

Messprogramme für Bohrungen in Festgesteinen

Dipl.-Geol. Walter Beck

FONTUS Logging Service; Nordring 2a; 91785 Pleinfeld

Tel. +49(0)9144608782; E-Mail-Adresse: info@fontus-geophysik.de

Einleitung

Geophysikalische Bohrlochmessungen im Zusammenhang mit dem den Bau von Brunnen und bei der Errichtung von Grundwassermessstellen gelangen zunehmend an Bedeutung und sind ein wichtiges Instrument bei der Planung, Durchführung und Kontrolle der Bohrarbeiten (Aufschluss- und Erkundungsbohrungen sowie Erschließungs- und Förderbohrungen). Vor allem dann, wenn für die weitere Projektierung zielführende Fachentscheidungen und rationelle, wirtschaftliche Lösungen in kurzen Zeiträumen getroffen werden sollen. Die Auswahl der zur Anwendung kommenden geophysikalischen Messverfahren und der Einsatz geeigneter Verfahrenskomplexe orientiert sich dabei grundsätzlich an den benötigten geologischen, hydrogeologischen, hydrochemischen oder geotechnischen Informationen, wobei hier zwischen den Fragestellungen bei Brunnenbohrungen (Erschließungs- und Förderbohrung) gegenüber Messstellenbohrungen (Aufschluss- und Erkundungsbohrung) unterschieden werden kann. Deshalb sollten bereits im Vorfeld der Messungen bei der Erstellung von qualifizierten Ausschreibungsunterlagen und Leistungsverzeichnissen die genauen Rahmenbedingungen und Zielstellungen stärker berücksichtigt werden.

Aufgabenstellung

Der Einsatz bohrlochgeophysikalischer Messverfahren bei der hydrogeologischen Erkundung und Erschließung im Festgestein dient im wesentlichen der Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse im erbohrten Gebirge, und ist abhängig von dessen gesteinspezifischen Eigenschaften in Form meßbarer physikalischer bzw. geometrischer Größen unter den gegebenen technischen Bedingungen. Aufgrund petrographischer, lithologischer und tektonischer Besonderheiten in den verschiedenen Sediment- und Kristallingesteinen gibt es einerseits hinsichtlich der individuellen Anwendung und Aussagefähigkeit der zur Verfügung stehenden Messverfahren eine Reihe von Gemeinsamkeiten, andererseits auch markante Unterschiede. Diese sind zum großen Teil auf die unterschiedliche Ausbildung der grundwasserführenden Schichten im Festgestein als Kluft- oder als Porengrundwasserleiter, häufig auch als eine Kombination aus beidem, zurückzuführen und bestimmen damit auch die Auswahl geeigneter Messverfahren. Hierbei unterscheiden sich beispielsweise Sandsteinformationen sehr deutlich von Kalkgesteinen und mehr noch von Graniten, Basalten oder Gneisen und Glimmerschiefern. Die Kenntnis der regionalen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse ist deshalb bereits im Vorfeld der Planung und bei der Beurteilung von geophysikalischen Bohrlochmessungen ein wichtiger und bestimmender Faktor. Die in diesem Zusammenhang wichtigsten Anwendungsbereiche und Untersuchungsziele sind nachstehend zusammengefasst:

- Kontrolle und Dokumentation des Bohrprofils mit petrographischer/ lithologischer Auswertung und ggf. lithostratigraphischer Gliederung, normalerweise anhand der geologischen Aufnahme des Bohrprofils oder im Vergleich mit regionalen oder lokalen geologischen Gegebenheiten.
- Korrelation von mehreren Erkundungsbohrungen innerhalb eines Untersuchungs- oder Erschließungsgebietes aufgrund typischer Indikationen und vergleichbarer Merkmale.
- Bewertung und Interpretation der geohydraulischen Eigenschaften des Gebirges mit Unterscheidung in Grundwasserleiter und –nichtleiter; Lokalisierung von stockwerksabgrenzenden Geringleitern.
- Qualitative und quantitative Charakterisierung der grundwasserführenden Zonen und ihrer speziellen hydraulischen und hydrodynamischen Verhältnisse; Ermittlung von Zu- und Abflussprofilen für den Ruhezustand sowie von Zufluss- bzw. Infiltrationsprofilen bei Grundwasserförderung.
- Ermittlung der räumlichen Strukturen innerhalb der erbohrten Schichtenfolge mit Detektion von Klüftung und Schichtung.
- Kennzeichnung der Bohrlochgeometrie im Hinblick auf den Einbau von Verrohrungen und der Ringraumverfüllung.
- Kontrolle von bereits eingebauten Sperrverrohrungen, Abdichtungen und Tonsperren.

