglich eine erhöhte Radioaktivität - weisen die meisten Tonminerale wie Montmorillonit, Kaolinit oder Illit auf, so dass zwischen Tonen und Sanden unterschieden werden. Strahlungsaktive Mineralien wie z.B. Glaukonit, Monazit und Glimmer, die in Sanden gebunden sind, machen sich bei dieser Messung ebenfalls als Tone bemerkbar und können daher nur mit zusätzlichen Untersuchungsverfahren wie elektrische Widerstandsmessungen erkannt werden.

Beeinträchtigt wird die Gamma Ray Messung im offenen Loch durch ein Spülgewicht größer 1,1 gramm/cm<sup>3</sup> und zu große Bohrlochkaliber (Auskesselungen), sowie durch Stahlverrohrungen (Standrohre, Bohrgestänge).

In ausgebauten Bohrungen kann die Gamma Ray Messung zum Nachweis von Tonsperren herangezogen werden, wenn diese unter Verwendung von strahlungsaktiven Schütttonen wie z.B. Quillon WP o.ä. erstellt wurden. Voraussetzung ist, dass das Gamma Ray Signal nicht durch die hohe Eigenstrahlung des anstehenden Gebirges beeinträchtigt wird. Um dies zu umgehen, wird in der Praxis (z.B. bei Nachpressarbeiten) der Suspension ein bestimmter Prozentsatz an strahlungsaktiven Sanden wie Monazit oder Zirkonsande beigemischt. Zum eindeutigen Tonsperrennachweis sollte zusätzlich eine Porositäts- und oder eine Dichtemessung nach dem Gamma-Gamma oder Neutron-Neutron Verfahren durchgeführt werden.

In großkalibriegen Brunnenbauten kommt das sogenannte **segmentierte Gamma Ray** zum Einsatz. Der Aufbau der Sonde ist so gestaltet, dass jeweils 3 Gamma Ray Detektoren um jeweils 120° horizontal versetzt angeordnet sind. Hiermit ist eine horizontale und azimutale Messung von 360° der Gamma Ray Strahlung um die Ausbaurohrung herum möglich. Die Darstellung dieser Messwerte erfolgt durch eine Falschfarben Darstellung, auch Imageplot genannt.



## **ES 16"/64"** - spezifischer elektrischer Widerstand (ES = Electrical Survey)

Anwendung: Bestimmung der **Schichtungen von Sanden und Schluffen bzw. Tonen am offenen Bohrloch** sowie Erfassung der Süß-Salzwassergrenze bei Formationen mit Sanden

Prinzip: Der gemessene Widerstand richtet sich nach der charakteristischen Korngröße der Schichtungen

Messverfahren: Mit dem Electric-Log wird der scheinbare elektrische spezifische Widerstand des Gebirges und des darin enthaltenen Porenwassers gemessen. „Scheinbar“ daher, weil die Messergebnisse durch die elektrische Leitfähigkeit der Spülung (Bohrlochflüssigkeit) beeinflusst werden. Durch die Spülung bilden sich im Bohrloch sogenannte Infiltrationszonen (Zuflussbereiche), die die elektrolytischen und chemischen Verhältnisse des Porenwassers beeinträchtigen. Eine näherungsweise Bestimmung der Porenwasserleitfähigkeit ist nur durch die Kenntnis des Formationsfaktors und die Anwendung von sogenannten Resistivity-Chartkurven möglich.

Über zwei auf der Messsonde montierte Stromelektroden wird ein konstant gehaltener Strom ins Gebirge geleitet. Ebenfalls zwei auf der Sonde untergebrachte Spannungselektroden, mit einem Abstand von 16" und 64" zur Stromelektrode, messen kontinuierlich den dabei entstehenden Spannungsabfall, der dem elektrischen Widerstand proportional ist.

Das Korngerüst verhält sich wie ein Isolator (hochohmig) während das Porenwasser sich wie ein elektrischer Leiter (niederohmig) verhält. Daher kann grob gesagt werden, dass bei Sanden ein hoher Widerstand, und bei Schluffen und Tonen mit einem sehr viel kleinerem Korndurchmesser ein geringer Widerstand zu messen ist, da Tonminerale aufgrund ihrer elektrochemischen Oberflächeneffekte eine gute elektrische Leitfähigkeit haben.

