

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow, Cottbus	15 (2008), 1/2	S. 81-98	11 Abb., 2 Tab., 19 Lit.
------------------------------	--------------------------	----------------	----------	--------------------------

Zustandsanalyse von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden mittels innovativer Bohrlochmessverfahren

Status analysis of wells, groundwater observation points and borehole heat exchangers using innovative well-logging methods

KARSTEN BAUMANN

1. Einführung

Die Bohrlochgeophysik ist etwa seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts ein untrennbarer Bestandteil der geologischen Erkundung. Ehemals aus Kostengründen, vorrangig zur Ergänzung bzw. Verbesserung der Aussagen bei Spülbohrungen eingesetzt, spart man durch Ihren Einsatz doch teure Kernbohrmeter ein, hat sie sich heute zu einer völlig eigenständigen Erkundungsmethodik entwickelt. Gerade die Erkundung von Massenrohstoffen, wie z. B. der Braunkohle, wäre ohne den Einsatz moderner bohrlochgeophysikalischer Messverfahren nicht denkbar. Im Archiv der Bohrlochmessung-Storkow GmbH lagern inzwischen etwa 150 000 geophysikalisch vermessene Bohrungen aus fast 70 Jahren. Anhand dieser Unterlagen wäre es z. B. möglich, den viel diskutierten Anstieg der Süß-/Salzwassergrenze über die vergangenen 50 Jahre zurückverfolgen und damit wissenschaftlich zu belegen. Neben der Vermessung von Aufschlussbohrungen hat sich in den vergangenen 20 Jahren ein neues Feld des Einsatzes der Bohrlochgeophysik herausgebildet, die Überprüfung von Brunnen, Grundwassermessstellen und neuerdings auch Erdwärmesonden. Eine Vielzahl technischer Regelwerke, insbesondere des DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.), aber auch behördliche Vorschriften, existieren heute in Deutschland zu diesem Thema und unterstreichen somit die Bedeutung, die derartigen Kontrollen beigemessen wird. Die Überprüfung von Messstellen, Brunnen und z. T. auch Erd-

wärmesonden mittels bohrlochgeophysikalischer Messverfahren hat dabei, nicht zuletzt wegen der hierfür in jüngster Zeit entwickelten Spezialverfahren und spezialisierten Anwendungen von Einzelverfahren und Verfahrenskomplexen, deutlich an Bedeutung gewonnen, wurde doch von verschiedenen Seiten erkannt, dass diese Untersuchungen für einen nachhaltigen Schutz unserer Ressource Grundwasser unverzichtbar sind. Gerade der in der jüngsten Vergangenheit zu verzeichnende starke Zuwachs bei der Errichtung von Erdwärmeanlagen mit Teufen bis 100 m, birgt, bei nicht sachgerechter Ausführung, eine nicht zu unterschätzende Gefahr für unser Grundwasser. Hierbei sei nur an Kurzschlüsse zwischen Grundwasserleitern und damit der Möglichkeit des Eintrags kontaminierter Oberflächenwässer oder der Schaffung von Aufstiegspfaden für Salzwässer, über unzureichend abgedichtete Ringräume von Erdwärmbohrungen, gedacht. Neben der Aufdeckung von Mängeln ergibt sich durch den Einsatz der Bohrlochgeophysik bei der Überprüfung von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden für den Brunnenbauer auch die Möglichkeit, die Güte seiner Arbeit durch eine unabhängige Fachfirma gegenüber seinem Auftraggeber nachzuweisen.

2. Aufschlussbohrungen

Die Vermessung von Aufschlussbohrungen gehört zu den ältesten Aufgaben der Bohrlochgeophysik. Auch heute noch