Messverfahren und ihre Aussagemöglichkeiten

Da nur in wenigen Fällen Kernbohrungen zur Erkundung und zum Nachweis von Grundwasser im Festgestein durchgeführt werden können (hoher Kostenfaktor), ist bei den gebräuchlichen Bohrverfahren - meist Drehspül- oder Im-Loch-Hammer-Bohrungen - die exakte Zuordnung der Spülproben, hinsichtlich der Tiefe und der Geologie, nicht oder nur sehr unzureichend gegeben. Darüber hinaus können in Festgesteinsbohrungen regional starke Unterschiede in der Gesteinscharakteristik auftreten, wobei unter speziellen Faziesverhältnissen in Sandsteinen und Arkosen (z.B. im Sandsteinkeuper) wie auch in Graniten und Glimmerschiefern (z.B. Herzynikum), häufig auch sehr hohe natürliche Strahlungsintensitäten gemessen werden können, die u.U. auch die Grundwasserqualität entscheidend beeinträchtigen können. Solche Anomalien werden meist durch Uran- oder Thoriummineralisationen verursacht und können die normale ⁴⁰K-Strahlung weit übertreffen. Für eine exakte lithologische Zuordnung und Gliederung ist dann die Kombination mit anderen Meßverfahren, z.B. elektrischen Widerstandsmessungen, unbedingt erforderlich. Durch die Messung dieser gesteinspezifischen Parameter (**GR**, **FEL**, **CAL**, z. T. auch **SUS** und selten auch **SP**) können die Aussagen über den Gebirgsaufbau präzisiert werden und leisten zusammen mit den Ergebnissen der sog. produktionstechnischen Meßverfahren (**FLOW**, **TEMP/SAL**) eine wichtige Entscheidungshilfe für den späteren Brunnen- oder Meßstellenausbau. Speziell für die Festlegung der Vollrohr- und der Filterstrecken sowie auch für den Einbau von Sperren und Abdichtungen, kommt diesen Meßergebnissen ein hoher Stellenwert zu. Unter besonderen Gegebenheiten, wie bei relativ geringer Fördermenge in großkalibrigen Bohrungen, kann auch das Verfahren des Tracer-Fluid-Loggings (**TFL**) erfolgreich eingesetzt werden. Ergänzende Untersuchungsmaßnahmen, wie die Durchführung von tiefenhorizontierten Probenahmen (**SAMP**), können zur Untersuchung spezifischer Güteermale des

geförderten Grundwassers mit den produktionstechnischen Verfahren gekoppelt werden. Speziell bei zu erwartenden geogenen Grundwasserbelastungen, durch beispielsweise Uran-/Thorium-, Blei- oder Arsenverbindungen, aber auch bei häufig an oberflächennahe Grundwässer gebundenen anthropogenen Grundwasserverunreinigungen (Nitrat und grundwassergefährdende Stoffe) kann dies frühzeitig zu geeigneten Abwehr- und Sanierungsmaßnahmen führen. In diesem Zusammenhang müssen häufig auch zusätzliche Kontrollen, wie der Nachweis über die Wirksamkeit von Abdichtungsmaßnahmen (Tonsperren und Sperrrohrzementationen) eingeplant werden, was die Anwendung weiterer spezieller Messverfahren verlangt. Im Normalfalle kann ein solcher Nachweis von Tonsperren bei nichtmetallischen Rohrtouren mittels einfachem Gamma (**GR/SGL**) oder Magnetik -Log (**SUS**) erbracht werden. In speziellen Fällen, z.B. hinter einer Stahlverrohrung sind Nachweisverfahren mit Strahlungsquellen (**GG.D** oder **RGG.D**) gebräuchlich.

Ist die Standfestigkeit einer Bohrung nicht gewährleistet - Spülungszusätze sind in der Grundwassererschließung grundsätzlich verboten - muß eine Hilfsverrohrung beim Bohren mitgeführt werden, wodurch sich das Messprogramm entscheidend reduzieren kann.

Die am häufigsten gebräuchlichen Messverfahren, die in Abhängigkeit von der Art des Festgesteins (sedimentär, magmatisch oder metamorph), den technischen Rahmenbedingungen (Bohrverfahren, Bohrdurchmesser, Vorhandensein von Verrohrungen) und der gesetzten Aufgabenstellung (Prüfung von Dargebot und Qualität des Grundwassers) in unterschiedlichen Kombinationen Anwendung finden und interpretiert werden können, sind in der Tabelle nachstehend aufgeführt.