Die Messung ist nur im offenen Gebirge anzuwenden. Bei Stahlverrohrungen (Standrohre, Bohrgestänge) entsteht ein Kurzschluss durch die hohe elektrische Leitfähigkeit des Stahls. Aus der Widerstandsmessung und mit Hilfe der Gamma Ray Messung eine sehr einfache lithologische Profilierung der Bohrung vorgenommen werden. Da die Leitfähigkeit des Porenwassers eine große Rolle spielt, kann an den Widerstandsmessungen auch die Süß-Salzwassergrenze erkannt werden.

Ebenfalls möglich ist die Erkennung des Wasserspiegels bei Formationen mit reinen Sanden. (Ab ca. 5,0 m Teufe)

## **SP** – Eigenpotential (SP = Spontaneous Potential)

Anwendung: Bestimmung der **Porenwasser-Salinität und der Schichtenfolge** (Ton-Sand)

Prinzip: Messung des elektrischen Potentials Ionenkonzentration in der Bohrlochflüssigkeit mit Hilfe einer Sonde

Messverfahren: Die Messung des Eigenpotentials im Bohrloch geschieht in der Weise, dass die natürliche Potentialdifferenz zwischen einer an der Erdoberfläche feststehenden und einer im Bohrloch bewegten Elektrode fortlaufend registriert wird.



Die elektrochemischen Vorgänge, die zur Ausbildung der Bohrlocheigenpotentiale führen, sind sehr verwickelt und nicht restlos aufgeklärt. Der Verlauf einer Eigenpotentialkurve wird im wesentlichen durch die Ionenkonzentrationen (und die Ionenarten) in Porenwasser und Spülungsfiltrat, sowie durch den Tongehalt der Schichten bestimmt, weiterhin durch die Geometrie des Bohrloches und der Schichtenfolge (Bohrlochdurchmesser und Schichtenmächtigkeit).

Man kann der SP-Kurve, wenn keine großen Schwankungen des Tongehaltes vorliegen, die Tendenz der Porenwassersalinität in einer Schicht oder Schichtenfolge entnehmen:

ein Ausschlag der SP-Kurve nach links (negativer) bedeutet salzigeres Wasser, nach rechts (positiver) süßeres Wasser. Unter günstigen Bedingungen, die allerdings relativ selten sind, kann man bei einer Ton-Sand Wechsellagerung aus den SP-Ausschlägen den spezifischen Widerstand des Porenwassers der Sandlagen errechnen (s. Fachliteratur). Hierfür ist die genaue Bestimmung des Spülungsfiltratwiderstandes (Symbol:  $R_{mt}$ ) erforderlich.

Hydrochemisch bedingte Basissprünge (englisch: base line shifts), sind im SP-Diagramm nicht immer als solche erkennbar, können jedoch den Verlauf einer SP-Kurve erheblich stören und zu Missdeutungen Anlass geben. Die SP-Kurve wird üblicherweise auf einer der Messelektroden der Electric-Log-Sonde (16"/64"-Normalanordnung) mitregistriert, so dass im Allgemeinen keine gesonderte Einfahrt ins Bohrloch erforderlich ist.

## **FEL** – spezifischer elektrischer Widerstand, Fokussiertes Elektro-Log (FEL = Focused Electrical Laterolog)

Anwendung: Das FEL wird zur **Bestimmung der Schichtenfolge mit höherem Schichtenauflösungsvermögen** und Erkennung/Abschätzung der Süß-Salzwassergrenze genutzt. Die Methode ist nur in offenen Bohrungen einsetzbar (Kurzschluss bei Stahlverrohrungen).

Prinzip: Der scheinbare spezifische Gebirgs-widerstandes wird in Lateralanordnung gemessen (fokussierter Messstrom). Die Höhe des gemessenen Widerstands richtet sich nach der charakteristischen Korngröße der Schichtungen (Abnehmende Korngröße vom Sand über Schluff zum Ton).

Die Lateralanordnung bewirkt den Vorteil eines höheren Schichtauflösungsvermögens (Schichtgrenze) gegenüber der konventionellen ES-Messung.

Messverfahren: Gegenüber der Normalanordnung ES 16"/64" sind beim FEL konstruktiv oberhalb und unterhalb der Stromelektrode sogenannte Fokussierungsguards angebracht, die den Messstrom horizontal in die Formation leiten. Hierdurch wird eine deutlich höhere vertikale Schichtauflösung als durch die ES-Messung erreicht. Schichtauflösungen bis ca. 0,3 m sind damit möglich. Das FEL ist ebenfalls vom Spülungsfiltrat und der Leitfähigkeit des Porenwassers abhängig und reagiert auch auf eine Zunahme der Mineralisation des Grundwassers.