Abb. 1
Messfahrzeug bei der Vermessung einer Aufschlussbohrung

Fig. 1
Measuring vehicle while investigating an exploration well

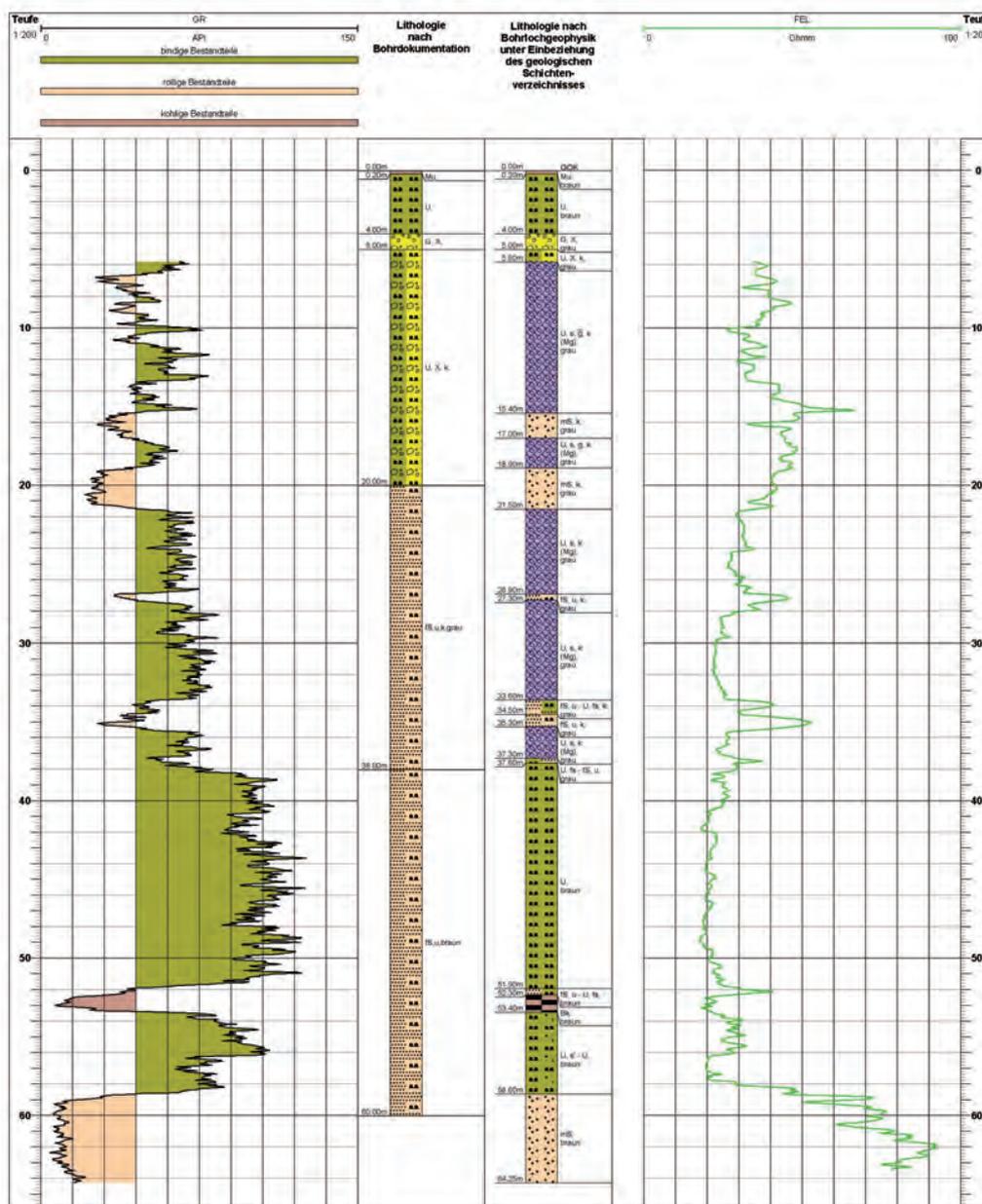
wird hier die Entwicklung durch den Einsatz der Bohrlochmessung bei der Exploration von Kohlenwasserstoffen zu wesentlichen Teilen bestimmt. Die Geschichte zeigt jedoch, dass Messverfahren, die in Tiefbohrungen zum Standard gehören, sofern es Sinn macht und bezahlbar ist, auch in der Bohrlochgeophysik von Flachbohrungen Anwendung finden. Zu erwähnen sei hier nur die NMR-Messung, mit der man in der Lage ist, die Porositäten und Permeabilitäten in situ, d. h. direkt in der Bohrung zu bestimmen. Ein entsprechendes, vom Land Brandenburg gefördertes Forschungsvorhaben zur Entwicklung einer H-NMR-Bohrlochmesssonde (Nuclear Magnetic Resonance), findet in diesem Jahr seinen Abschluss. Der Bau eines entsprechenden Prototyps dieser Sonde, speziell auf die hydrogeologische Erkundung ausgerichtet, könnte dann nachfolgen.

Seit Jahren findet in der hydrogeologischen Erkundung das so genannte „Hydro-Standard-Programm“ Anwendung. Es umfasst die Messverfahren CAL (Kaliber-Log), GR

(Gamma-Ray-Log), ES (Widerstands-Log), GG.D (Gamma-Gamma-Dichte-Log) und NN (Neutron-Neutron-Log). Hiermit ist es möglich, folgende Informationen zuverlässig zu erlangen:

- Geometrie des Bohrlochs (Neigung, Durchmesser),
- lithologische Feingliederung der Schichtenfolge,
- Berechnung der Gesamtmineralisation des Schichtwassers in NaCl-Äquivalent-gehalten (mg/l NaCl-Äquivalent) in allen durchteuften Grundwasserbereichen,
- Berechnung eines Composit-Plots (prozentuale Anteile von Sand/Kies, Ton/Schluff, organischen Bestandteilen und Porosität) und
- quantitative Abschätzung der Durchlässigkeitsbeiwerte, bei Vorliegen von aussagekräftigen Analysendaten.

Voraussetzung für den Einsatz des Hydro-Standard-Programms ist ein unverrohrtes Bohrloch.



Die Abbildung 2 zeigt ein Beispiel, bei dem aus den Messkurven die Lithologie, der Salzgehalt des Grundwassers und auch die einzelnen Komponenten der Gebirgszusammensetzung bestimmt wurden.

In Aufschlussbohrungen für Erdwärmesonden werden aus Kos-

Abb. 3
Messbeispiel einer Erdwärmebohrung
Fig. 3
Measuring example of a geothermal bore



Abb. 5 Messeinsatz zur Brunnenüberprüfung vor dem Reichstag in Berlin

Fig. 5 Measuring assignment in front of the Reichstag in Berlin

sermessstellen und natürlich auch Erdwärmebohrungen keinerlei schädigender Einfluss auf das Grundwasser erfolgen darf, werden Betreiber von Brunnen jedoch vermehrt auch mit behördlichen Auflagen konfrontiert, die einen Nachweis darüber verlangen, dass die Anlagen dem Stand der Technik entsprechend errichtet oder saniert wurden.

Von neu errichteten Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden sollte jedoch von vornherein erwartet werden, dass diese dem Stand der Technik entsprechend hergestellt wurden. Sowohl hinsichtlich der Ringraumabdichtung als auch der Dichtheit der Rohrverbindungen sind festgestellte Defizite hier kaum akzeptabel. Eine „Nullmessung“ erleichtert außerdem die Ursachenforschung bei später auftretenden Problemen mit den Brunnen oder Messstellen erheblich.

Häufige Mängel an Brunnen und Grundwassermessstellen

Zu den häufigsten Mängeln, die an Brunnen, Grundwassermessstellen und in neuster Zeit auch an Erdwärmesonden festgestellt werden, gehören die nachfolgend aufgeführten:

- nicht vorhandene, falsch positionierte, einseitig ausgebildete, unvollständige oder mit Nachfall vermischte Ringraumabdichtungen aus Ton oder Ton-Zement-Suspension, (häufigster und gravierendster Mangel!),
- undichte Rohrverbindungen mit der Folge des Kurzschlusses mehrerer Grundwasserleiter und dem Ergebnis, dass Messstellen nur Mischproben und falsche Grundwasserstände liefern; außerdem ist die Beeinflussung verschiedener Grundwasserleiter/Grundwasserqualitäten gegeben (zweithäufigster Mangel!),
- falsche geologische Schichtenverzeichnisse, z. B. bei Trockenbohrungen und ein daraus resultierender falscher Ausbau / falsche Verfüllung der Messstelle / des Brunnens (dritthäufigster Mangel!),
- Hohlräume / unverfüllte Bereiche, die durch Brückenbildungen bzw. Setzungen hervorgerufen wurden und

im Extremfall, insbesondere beim Zusammenbruch, den Totalverlust der Messstelle oder des Brunnens verursachen können und zu Setzungen an der Oberfläche führen (Unfallgefahr!),