Standardmessverfahren

Messverfahren	Untersuchungsziel
FEL Widerstandsmessung in fokussierender Anordnung	Lithologische und lithostratigraphische Gliederung des Gebirgsaufbaus mit guter Identifikation auch geringmächtiger Schichtglieder; Erkennen von Kluft- und Störungszonen; Charakterisierung kristalliner Gesteine aufgrund ihrer hohen Lagerungsdichte und Erkennen von Auflockerungszonen, wie Mylonite oder Kakirite.
SP Eigenpotentialmessung	Schichtauflösung zwischen tonigen, sandigen und kalkigen Sedimentgesteinen bei deutlichem Leitfähigkeitskontrast; ohne Spülungszusätze im Festgestein nur sehr bedingt einsetzbar.
GR Gammamessung	Lithologische und ggf. lithostratigraphische Gliederung des Gebirgsaufbaus; Bestimmung des Tonanteils in Sedimentgesteinen; Identifizierung potentieller Sperrhorizonte; Charakterisierung vor allem kristalliner Gesteine anhand signifikanter radiometrischer Merkmale und Ermittlung radiometrischer Gesteinsanomalien. Bestimmung der Lage von Tonsperren bei Einsatz von strahlungsaktiven Dichtungstonen auch hinter Stahlverrohrungen.
SUS Messung der magnetischen Suszeptibilität	Lithologische und petrographische Gliederung des Gebirgsaufbaus vor allem in kristallinen und vulkanischen Gesteinen; Nachweis magnetisch wirksamer Mineralien; Nachweis von Sperrrohrabdichtungen mit Quellon HD/Mikolit 300 M hinter nichtmetallischen Rohrtouren.

CAL Kalibermessung	Bestimmung des Bohrlochdurchmessers und des Bohrungsquerschnittes; Abschätzung lithologischer Strukturen und Kennzeichnung von Anomalien („Washout“ und Breakout“-Effekte); Korrekturgröße für andere Messmethoden, z. B. Flowmeter; Volumen-Berechnung für die Schüttmengen bei Ringraum-verfüllung.
BA, DEV Bohrlochabweichungs- messung (Deviation)	Ermittlung der Vertikalität und Richtung; Abweichung aus der Lotrechten als wichtige Voraussetzung für den Einbau der Rohrtouren und Einbringen der Ringraumverfüllung.
FLOW Flowmetermessung (Impeller)	Ermittlung der Wasserzu- und -abflüsse (qualitativ und quantitativ); Charakterisierung der Veränderlichkeit hydrodynamischer und hydraulischer Verhältnisse (Fließzustände und Vertikalströme) zwischen unterschiedlichen Potentialen.
TEMP Temperaturmessung	Lokalisierung von Wasserzutritten, Ermittlung des geothermischen Gradienten und des Wärmeflusses; Messungen im Zusammenhang mit Injektions- und Zementationsarbeiten; Bestimmung von Thermalwässern.
SAL Leitfähigkeitsmessung	Lokalisierung von Wasserzuflüssen; Untersuchung von mineralisierten oder kontaminierten Wässern; Korrekturfaktor für andere Messgrößen.
TFL Tracer Fluid Logging	Beobachtung der Wasserbewegung auch bei geringen Fließgeschwindigkeiten und vertikaler Fließbewegungen durch Tracerzugabe mit zeitlich versetzten Salinitäts-Messungen bei verschiedenen Anregungszuständen.
SAMP tiefenhorizontierte Probenahme	Gezielte Probenahme mittels elektromechanisch gesteuerten Differenzdruck-Probenahmegerät für die chemisch-analytische Untersuchung definierter Zuflußzonen auf bestimmte Wasserinhalts- oder Schadstoffe.

Zusatzmessverfahren (nur bedingt und bei speziellen Fragestellungen)

Messverfahren	Untersuchungsziel
GG, GG.D Gamma-Gamma- Dichtemessung	Dichteabhängige Gliederung des Gebirgsaufbaus zur Erkennung von Auflockerungszonen; Porositäts-Bestimmung und Kontrolle von Sperrrohrzementationen.
SGL Segmentiertes Gamma-Log	Nachweis von Abdichtungen und Sperren mittels Zugabe von radioaktivem Tracer bei Dämmer- und Bentonit-Zement-Suspension.
NN Neutron-Neutron-Messung	Ermittlung von Wassergehalt des Gebirges und Porositätsabschätzung; Zusatzaussagen zur lithologischen und tektonischen Gliederung des Gebirgsaufbaus bei magmatischen und metamorphen Gesteinen.
ABF Akustischer Bohrlochfernseher	Bestimmung von Trenn- und Schichtfugen, Klüften und Störungszonen sowie deren räumliche Ausbildung
OBI Optischer Bohrlochscanner	wie ABF, aber Imageverfahren zur strukturellen Abbildung der Bohrlochwand

Messprogramme für Standardaufgabenstellung

Geophysikalische Bohrlochmessungen werden in meist unverrohrten oder teilverrohrten Bohrlöchern zur Qualitätskontrolle und zur Gewinnung geologischer, hydrogeologischer und geotechnischer Informationen, als Einzelverfahren oder als kombinierte Messprogramme, durchgeführt. Maßgebend hierfür sind der Zustand der Bohrung, die äußeren Rahmenbedingungen für die Messdurchführung und die vorgegebenen Untersuchungsziele.