Eine Spezialausführung des FEL ist das **PVC-FEL** oder auch **Brunnen FEL** genannt, mit der in kunststoffverrohrten Ausbauten die Dichtheit von Muffenverbindungen kontrolliert werden kann. Bei ausreichend tief liegendem Wasserspiegel (mindestens 5 –6 m), kann auch dieser in reinen Formationen an der FEL Messung ermittelt werden.



## **PVC-FEL**

**Anwendung: Kontrolle der Dichtigkeit von PVC-Teilen von Brunnen und Grundwassermessstellen**

Eine Vielzahl von Brunnen und Grundwassermessstellen (GWM) sind mit PVC-Filtern und PVC-Aufsatzrohren ausgebaut, da das Material als besonders haltbar gilt. Seit einigen Jahren ist bekannt, dass die Muffenverbindungen - und manchmal auch das Vollmaterial - nicht druckdicht und damit wasserdurchlässig sind. Dadurch kann unkontrolliert Fremdwasser in den Brunnen bzw. die GWM eindringen.

In der Regel sind diese Undichtigkeiten mit optischen Geräten (TV-Bohrlochbefahrung) nicht zu lokalisieren, da es sich um feine Risse oder aber auch um Undichtigkeiten zwischen Muffe und Zapfen handelt, in die dann keine Einsicht möglich ist.

Einen eindeutigen Beweis für eine Undichtigkeit kann nur der Messwert sein. Mit Hilfe eines geophysikalischen Messverfahrens, dem Laterolog ist es möglich, diesen Messwert zu liefern.

## **(Induktions-Log) - spezifischer Elektrischer Widerstand (IL)**

**Anwendung: Lithografische Profilgliederung** in nichtleitenden Bohrlöchern sowie bei nicht leitendem Ausbaumaterial

**Messverfahren:** Beim Induktionslog wird ein elektromagnetisches Wechselfeld (Wechselspannung) über eine Sendespule im angrenzenden Gebirge induziert. Es erzeugt je nach elektrischer Leitfähigkeit des Gesteins einen sogenannten Ringstrom, der wiederum ein Magnetfeld erzeugt, welches über eine Empfängerspule in der Sonde registriert wird.

Das Messsignal ist damit der Gesteinsleitfähigkeit proportional bzw. dem elektrischen Widerstand umgekehrt proportional. Das Messverfahren ist auch bei elektrisch nichtleitendem Bohrlöchinhalt wie z.B. Luft und bei nichtleitendem Ausbaumaterial wie z.B. PVC-Verrohrung einsetzbar und findet dadurch auch bei der lithologischen Profilgliederung in ausgebauten Messstellen seine Anwendung.

## **KALIBER - Kaliber-Log (CAL)**

**Anwendung:** Kontrolle des Bohrlochdurchmessers, z.B. bei Zementations- und Verfüllungsarbeiten oder beim Absetzen von Verrohrungen sowie zum Nachweis von Verformungen und Beschädigungen der Rohrtour

**Prinzip:** Die kontinuierliche Aufzeichnung des Bohrlochdurchmessers gibt Auskunft über die Abweichung vom Sollwert (Meißeldurchmesser). Auskesselungen deuten unter anderem auf Lockermaterial oder Nachfallzonen in klüftigem Festgestein hin, Bohrlochverengungen beobachtet man häufig an quellenden Tonen und bei starker Filterkuchenbildung.



**Messverfahren:** Die Kalibersonde besitzt drei federnde Abtastarme (Schirmkaliber), die nach Erreichen der Endteufe der Bohrung über eine Motorsteuerung aufgeföhren werden und das Bohrloch oder die Rohrwandung kontinuierlich abtasten.

Kaliberdaten können bei Zementations- und Verfüllungsarbeiten sowie beim Absetzen von Verrohrungen (Einbringen von Reparatüreinschüben, Inliner) nützlich sein. Ferner dienen sie zu Korrekturzwecken bei der Auswertung von nahezu allen übrigen Verfahren: Gamma Ray, Dichte, Widerstand, Flowmeter, und viele andere mehr.

## **Dichte** - Formationsdichte (FD)

Weitere Bezeichnungen: Dichte-Log, Formation-Density-Log, D, FD

**Anwendung:** Charakterisierung der anstehenden Gebirgsformationen durch die Ermittlung der Gesteinsdichte

**Prinzip:** Mit einer linearen Messanordnung „Gamma-Quelle -> Bleiabschirmung -> Detektor“ lässt sich in einer Bohrung nach entsprechender Kalibrierung die Dichte des umgebenen Gesteins ermitteln.