- Überschüttungen von Filterstrecken mit Ton oder Eindringen von Ton-Zement-Suspensionen in den Filterbereich und damit „Verstopfung“ der Filterschlitz und Filterkiese,
- zu starkes Sanden,
- mechanische Beschädigung von Rohren,
- hoher NaCl-Gehalt des Rohwassers durch eine nicht erkannte Grundwasserversalzung,
- Verbiegung des Rohrstranges, hervorgerufen durch eine falsche Einbautechnologie und/oder einen plötzlichen Neigungsaufbau der Bohrung und damit verbundene Schwierigkeiten beim Einbau von Pumpen und Messgeräten,
- Verwendung unterschiedlicher Rohrchargen, was zu Absätzen an den Rohrverbindungen führt und Schwierigkeiten beim Einbringen von Pumpen und Messgeräten hervorrufen kann,
- exzentrischer Einbau der Rohre in die Aufschlussbohrung und damit verbundene ungleichmäßige oder einseitig fehlende Ringraumabdichtung, meist hervorgerufen durch das Fehlen oder eine ungenügende Anzahl von Zentralisatoren,
- auf Grund zu großer Neigung der Aufschlussbohrung nur einseitig geschüttete Filterkiese, mit der häufigen Folge des Sandens und/oder einer deutlich schnelleren Alterung des Brunnens oder der Messstelle,
- Undichtigkeiten am Verpressstück, bei einer Abdichtung des Ringraums mit Ton-Zement-Suspension aus dem Ausbau heraus, mit den gleichen Folgen wie bei undichten Rohrverbindungen,
- nicht richtig auf die lithologischen Verhältnisse abgestimmte Filterschlitz und Filterkiese, mit der Folge einer geringen Durchlässigkeit von Ringraum und Filterschlitz oder des Sandens des Brunnens oder der Messstelle,

- falsche Positionierung von Filterstrecken, hervorgerufen durch Messfehler und/oder Unaufmerksamkeit beim Rohreinbau.

Bei den Mängeln muss unterschieden werden, ob diese die Messstelle, den Brunnen oder die Erdwärmesonde für deren geplanten Zweck unbrauchbar machen oder gar eine Beeinflussung des Grundwassers durch das mangelhaft errichtete Bauwerk möglich ist, oder ob es Mängel sind, die die Gebrauchsfähigkeit nur einschränken. Kurzschlüsse zwischen verschiedenen Grundwasserleitern über den Ringraum oder defekte Rohrverbindungen sind in jedem Fall unzulässig.

Neubauabnahme von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden

Bei der Überprüfung von Brunnen und Messstellen muss zwischen einem Mindestprogramm zum Nachweis der Unbedenklichkeit für die Umwelt (in vielen Bundesländern bereits durch *behördliche Auflagen* geregelt!) und den Anforderungen, die der Bauherr / Nutzer an ein ordnungsgemäßes Bauwerk (Messstelle, Brunnen oder Erdwärmesonde) hinsichtlich der Gewährleistung und der Nutzungseigenschaften stellt, unterschieden werden. Zu den behördlichen Mindestanforderungen gehören danach bohrlochgeophysikalische Messverfahren, die folgende Überprüfungen zulassen:

- Vorhandensein und/oder Lage von Tonsperren/Ton-Zement-Suspensionen (vertikale Ringraumabdichtung) sowie deren Korrespondenz mit dem geologischen Schichtenprofil,
- hydraulische Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen, insbesondere wenn Hinweise auf Inhomogenitäten der Ringraumabdichtung vorliegen,
- Überprüfung auf Brückenbildung (Brücken im Ringraum sind Havariegefahren!),
- Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Rohrverbindungen
- Lage der Filterstrecke.

Insbesondere im Hinblick auf einen langfristigen störungsfreien Betrieb der Messstelle oder des Brunnens (*zusätzliche Anforderungen des Betreibers*) sind Untersuchungen und Messverfahren empfehlenswert, die folgende Überprüfungen ermöglichen:

- Vorhandensein und Zustand der Kiesschüttung (Kolmationen, Verdichtungen, Feinkornanteil),
- Zufluss im Filterbereich bzw. Erstellung einer Zuflussprofilierung der Filterstrecke,
- Durchlässigkeit des filternahen Bereiches / der Ringraumschüttung,
- Vertikalität und Exzentrizität der eingebrachten Verrohrung,
- ggf. Präzisierung des erbohrten geologischen Profils (Auch im zur Messstelle oder Brunnen ausgebauten Bohrloch möglich!),
- Rohrbeschädigungen (Haarrisse) und Rohrovalitäten.

Von Fall zu Fall können auch folgende Untersuchungen erforderlich sein:

- Überprüfung des Wasserchemismus (absolute Salinität, vertikale Schichtung, Mischwässer aus verschiedenen Horizonten),
- Abschätzung der Schichtwassermineralisation im Porenraum der einzelnen geologischen Abfolgen, („hinter den Rohren“, zur Verfolgung der Süß-/ Salzwassergrenze).

Bei Erdwärmesonden beschränkt sich die Überprüfung auf das Vorhandensein einer hydraulisch wirksamen Ringraumabdichtung. Gegenwärtig ist deren Nachweis jedoch nur möglich, wenn in die Erdwärmesonde zentrisch ein zusätzliches PVC-Rohr vom Mindestdurchmesser 40 mm eingebracht wird. Dieses Rohr, am Fuß versehen mit einem Rückschlagventil, kann zum Verpressen der Erdwärmebohrung mit Ton-Zement-Suspension genutzt werden. Im Anschluss an die Verpressung wird Wasser in das Rohr eingepresst, was die restliche Suspension aus dem Rohr drängt. Das Rohr kann nun mit üblichen Bohrlochmesssonden befahren werden, um die Abdichtung des Ringraums zu überprüfen. Noch in diesem Jahr ist jedoch damit zu rechnen, dass Sonden auf dem Markt verfügbar sind, die auch in den kleinkalibrigen „Röhrchen“ der Erdwärmesonden eingesetzt werden können. Dann wäre der Einbau eines zusätzlichen Rohres nicht mehr erforderlich.