Bei der technischen Kontrolle einer Bohrung spielt u.a. die Überprüfung auf den Sollwert des Bohrlochdurchmessers und auf evtl. vorhandene Absätze bedingt durch Meißelwechsel oder durch das Mitführen von Hilfsverrohrungen, eine wichtige Rolle. Dazu gehört auch die Registrierung von Aufweitungen, Auskolkungen und Ausbrüchen, vereinzelt im plattigen Festgestein auch von Verengungen durch Stoßschiebung u. ä. tektonische Prozesse, welche die Geometrie des Bohrlochs entscheidend beeinflussen können. Zusammen mit der Messung des Bohrlochverlaufs bildet dies in vielen Fällen eine wichtige Entscheidungshilfe für den späteren Einbau von Verrohrungen.

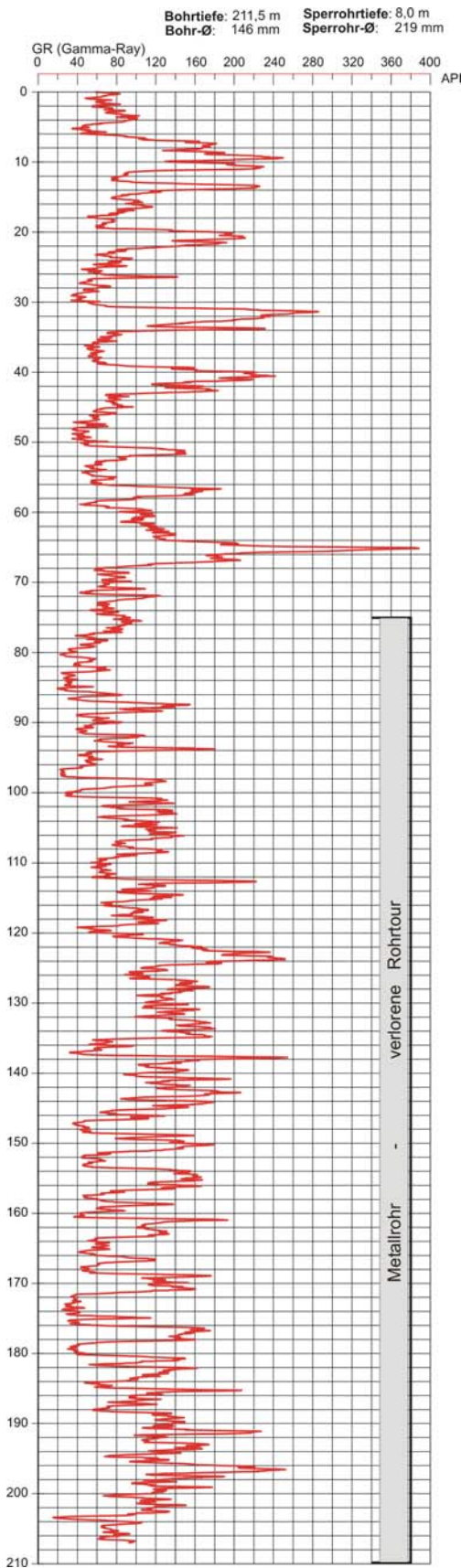
Im Rahmen der geologischen und hydrogeologischen Aufgabenstellungen kommen häufig kombinierte Messverfahren zur Überprüfung des Schichtprofils und zur genauen Gliederung des anstehenden Gebirges zum Einsatz, die auch der Abschätzung der Grundwasserhöflichkeit dienen können. Diese Verfahren haben auch das Ziel, geeignete Horizonte für das Setzen einer Sperrverrohrung oder für den Einbau stockwerkstrennender Zwischenabdichtungen ausfindig zu machen. Hinzu kommen Messprogramme, die auf die qualitative und quantitative Untersuchung des Grundwasserdargebots ausgerichtet sind (Zuflußprofilierung). Gerade bei Vorhandensein mehrerer Grundwasser-Horizonte und einem geplanten stockwerksübergreifenden Ausbau zum Brunnen oder zur Grundwassermeßstelle, gewinnen diese Verfahren eine wichtige Bedeutung. In der Praxis ist dies bei Bohrungen in Sedimentgesteinen, wie beispielsweise in der Trias (Muschelkalk, Buntsandstein, Keuper) oder in Kreide-Serien häufig der Fall, wobei durch die Erschließung unterschiedlicher Potentiale der vertikale Grundwasseraustausch zwischen den einzelnen Stockwerken kontrolliert und charakterisiert wird. Gleiches gilt auch für Bohrungen in kristallinen Gesteinen, z.B. in Graniten und Gneisen der Mittelgebirge, wo durch die Koppelung verschiedener Speichergesteine über deren Auflockerungs- oder Klüftzonen unterschiedliche hydraulische Zustände gegeben sein können. Eine gewisse Ausnahme stellen darüber hinaus die Karst-Grundwasserleiter in Kalkgesteinen des Jura dar, wo ebenfalls spezielle hydraulische Gegebenheiten zu berücksichtigen sind.