**Messverfahren:** Am unteren Ende einer Bohrlochsonde befindet sich ein gammastrahlendes Präparat (meist Cs 137) und darüber ein Gammadetektor (Zählrohr oder Szintillationszähler), der gegen die direkte Strahlung der Gammaquelle durch eine Bleisäule abgeschirmt ist. Die von der Quelle ausgehenden Gammastrahlen werden im umgebenden Gestein gestreut und je nach dessen Dichte mehr oder weniger absorbiert. Ein Teil der Strahlung gelangt zum Detektor und wird dort registriert.

Die Streuprozesse, denen die Gammastrahlen unterworfen sind, erfolgen an der Elektronenhülle der am Aufbau des Gesteins beteiligten Atomarten - vornehmlich O, Si, Al, Fe und Ca. Genau genommen wird also nicht die Materialdichte, sondern die Elektronendichte bestimmt, was jedoch bei konstantem Verhältnis von Elektronen zu Kernmassenzahl dasselbe ist. Dies ist (mit geringen Abweichungen) mit Ausnahme von  $Z = 1$  (H) bis zur Ordnungszahl  $Z = 26$  (Fe) für die wichtigsten Gesteinselemente gegeben.

Das bei der Messung erfasste Volumen ist im Wesentlichen vom Abstand Quelle-Detektor und der Dichte des Gesteins abhängig. Seine horizontale Ausdehnung beträgt für die hier vorliegende Anordnung (Abstand Quelle-Detektor rund 40 cm) bei einer Dichte von 1,8 g/cm ungefähr 30 bis 35 cm.

Die Fehler in der Dichteangabe können im günstigen Fall (Laborbedingungen oder konstante geometrische Beschaffenheit der Bohrung, Berücksichtigung einer eventuellen Verrohrung bei der Eichung, präzise Positionierung der Sonde im Bohrloch) bei ca. 1 % bis 2 % gehalten werden. In der normalen Messpraxis sind diese Voraussetzungen meist nicht gegeben, so dass entsprechend höhere Messfehler in Kauf genommen werden müssen.

Bei Kenntnis der Matrixdichte (Dichte des Gesteinsgerüsts) und der Dichte der Porenflüssigkeit kann aus der Gesamtdichte (engl. bulk density), die aus dem Log abgelesen wird, die Porosität (Gesamtporenvolumen) errechnet werden.

Eine technische Weiterentwicklung der Dichtemessung, ist die azimutale Messung der Dichte in ausgebauten Messstellen. Durch eine in der Bohrlochsonde axial rotierende Quelle-Abschirmung-Detektor-Einheit kann die Homogenität (Horizontale Verteilung um 360°) der eingebrachten Schüttgüter um die Verrohrung herum, nachgewiesen werden. Die Darstellung erfolgt dabei in einem Falschfarben-Plot, auch Imageplot genannt. Der



Vorteil dieses speziellen Dichte- Messverfahrens ist die Auflösung und Erkennung von Mischzonen der Schüttgüter im Ringraum der Messstelle. Umgangssprachlich wird dieses Verfahren als **Gamma-Gamma-Dichte-Scan (oder auch Dichtescanner)** von den Messfirmen bezeichnet.

## **Neutron-Neutron** – Porositätsmessung (Porositäts-Log, N-N-Log)

Anwendung: Messung der **Porosität (Durchlässigkeit) des Gesteins** in der wassergesättigten Zone

Prinzip: Mit einer linearen Messanordnung „Neutronenquelle - Abschirmung – Detektor“ lässt sich in einer Bohrung ein Messsignal ermitteln, welches ein Maß für die relative Porosität ist.

Messverfahren: Am unteren Ende der Bohrlochsonde befindet sich eine Präparat, das Neutronen freisetzt und darüber ein Neutronendetektor (Zählrohr), der gegen die Strahlungsquelle abgeschirmt ist. Die von der Quelle ausgesandten energiereichen Neutronen werden im umgebenden Gestein moderiert (gebremst), gestreut und teilweise absorbiert. Durch die Moderation verlieren die Neutronen fast ihre gesamte kinetische Energie bis sie mit der Umgebung im thermischen Gleichgewicht stehen. Ein Teil der gestreuten thermischen Neutronen gelangt zum Detektor und wird dort nachgewiesen.

Die Moderation und Streuung der Neutronen findet an den Atomkernen der am Aufbau des Gesteins und der Porenraumfüllung beteiligten Atomarten statt. Je höher der Anteil der Wasserstoffatomkerne - und folglich des Wassers - desto eher werden die Neutronen thermalisiert und absorbiert.