Die in der Abbildung 6 dargestellte Gamma-Ray-Sonde hat einen Durchmesser von 25 mm und eine Baulänge von



Abb. 6 Prototyp einer miniaturisierten Sonde für die Vermessung von Erdwärmesonden
Fig. 6 Prototype of a miniaturized sensor for measurement in borehole heat exchangers

30 cm. Diese Sonde wird voraussichtlich noch in diesem Jahr in die Erprobung gehen.

Überprüfung Altbrunnen und Altmessstellen

Generell können diese Untersuchungen auch am „Altbestand“ von Messstellen und Brunnen vorgenommen wer-

den, um so deren Eignung zu überprüfen. Dies empfiehlt sich insbesondere immer dann, wenn Zweifel an der Richtigkeit von Analysen und / oder Wasserständen bei Grundwassermessstellen bestehen, wenn die Leistung des Brunnens nachlässt, die Qualität des Förderwassers mangelhaft ist, eine Prognose über die noch mögliche Nutzungsdauer

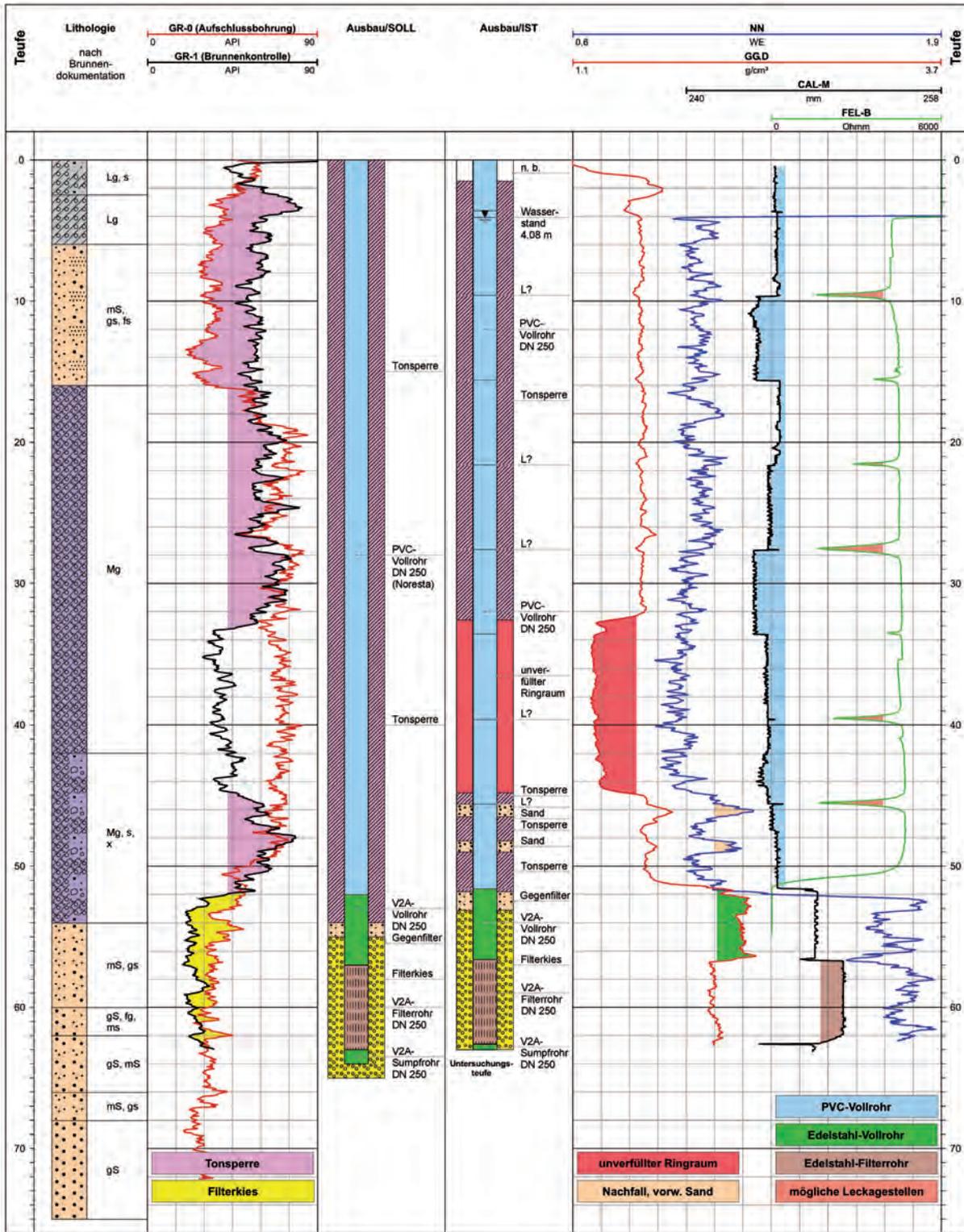


Abb.7 Brunnenkontrolle mit festgestellter fehlerhafter Verfüllung und potentiell undichten Rohrverbindungen

Fig. 7 Well inspection identifying faulty annular space filling and potentially leaky pipe connections

von Brunnen erstellt werden soll oder wenn die Messstelle oder der Brunnen zurück gebaut werden soll. Beim geplanten Rückbau ist insbesondere der Nachweis einer ordnungsgemäßen Ringraumabdichtung und -verfüllung erforderlich (vergl. DVGW-Arbeitsblatt W 135 (1996)).