Mit der Untersuchung der vertikalen Strömungsverhältnisse und der Veränderlichkeiten von Temperatur und Leitfähigkeit bei verschiedenen Anregungszuständen im wassererfüllten Bohrloch, den sog. Produktionstechnischen Messverfahren, kann der endgültige Ausbau zur Grundwassermessstelle oder zum Brunnen gezielt festgelegt werden.

Da bei vielen Festgesteinsbohrungen das oberflächennahe, überwiegend in aufgelockerten Deckschichten zirkulierende Grundwasser zur Qualitätssicherung beim Ausbau abgesperrt werden muß, sind hier weitere Kontrollverfahren zum Nachweis für das richtige Einbringen und die Dichtheit von Absperrungen (Stahlsperrohr kombiniert mit Bentonit-/Zement-, Dämm- oder Ton-Abdichtung) von besonderer Bedeutung.

Eine Orientierungshilfe zur Auswahl geeigneter Messverfahren und -programme bei unterschiedlichen technischen Rahmenbedingungen wird nachstehend gegeben:

A) Messung bei nicht standhaftem Gebirge:



Im diesem speziellen Fall, der auch die Gefahr in sich birgt, daß der spätere Ausbau zum Brunnen oder zur Grundwassermessstelle mit größeren Schwierigkeiten verbunden ist, kann in sedimentären, wie auch kristallinen Aufschlußbohrungen meist nur eine Kontrollmessung mittels Gamma-Log (**GR/SGL**) innerhalb einer Hilfsverrohrung durchgeführt werden. Häufig ist bei solchen Bohrungen, bedingt durch Spülverluste und dergleichen, keine ausreichende Probengewinnung gewährleistet, so daß der Messeinsatz auch bei erhöhtem Risiko zum Erhalt wichtiger geologischer Informationen beiträgt. Der Einsatz weiterer Verfahren ist u. U. dann gegeben, wenn die Möglichkeit besteht, daß kritische Bereiche mittels Hilfsverrohrung (dazu kann auch das nach unten offene Bohrgestänge dienen) abschnittsweise abgesperrt werden und die weiteren Messungen im freien Bohrloch darunter stattfinden können. Dann kann in ähnlicher Weise wie im folgenden Kapitel **B**) vorgegangen werden.

Abb. 1: Beispiel einer Gamma-Messung innerhalb und außerhalb einer metallischen Rohrtour.