Daher bedingt ein höherer Wasserstoffanteil eine geringere Zählrate als ein niedrigerer. Für die wassergesättigte Zone (Bereich unterhalb des natürlichen Wasserspiegels) bedeutet dies, dass die Zählrate ein Maß für die Porosität des Gesteins ist. In der wasserungesättigten Zone (Bereich oberhalb des natürlichen Wasserspiegels) ist die Deutung des Messsignals mit entsprechender Vorsicht zu betreiben.

## **Suszeptibilität** – Magnet-Log (Magnetic Log, MagLog)

Anwendung: Neben dem Einsatz im offenen Bohrloch ist das Magnet-Log auch in Pegeln und Brunnen zum Aufspüren von mit magnetisierbaren Stoffen dotierten Ringraummaterialien wie Quellon HD / Compactonit o.ä. geeignet.

Prinzip: Das von uns verwendete Magnet-Log misst die relative magnetische Suszeptibilität der durchteuften Formationen in einem Bohrloch.

Messverfahren: Die magnetische Suszeptibilität ist eine spezifische Eigenschaft eines Materials analog dem spezifischen elektrischen Widerstand, d.h. es werden bei einer Messung mit dem Magnet-Log die durchteuften Schichten aufgrund ihrer magnetischen Suszeptibilität unterschieden.

Die magnetische Suszeptibilität ist eine dimensionslose physikalische Größe und ist ein direktes Maß für die Magnetisierbarkeit einer Substanz.

Die Sonde arbeitet nach folgendem Prinzip: Eine Sendespule erzeugt elektromagnetische Wellen, die von einer weiteren Spule empfangen werden. Das empfangene Signal hängt hauptsächlich von der magnetischen Suszeptibilität ab.



## Neigung/Azimut

### Anwendung: Messung des Bohrungsverlaufes

Prinzip: Das Messverfahren gestattet es, den Verlauf einer Bohrung mit Magnetometern zu bestimmen, und zwar die Neigung (die Abweichung von der Vertikalen) und den Azimut (die Richtung, bezogen auf magnetisch Nord) in jedem Punkt der Bohrung.

Messverfahren: Für die Neigungsbestimmung befinden sich in der Messsonde 3 Beschleunigungsaufnehmer (Accelerometer), die in den drei Raum-Achsen im rechten Winkel zueinander eingebaut sind. Diese drei Aufnehmer sind so aufeinander abgestimmt, dass die Lage der Sonde, im Vergleich zur Richtung der Erdgravitation, ermittelt werden kann. Die Bestimmung der Richtung zu magnetisch Nord erfolgt über drei Magnetometer, die ebenfalls in den drei Hauptrichtungen in der Messsonde untergebracht sind. Diese Messwertaufnehmer liefern in Abhängigkeit des einfallenden Erdmagnetfeldes die Richtung in der die Neigung der Sonde und somit der Bohrung/des Ausbaus verläuft.

## **Flowmeter (Flowmeter-Log, FLOW)**

### Anwendung: Kontrolle der **vertikalen Fließgeschwindigkeiten über die Filterstrecken, Zuflußprofilierung**

Prinzip: Die Messung der vertikalen Zuflussprofilierung im Bohrloch oder im Brunnen erfolgt mit Hilfe von Flügelrad-Sonden. Die Drehgeschwindigkeit des Flügelrades ist der Fließgeschwindigkeit im Brunnen proportional.

Messverfahren: Mit dem Flowmeter wird die vertikale Zuflussprofilierung in Festgesteinsbohrungen oder ausgebauten Brunnen bei Förderung mit einer Pumpe oder bei frei auslaufenden artesischen Brunnen ermittelt.

Das durch die Sonde durchströmende Wasser treibt den Messflügel (Impeller) an, dessen Umdrehungsgeschwindigkeit der Fließgeschwindigkeit proportional ist. Je nach hydraulischer Durchlässigkeit der wasserführenden Schicht nimmt entsprechend die Umdrehungszahl des Messflügels bei der Abwärtsfahrt ab. Für die prozentuale Berechnung der Zuflussmenge muss noch der „Fahreffekt“ der Sonde während des Messens - bedingt durch die Fahrgeschwindigkeit der Sonde - kompensiert werden. Dies geschieht, indem man ohne Förderbetrieb eine Nullfahrt durchführt.