- Vorangestellt sollte bei Altbrunnen eine Ermittlung des Allgemeinzustandes werden (Fernsehsondierung).
- Es muss ein verlässliches geologisches Schichtenverzeichnis vorhanden sein oder nachträglich über die Bohrlochgeophysik erstellt werden.
- Ein entsprechender verlässlicher Ausbauplan (Lage der Filter, Ausbaudurchmesser, Art der Ringraumverfüllung) sollte vorliegen oder nachträglich erstellt werden.
- Bei tieferen Brunnen, die einen bedeckten Grundwasserleiter erfassen, ist der Nachweis der Ringraumabdichtung zu erbringen. Fehlen die Ringraumabdichtungen, so sind diese nachträglich herzustellen. Dies gilt insbesondere auch, wenn der Brunnen verwahrt werden soll.
- Es ist weiterhin nachzuweisen, dass die Rohrverbindungen dicht sind. Eine nachträgliche Abdichtung, z. B. durch das Einbringen einer Einschubverrohrung

oder einer Innenrohrmanschette, kann hier gegebenenfalls Abhilfe schaffen.

- Nachweis einer ordnungsgemäßen Ringraumverfüllung (Keine Brückenbildung!) durch entsprechende Messungen sowie gegebenenfalls nachträgliche Ringraumverfüllung durch Verpressung, Verdichtung („Kiespumpe“) oder andere Maßnahmen.
- Erstellung eines Zuflussprofils und Bestimmung der Durchlässigkeit des filternahen Bereiches (Flowmeter oder Tracer-Fluid-Logging und Packerflowmeter).
- Bei älteren Stahlbrunnen oder -messstellen sollte die Restwandstärke der Aufsatzrohre / Grad der Durchrostung / größere Leckstellen untersucht werden (Vorbeugende Maßnahme zur Vermeidung von Havarien, z. B. durch Einbruch des Gebirges in den Brunnen bzw. Entscheidung darüber, „ob es noch lohnt“, den Brunnen oder die Messstelle zu regenerieren bzw. ob eine Regenerierung ohne Gefährdung des Brunnens überhaupt durchgeführt werden kann!).
- Der Zustand der Kiesschüttung (Verdichtung, Kolmation, Feinkornanteil) sollte bei geringer Ergiebigkeit und/oder ungleichmäßigen Zuflüssen immer mit ermittelt werden.

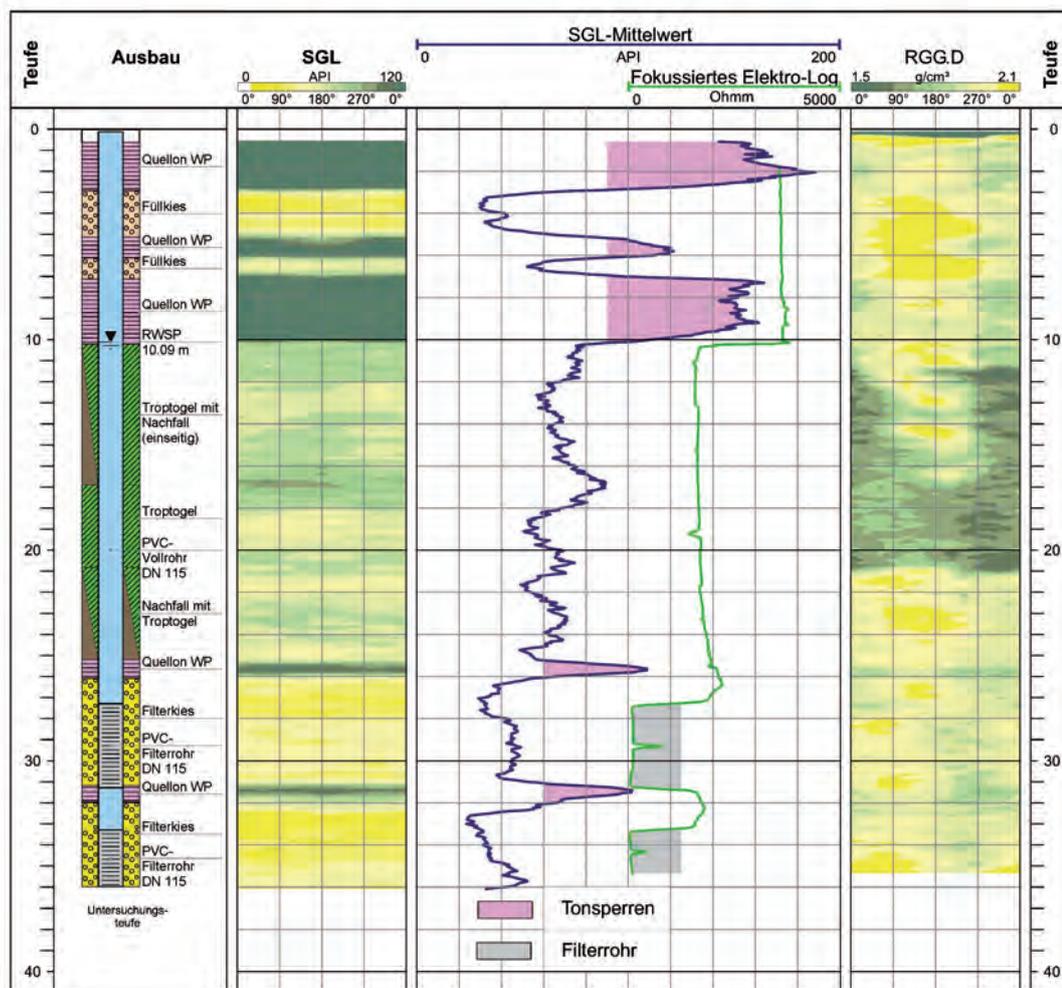


Abb. 8 Beispiel der Kontrolle der Ringraumabdichtung mittels dreidimensional messender Verfahren
 Fig. 8 Example for the control of annular seals using innovative three-dimensional logging-methods

Messbeispiele

An einigen Messbeispielen soll der Einsatz der Bohrlochgeophysik erläutert werden.