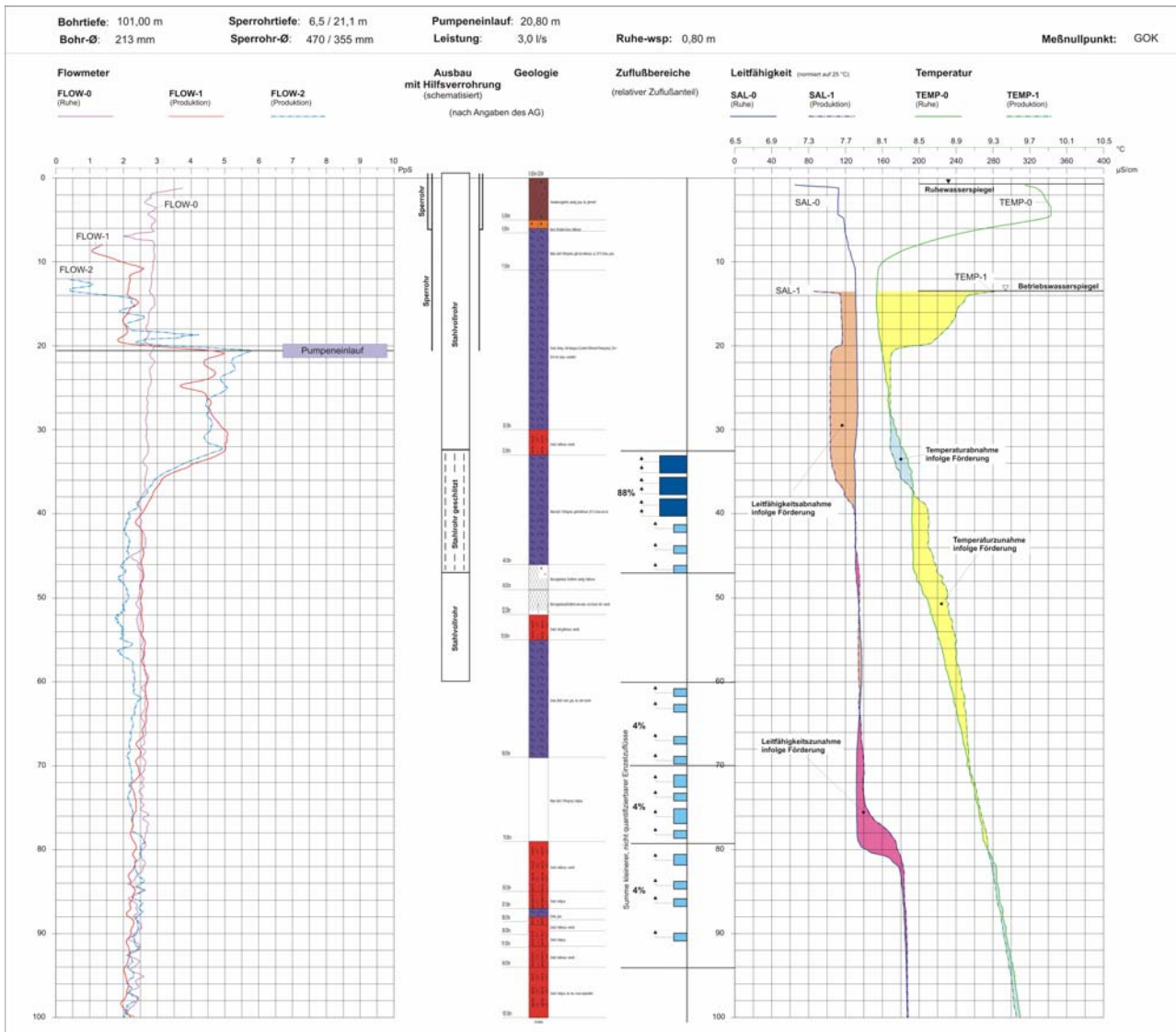


Abb. 2: Beispiel für eine Erkundungsbohrung mit Hilfsverrohrung im kristallinen Grundgebirge (Granit / Gneis).

B) Messkomplexe bei standhaftem Gebirge:

Grunduntersuchungsprogramm für die hydrogeologische Erkundung (GR, FEL, CAL, DEV, (SP, SUS), TEMP-0/SAL-0, TFL-0)

Das Untersuchungsprogramm mittels Standard-Messverfahren (**GR, FEL, CAL, DEV, TEMP-0/SAL-0, TFL-0**) dient normalerweise im Brunnen- und Messstellenbau der lithologischen Gliederung des erbohrten Gebirges mit Kennzeichnung der wasserhöffigen Bereiche für die spätere genaue Platzierung von Vollrohr- und Filterstrecken sowie für den Einbau von Abdichtungen und Sperren. Weitere Messverfahren, wie die Eigenpotential-Messung (**SP**) oder die Messung der magnetischen Suszeptibilität kommen dabei nur selten in Betracht. Ist, wie dies bei großkalibrigen Brunnenbohrungen häufig der Fall ist, vor der Messung bereits ein Sperrrohr gesetzt, kann dieses im Falle einer Hinterfüllung mit Ton- oder Zementsuspension nur mit speziellen passiven und aktiven radiometrischen Methoden auf den exakten Sitz und richtigen Einbau im Ringraum überprüft werden. Hier wird der Nachweis zum Beispiel durch ein Segmentiertes-Gamma-Log (**SGL**) und Gamma-Gamma-Dichtemessung (**GG.D**) oft

auch in Kombination mit Neutron-Neutron-Verfahren (**NN**) geführt - siehe auch Messprogramme für Brunnen und Messstellen. Bei einem Einsatz von ferromagnetisch angereicherten Dichtungstonen (z.B. Quillon HD) ohne Stahlverrohrung speziell beim Bau von Grundwassermessstellen kann dies, unabhängig von der stets zu beachtenden radiometrischen Hintergrundstrahlung, durch Messung der magnetischen Suszeptibilität (**SUS**) erfolgen. Beim Gebrauch von normalen Dichtungstonen (Compactonit, Bentonit etc.) ist generell eine Gamma-Nullmessung vor Setzen einer Sperrverrohrung und eine Kontrollmessung nach Sperrrohreinbau notwendig. Bei Verwendung von Sperrverrohrungen aus Stahl mit Bentonit-Zement- oder Dämmersuspension ist auch bei Messstellen in der Regel eine Gamma-Gamma-Dichtemessungen (**GG.D**) oder der Einsatz eines Gamma-Gamma-Ringraumscanners (**RGG.D**) bei den hier gebräuchlichen kleineren Durchmessern zu empfehlen.

Grunduntersuchungsprogramm mit produktionstechnischen Messungen

(GR, FEL, CAL, DEV (SP, SUS), FLOW-0, FLOW-1, TEMP-0/SAL-0, TEMP-1/SAL-1, TFL-0, TFL-1, SAMP)