Bei Brunnenalterungen können die Veränderungen der Zuflusszonen im Filterbereich mit der Flowmetermessung festgestellt werden. Nach einer erfolgten Brunnenreinigung oder Regenerierung kann die Effektivität des Reinigens, d.h. das Wiederherstellen der Zuflusszonen am Flowmeterlog entsprechend kontrolliert werden.

Beeinträchtigt wird die Flowmetermessung durch nicht konstant gehaltenen Förderstrom (Pumpmenge), stark verschmutztes Wasser (Sandfluss, Verockerungen) sowie durch unterschiedliche Kaliber (ebenfalls durch dicke Verockerungen, Belag an der Rohrwandung).



## **Packerscheiben-Flowmeter:** P-Flow, Flow.P

**Anwendung:** Bestimmung des Filtereintrittswiderstandes bei Brunnen

Dieses Messverfahren unterscheidet sich zur konventionellen Flowmeter Messung bei der Anwendung dadurch, dass diese Messung ohne hydraulische Beanspruchung des Brunnens durchgeführt wird (Pumpen). Im Bereich des Flowmeter-Impellers wird eine dem Brunnendurchmesser quer zur Sondenachse angepasste Scheibe montiert (Packerscheibe), die bei der Messfahrt die Flüssigkeitssäule in die Filterschlitzte verdrängt. Je nach Widerstand des entsprechenden Filterrohres wie Verkrustungen, Kolmationen im Kiesbereich ect. strömt der nicht verdrängte Teil durch die Messsonde und treibt entsprechend den Impeller an. In den vollwandigen Rohrabschnitten haben wir die höchste Impeller Drehgeschwindigkeit und in den offenen Filterrohrabschnitten die niedrigste. Mit diesem Verfahren ist es möglich, über einen größeren Zeitraum die Brunnenalterung zu dokumentieren. Häufig findet diese Messung zur Qualitätskontrolle und Dokumentation bei der Reinigung oder Regenerierung eines Brunnens statt (Vorher, Nachher) Bevor dieses Messverfahren angewendet werden soll, sollte unbedingt eine Kamera und/oder Kalibermessung durchgeführt werden um ein Verklemmen der Packerscheibe als auch bei Vorhandensein von starken Verockerungen ein „verschmieren“ der Filterschlitzte als auch des Impellers zu verhindern.

## **SAL/TEMP** - Spülungs-Log, Temperatur-Log (SALTEMP)

**Anwendung:** Salinometermessungen (Messungen des spezifischen Widerstandes der Bohrlochflüssigkeit) dienen hauptsächlich Korrekturzwecken bei der Ermittlung des wahren spez. Gesteinswiderstandes aus dem 16"-64"-Widerstandslog oder dem FEL-Log (s.o.).

In ausgebauten Brunnen oder Festgesteinsbohrungen können u. U. aus der Salinometer- und der Temperaturkurve Wasserzuflüsse oder -abflüsse erkannt werden.

**Prinzip:** Nach dem gleichen Prinzip wie bei der Widerstandsmessung in Normalanordnung (16"-64"-Normalen) wird hier der spezifische Widerstand der Bohrlochflüssigkeit gemessen.

**Messverfahren:** Die Elektrodenabstände auf der SAL-Sonde (Salinitäts- oder Salinometer-Sonde) sind sehr klein (einige cm) und die gesamte Elektrodenanordnung ist in einem innen isolierten metallischen Rohr untergebracht, durch das die Bohrlochflüssigkeit hindurch strömen kann. Auf diese Weise wird erreicht, dass die Gebirgs widerstände die Messung nicht beeinflussen.

Am Ende des Elektrodenträgers der Sonde ist zusätzlich ein Temperaturfühler angebracht, der die Temperatur des die Sonde durchströmenden Mediums (Wasser oder Spülung) kontinuierlich misst.

Falls die gemessenen Widerstandswerte in Gesamtsalzgehalte umgerechnet werden sollen, muss das Salinometer im Labor mit Standardsalzlösungen geeicht (Korrekturkurve!) werden. Außerdem muss die Temperatur der Flüssigkeit berücksichtigt werden.





Soll der Spülungs- oder Wasserwiderstand und die Temperatur der Flüssigkeitssäule im Bohrloch unter ungestörten Bedingungen gemessen werden, wird das SALTEMP-Log zuerst gefahren. Die Messung erfolgt während des Einfahrens der Sonde ins Bohrloch. Eine für das umgebende Gebirge repräsentative Temperatur kann im Allgemeinen nur in der Bohrlochflüssigkeit gemessen werden, da in der Luft eine wesentlich stärkere Konvektion stattfindet. Aus diesem Grunde stellt man meist beim Eintritt der Sonde in die Flüssigkeit einen Temperatursprung fest.