Bei der in der Abbildung 7 (s. o.) dargestellten „Brunnenkontrolle“ lässt sich aus der Dichtemesskurve (GG.D – rechte Spalte, ganz links) in der Teufe von 33 bis 45 m ein deutliches Minimum erkennen. Hier ist es beim Schütten der Ringraumverfüllung zu einer Brückenbildung bei etwa 33 m gekommen, was zur Folge hatte, dass die nachfolgenden 12 m unverfüllt blieben. Deutlich lassen sich aus der FEL-Messung (rechte Spalte, ganz rechts) die Minima erkennen. Diese „Spitzen“ sind Indikationen für mögliche undichte Rohrverbindungen. Hier muss ein Packertest zur endgültigen Klärung der hydraulischen Wirksamkeit dieser Rohrverbindungen durchgeführt werden.

Bei der Brunnenüberprüfung, die in der Abbildung 8 zur Darstellung gebracht wurde, kamen die Verfahren „Ringraumscanner“ (RGG.D®) und „Segmentiertes-Gamma-Log“ (SGL®) zum Einsatz. Die Messergebnisse wurden von 0° bis 360° in die Ebene projiziert. Die Farbskala (bei s/w-Abbildungen Graustufung) zeigt beim RGG.D® die Dichte in g/cm³ und beim SGL® die Gammaaktivität in API jeweils über den gesamten Ringraum an. Hierdurch ist es möglich die Ringraumabdichtung räumlich orientiert zu überprüfen. Insbesondere bei der Verwendung von Ton-Zement-Suspensionen lassen sich häufig einseitige „Fehlstellen“ in der Ringraumabdichtung feststellen. Aber auch bei herkömmlich geschütteten Tonsperren kommt es immer

wieder zu unsymmetrischen Fehlstellen, z. T. hervorgerufen durch Nachfall oder nicht zentrisch eingebaute Rohre. Im oberen Beispiel lässt sich eine leichte Exzentrizität des Rohreinbaus in der Aufschlussbohrung mittels des Ringraumscanners feststellen. Die Tonsperren sind jedoch ausreichend homogen geschüttet worden, was sowohl mittels der SGL®-Messung als auch durch den Ringraumscanner ausgewiesen wird. Damit kann ihre hydraulische Wirksamkeit als bewiesen gelten.

In der Abbildung 9 wurde die Wanddicke der Stahlrohre (EMDS – linke Messkurve) mit Hilfe eines elektromagnetischen Verfahrens ermittelt. Dieses Verfahren erlaubt Rückschlüsse auf die Qualität von Stahlrohren, insbesondere den Grad der Durchrostung. Meist werden Rohrkorrosionen bei Kamerabefahrungen viel zu spät erkannt, da die Korrosion der Rohre fast immer von außen nach innen erfolgt, somit sichtbare Korrosionen im Rohr fast immer auf eine bereits erfolgte Durchrostung der Rohre hindeuten. Gerade aber beim Einsatz mechanischer Regenerierverfahren werden die Rohre stark belastet, was bei durch Korrosion vorgeschädigten Rohren schon oftmals zum Verlust des Brunnens, in einigen Fällen auch der kompletten Regenerierungsausrüstung, geführt hat. Im oberen Beispiel lässt sich eine massive Korrosion der Rohre in einer Teufe von 11 bis 14 m erkennen.

Als neues, aber sehr effektives Untersuchungsverfahren hat sich in den letzten Jahren der „Gasdynamische Test“ (Abb. 10) erwiesen. Dieser Test wird in der Regel dann angewendet, wenn aufgrund der vorangegangenen Messungen Zweifel an der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen bestehen. Dabei wird Stickstoff über den Filter (Packer wird an der Filteroberkante abgesetzt; unterhalb des Packers wird Stickstoff verpresst) in den Ringraum gepresst. Der aufsteigende Stickstoff sammelt sich bei einer „intakten“ Ringraumabdichtung unterhalb dieser. Durch Wiederholungsmessungen mit dem Neutron-Neutron-Log (NN) wird der Abbau der Stickstoffblase verfolgt. Um ausschließen zu können, dass der Stickstoff zur Seite abdriftet, können zusätzlich noch Messungen mit dem Ringraumscanner durchgeführt werden. Der aufsteigende Stickstoff verändert hinter den Rohren, durch Verdrängung von Wasser, die Dichte. So bilden sich die Aufstiegsbahnen des

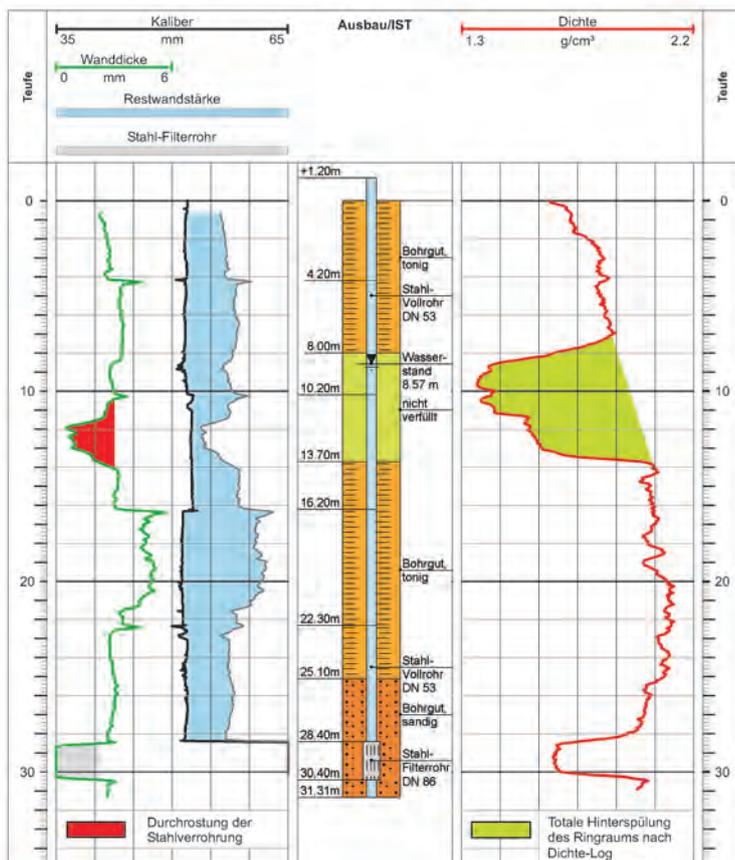


Abb. 9
 Beispiel einer elektromagnetischen Wanddickenmessung (EMDS) der Brunnenrohre
 Fig. 9
 Example of an electromagnetic wall thickness measurement (EMDS) for well-casings