Der o. g. Messkomplex für die hydrogeologische Erkundung wird im Prinzip beibehalten und um eine Kombination von Flowmeter-, Leitfähigkeits- und Temperaturmessungen, evtl. auch durch Fluid-Logging-Verfahren mit Grundwasserförderung (**FLOW-1, TEMP-1/SAL-1, TFL-1**) erweitert, die der genauen qualitativen wie quantitativen Zuflußprofilierung dienen und deren Ergebnisse einen gezielten Ausbau zum Brunnen oder zur Messstelle zulassen. Nachdem das Bohrloch über einen längeren Zeitraum zum Stillstand gekommen ist, ist der Ablauf der Messungen so zu gestalten, daß zunächst die Messungen im Ruhezustand (ohne Grundwasserförderung) durchgeführt werden. Diese werden dann in Abhängigkeit vom Bohrdurchmesser und nach Einbau einer geeigneten Unterwasserpumpanlage mit entsprechender Förderleistung und Druckhöhe wiederholt. Voraussetzung für eine exakte Zuflußprofilierung mittels Flowmeter ist eine Mindestanströmgeschwindigkeit, resultierend aus maximal pumpbarer Wassermenge in Relation zum durchströmten Bohrlochquerschnitt und unter Berücksichtigung der zu erzielenden Absenkung. Für die Einbautiefe der Pumpe ist dabei der maximal abgesenkte Wasserspiegel anzusetzen. Wichtig ist, daß bei der Flowmeter-Befahrung nur im freien Bohrloch unterhalb des Pumpeneinlaufes ein repräsentatives Meßergebnis erzielt werden kann; deshalb sollte der Pumpeneinlauf nach Möglichkeit noch über dem obersten Grundwasserzutritt liegen. In der Praxis wird die U-Pumpe meist innerhalb des Stand- oder Sperrrohres installiert. Für die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen ist diese Messanordnung keine zwingende Voraussetzung; weshalb hier ein größerer Interpretationsspielraum gegeben ist. Gleichzeitig spielt hier, im Gegensatz zur Flowmeter-Messung, auch die Menge des abgepumpten Grundwassers analog zur resultierenden Anströmgeschwindigkeit keine bestimmende Rolle. Eine wichtige technische Voraussetzung für die Befahrbarkeit des Bohrlochabschnittes an und über der U-Pumpe, ist dagegen das Verhältnis Bohrdurchmesser zu Pumpengröße (3“, 4“- oder 6“-Pumpe). Hier sollte im Zweifelsfalle parallel zur Steigleitung immer eine Schutzleitung (i. d. R. 2“-PVC-Filterrohr) mitgeführt werden, die mit den Normalsonden (45 mm) problemlos befahren werden kann. Ist dies aufgrund des Bohrdurchmessers oder wegen der Sondengröße (90 mm) nicht möglich, muß die Pumpanlage zum Einfahren der Sonde und zum Sondenwechsel aus-/eingebaut werden, was in der Praxis einen wichtigen Zeit-/Kostenfaktor darstellt.

Bei mäßig standfestem Gebirge und der Besorgnis von Nachfall empfiehlt sich der Einbau einer Hilfsverrohrung (Stahl oder PVC) zur Durchführung der produktionstechnischen Vermessung; damit können auch Kaliberschwankungen weitgehend ohne Einfluß auf das Messergebnis bleiben. In speziellen Fällen und bei sehr kleinkalibrigen Bohrungen und/oder nur sehr geringer Ergiebigkeit empfiehlt sich die Methodik eines Tracer-Fluid-Loggings (**TFL-1**) auch unter Förderbedingungen. Mit dieser Methode können auch unter sehr erschwerten Bedingungen im Bohrloch durch Zugabe eines Tracers (meist NaCl) Wasserbewegungen mittels Salinitäts-Messung nachgewiesen und Filtrationsgeschwindigkeiten bestimmt werden.

Abschließend kann, wenn die Aufgabenstellung dies erfordert, nach erfolgter Zuflußprofilierung eine tiefenhorizontierte Entnahme von Wasserproben (**SAMP**) durchgeführt werden, was allerdings eine schnelle vor Ort Auswertung und Interpretation der Messergebnisse erfordert. Die gezielte, teufengerechte Entnahme von Grundwasserproben und die anschließende chemisch-analytische Untersuchung der entnommenen Proben kann unter günstigen Umständen dazu führen, dass Grundwasserzuflüsse von unzureichender Qualität (bei geogen oder anthropogen bedingten Inhaltsstoffen oder Kontaminationen) beim Bau des Förderbrunnens von vorneherein ausgeschlossen werden können.

Alle beschriebenen Verfahren können bei problem- und ergebnisorientierter Aufgabenstellung in unterschiedlicher Kombination eingesetzt und jederzeit den tatsächlichen Erfordernissen vor Ort angepasst werden. Dazu ist es unbedingt erforderlich, dass die Durchführung an kompetente Fachfirmen vergeben wird und eine enge Abstimmung mit Auftraggeber, Ingenieurbüro und Bohrfirma möglich ist. Dies ist aber auch nur dann praktikabel, wenn von der starren Ausschreibungs- und Vergabepraxis Abstand genommen wird und eine individuelle Ausrichtung sowie der gezielte Einsatz von Messkomplexen ermöglicht werden. Ergebnisorientierte und problemlösende Bohrlochmessungen sollten deshalb nicht nur als reine technische Dienstleistungen verstanden werden, sondern sind Ingenieurleistungen, die unter Zuhilfenahme von Technik gelöst werden können.