Wegen der Jahrestemperaturschwelle kann der normale Temperaturanstieg mit der Tiefe (geothermische Tiefenstufe) erst ab ca. 20 m beobachtet werden. Abweichungen vom normalen Temperaturverlauf deuten auf vertikale Wasserbewegungen im Bohrloch oder im umgebenden Gebirge hin.

## **Tracer-Fluid-Logging:** TFL

Anwendung: Zuflussprofilierung in Gesteinsböden mit sehr geringerer Porosität

Ein weiterführendes Messprogramm mittels SAL-TEMP-Messungen ist das sogenannte Tracer-Fluid-Logging. Hier wird im Bohrloch/Brunnen/GWM nach einer vorangegangenen Nullmessung die Flüssigkeitssäule abschnittsweise die elektrische Leitfähigkeit des Bohrlochfluids mit einer Salzlösung erhöht und zu unterschiedlichen Zeitabständen unter geringer hydraulischer Belastung des Bohrloches (Abpumpen), weitere Salinitätsmessungen durchgeführt. Über die Veränderungen der Leitfähigkeit über die Zeit und Teufe in der Bohrlochflüssigkeit, können Rückschlüsse über Art und Größe der Zu- (und auch Ab-) Flüsse abgeleitet werden. Mit diesem Verfahren lassen sich vertikale als auch horizontale Volumenströmungen bestimmen. In den Vollwand Rohrabschnitten der Grundwassermessstelle/Brunnen, lassen sich sehr gut Leckagen und Undichtigkeiten feststellen.

**Milieuparameter:** Redoxpotential, pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Temperatur und Salinität, Druck

Anwendung: Bestimmung und Feststellung von Zuflüssen unterschiedlicher Wasserqualitäten, Erkennung von möglichen Kontaminationen

Vom Aufbau und von der funktionsweise her, ähnelt dieses Messverfahren der Salinität- und Temperatur-Messung (**SAL-TEMP**) mit dem Unterschied, dass sich auf der Bohrlochsonde mehr Messelektroden für die jeweils einzelnen Parameter befinden. Somit kann über die Teufe ein entsprechendes Milieu bestehend aus den o.a. Parametern direkt mit einer Messung abgebildet werden.

Bei Brunnenregenerierungen erfolgt der Einsatz dieses Messverfahrens zum Bestimmen des jeweiligen Regenerierverfahrens, die Bestimmung des chemischen Regeneriermittels und dessen Konzentration. Ebenso dient es zum Nachweis von noch eventuell vorhandenem Regeneriermittel nach der Brunnenregenerierung im Trinkwasserbrunnen.



## **Elektromagnetische Defektoskopie: EMDS**

Anwendung: Bestimmung der Wanddicke/Restwanddicke von Stahlrohren

Hierbei handelt es sich um ein elektromagnetisches Verfahren, welches in den Stahlrohrtouren eine Art Wirbelstrom erzeugt und dieses wiederum ein Magnetfeld, welches ein Maß für die relative Restwanddicke der Rohrtour darstellt. Dieses Verfahren kann in den flüssigkeitsgefüllten als auch in den luftgefüllten Abschnitten (oberhalb Wasserspiegel) der Rohrtour angewendet werden. Bei Sanierungen von bestehenden Brunnen, speziell bei Perforationsarbeiten, wird dieses Messverfahren angewendet um Sicherzustellen, dass die Brunnen den Belastungen der Arbeiten stand halten können. Ebenfalls lassen sich sehr gut die Teufenlagen der Rohrverbindungen als auch die Filterabschnitte bestimmen. Löcher in den Rohrtouren stellen eine Störung im Messsignal der Sonde dar und können somit ebenfalls erkannt werden. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist die Selektion von mehreren Rohrtouren.

## **Trübungsmessung, Fotometrisches Trübungs-Log: FTL**

Anwendung: Bestimmung von Anomalien in der Wasserqualität

Eine mechanisch axiale Anordnung bestehend aus Lichtquelle -> Abstand -> Fotosensor, dient der relativen Qualitätskontrolle des zuströmenden Wassers in den Filteranschnitten des Brunnens, als auch der Erkennung von Fremdwasser undichter Rohrverbindungen und Leckagen. Dieses Messverfahren eignet sich auch sehr gut zum Nachweis von Intensiventsandungen, indem unter Förderung eines Brunnens über die Teufe die „Transparenz“ des Wassers aufgenommen wird. Die Abschnitte, in denen Spülrückstände oder Schluffe mitgefördert werden, werden hiermit selektiert.