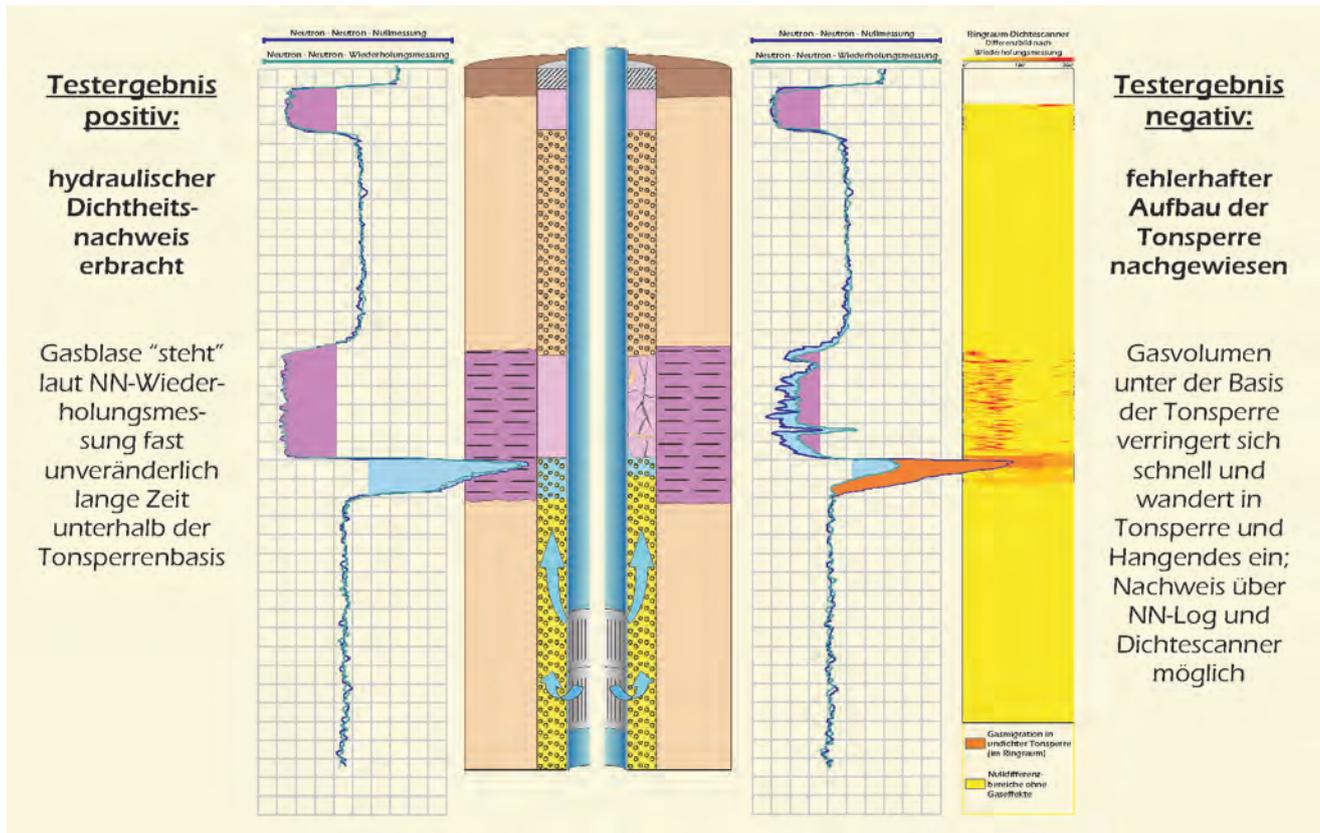


Abb. 10 Prinzipskizze des Gasdynamischen Tests (GDT®)
 Fig. 10 Principle sketch of the gas dynamical test (GDT®)

Stickstoffs auch innerhalb der Ringraumabdichtungen in Form von Dichtereduzierungen ab. Mit diesem Verfahren ist der Direktnachweis der Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen möglich.

Die in Abbildung 11 dargestellten Wiederholungsmessungen mit dem Induktions-Log belegen den Anstieg der Süß-Salzwassergrenze im Gebirge. Voraussetzung für derartige Messungen ist das Vorhandensein einer Messstelle mit Kunststoffausbau. Ein einfaches Kunststoffrohr, auch ohne Filter, würde hierfür ebenfalls genügen. Mit dem Induktions-Log wird die Leitfähigkeit im Gebirge in bis zu einem Meter Entfernung um die Messstelle ermittelt. Erhöht sich die Leitfähigkeit, so ist dies ein Anzeichen für eine Zunahme des Salzgehaltes im Grundwasser. Aus langjährigen Messungen konnte auch festgestellt werden, dass die Grundwasserschichtung in der Messstelle meist erheblich von der im Gebirge abweicht, also Leitfähigkeitsmessungen (SAL/TEMP) im Messstellenrohr nur selten repräsentative Ergebnisse über den tatsächlichen Anstieg des Salzwassers im Gebirge liefern. Die Bestimmung der Süß-Salzwassergrenze über die Entnahme von Proben ist ebenfalls wenig zielführend, da dies nur gelänge, wenn die Messstelle über eine extrem kurze Filterstrecke verfügen würde und die Probe genau zu dem Zeitpunkt entnommen würde, wenn die Grenze exakt im Bereich des kurzen Filters liegt.