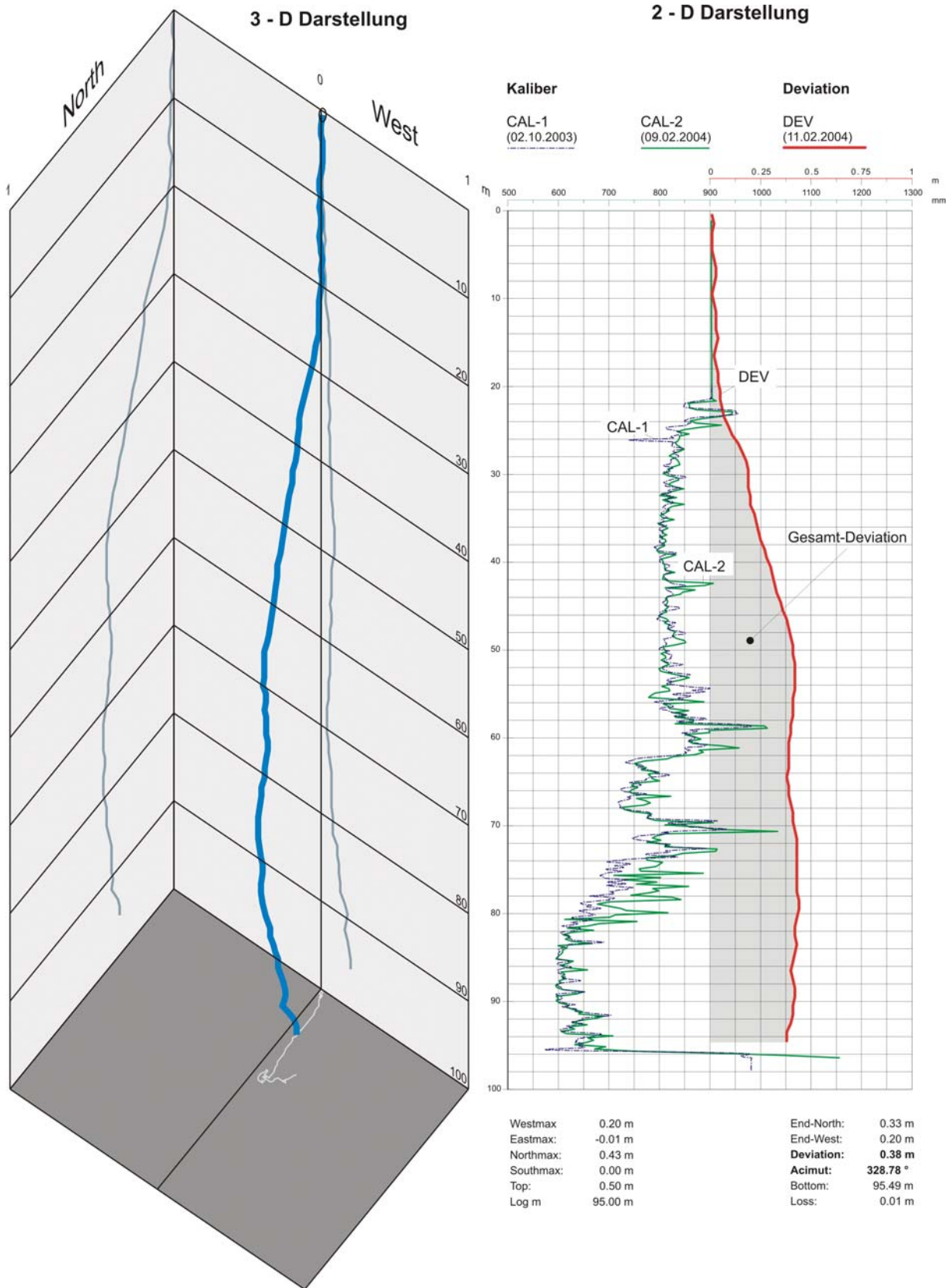


Abb. 5: Beispiel für eine Kaliber- und Richtungs-/Neigungsmessung bei der Brunnensanierung im Unteren Keuper / Muschelkalk

Literatur

- 1) DVWG-Arbeitsblatt W 110 (2005): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen-Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen; wvgw GmbH, Bonn.
- 2) DVWG-Arbeitsblatt W 121 (2002): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen; wvgw GmbH, Bonn.
- 3) Fricke, S. & Schön, J. (1999): Praktische Bohrlochgeophysik; Enke-Verlag, Stuttgart.
- 4) Lux, K.-N. (1996): Bohrlochgeophysik in der Wassergewinnung und Wasserwirtschaft; Lehr- und Handbuch Wasserversorgung, Band 1; Oldenburg Verlag, München-Wien.