## **Probennehmer:**

Anwendung: teufenorientierte Entnahme einer Wasserprobe

Um z.B. genaue chemische Zusammensetzungen des Grundwassers zu Analysieren, werden den Grundwassermessstellen/Brunnen gelegentlich Wasserproben entnommen. Nachteil hierbei ist, dass die meist herkömmlich gewonnene Wasserprobe eine Mischprobe ist. Mit dem Probennehmer ist es möglich, aus einer direkten Teufenvorgabe eine Wasserprobe zu entnehmen. Dabei wird der Probennehmer zentimetergenau auf Teufe positioniert und anschließend ein motorisiertes Ventil von der Übertage Messeinheit auf- und wieder zugefahren um die Wasserprobe zu entnehmen. Durch den Überdruck unterhalb des Wasserspiegels strömt das Wasser von allein in die Kammer des Probennehmers, bei Probenentnahmen kurz unterhalb des Wasserspiegels wird Übertage die Kammer des Probennehmers mit Hilfe einer Unterdruckpumpe quasi „vorgespannt“ damit das Wasser einströmen kann.



## **Packertest:** Einfach- oder auch Doppelpacker-Test

Anwendung: hydraulischer Nachweis von Rohrundichtigkeiten speziell in Stahlrohren

(Siehe Auch PVC-FEL)

Zeigt die PVC-FEL Messung Auffälligkeiten an Kunststoff-Rohrverbindungen so kann von potentiellen Undichtigkeiten ausgegangen werden. Wie groß die Leckage allerdings ist kann nicht abgeleitet werden. Hierzu bedient man sich eines Packertests. Dabei wird der Packer (kurzer, stabiler, aufblasbarer Gummischlauch) meist kurz oberhalb der Filterstrecke positioniert, aufgepumpt und die Ruhe-Wassersäule um ca. 10 bis 20 Meter abgesenkt (abgepumpt). Über eine kontinuierliche Wasserstandsmessung z.B. mit einem Lichtlot, füllt sich die Messstelle dann wieder über die Leckagen mit Wasser aus dem Aquifer wieder auf. Bei dichten Rohrverbindungen bleibt die abgesenkte Wassersäule auf Ihrem Niveau. Eine bauliche Erweiterung des einfach Packer ist der Doppelpacker, indem zwischen 2 Packern ein starrer Zwischenraum besteht. Dieser Zwischenraum kann nach dem setzen des Doppelpackers hydraulisch z.B. mit Stickstoff beaufschlagt werden. Bei einer Rohrundichtigkeit entweicht dieser sofort durch die Leckage. Der Doppelpacker wird direkt an einer Rohrverbindung positioniert und angewendet, während bei der Anwendung des Einfach-Packers längere Rohrabschnitte überprüft werden können.

## **TV-Kamera-Untersuchungen (TV)**

Anwendung: Kamerasysteme dienen z.B. der **Ausbaukontrolle** von fertiggestellten Versorgungsbrunnen, sowie der optischen **Zustandskontrolle** bei älteren Brunnen und Grundwassergütemessstellen.

Prinzip: Eine Kamera auf einem mobilen Transportwagen wird in den Brunnen herab gefahren, sodass das Innere des Rohres direkt betrachtet werden kann.

Verfahren: Je nach Aufgabenstellung kommen unterschiedliche Kameras zum Einsatz. Entscheidend hierfür ist vor allem der Durchmesser des Brunnens. In einem 2´´ Ausbau kommt eine 40 mm Kamera zum Einsatz, ab Brunnendurchmesser größer 100 mm werden Kamerasysteme ab 90 mm verwendet. Mit diesen Systemen ist eine, für größere Durchmesser unbedingt erforderliche, ausreichende Ausleuchtungskraft gewährleistet. Bei sehr großen Durchmessern können auch noch zusätzlich Beleuchtungskörper angebracht werden.

TV-Inspektionen werden durchgeführt:

- bei Neubauabnahmen von Brunnen/GWM zur Beweissicherung
- vor und nach jeder mechanischen/chemischen Reinigung
- beim Einsetzen einer Verrohrung / Inliner
- zur Unterstützung bei der Beseitigung von Hindernissen
- bei jeder Leistungsminderung oder Sand-/Kiesförderung
- bei Verdacht auf Beschädigungen
- beim Positionieren der Sprengladungen beim Sprengschocken zur Regenerierung
- Unterstützung von Fangarbeiten