4. Einsatzfälle für Bohrlochgeophysik und Fernsondierung bei der Überprüfung von Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden

Die überwiegend komplexen Fragestellungen bei der Überprüfung von Brunnen und Grundwasserstellen bedingen es, dass für deren Beantwortung in der Mehrzahl der Fälle Kombinationen verschiedener Messverfahren (Messprogramme) eingesetzt werden, die speziell auf die Aufgabenstellung zugeschnitten sind. So wird die Auswahl der Messverfahren im Wesentlichen durch folgende Faktoren bestimmt:

- Fragestellung/Aufgabenstellung,
- Anforderungen an die Genauigkeit/Zuverlässigkeit/“Gerichtsfestigkeit“ der Ergebnisse,
- ökonomische Aspekte und betriebliche Belange des Nutzers der Messstelle/des Brunnens,
- Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Ausbaudokumentation und des geologischen Schichtenverzeichnisses (Mitwirkungspflicht des Auftraggebers!),
- Anforderungen/Auflagen zum Schutz des Grundwassers,
- Typ und Art des Ausbaumaterials (elektrisch leitend/elektrisch nicht leitend),
- Typ und Art des verwendeten Materials zur Herstellung von Abdichtungen (magnetische Tone, gammaaktive

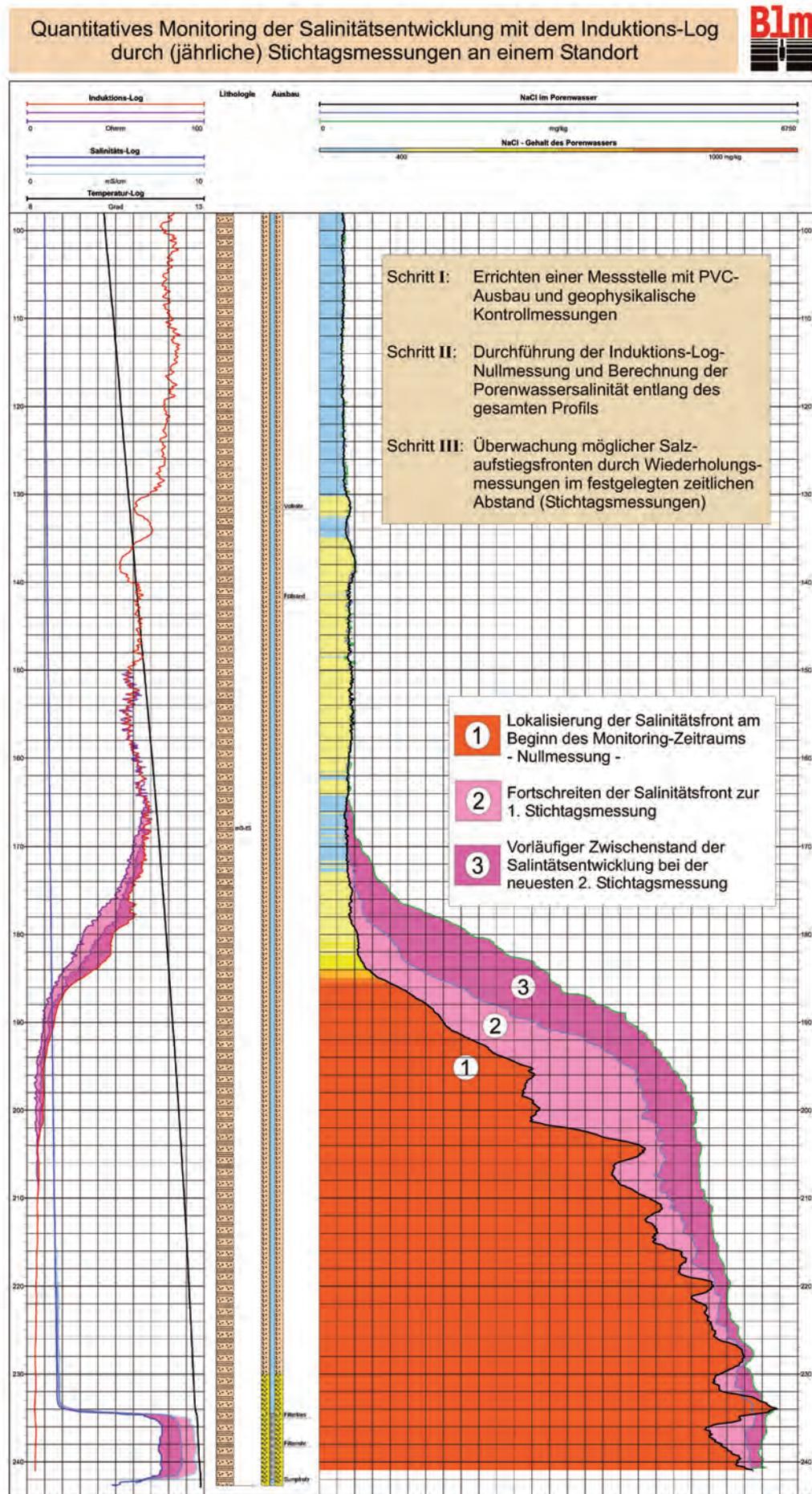


Abb. 11
Süß-/Salzwassermonitoring mittels Bohrlochgeophysik

Fig. 11
Fresh-/salt-water monitoring using borehole geophysics

Tone, nicht markierte Tone, Ton-Zement-Suspensionen) und Technologie der Herstellung der Abdichtung (Schüttung, flüssige Verfüllung mit Suspensionen),

- eingesetztes Bohrverfahren beim Abteufen der Aufschlussbohrung,
- Einsatzbedingungen und -grenzen der einzelnen Messverfahren.

Tab. 1 Häufig verwendete Materialien zur Ringraumabdichtung

Tab. 1 Frequently used materials for annular seals

nachweisfähige Eigenschaft(en)	Bevorzugtes geophysikal. Nachweisverfahren	Bemerkung	Produktbeispiele (Kein vollständiger Handelsname!)	Konsistenz
ferromagnetisch, Dichte	MAL	sehr häufig eingesetzt, ungeeignet bei Stahlrohren	Quellon HD, Wetronit M, Mikolit 300	Kugeln/ Pellets
Dichte, Schallhärte	GG.D, CBL.WB		Zement	Suspension
natürliche Gammastrahlung	GR bzw. SGL [®]		Quellon WP Troptogel C	Kugeln/ Pellets Suspension
Dichte, Wasserstoffgehalt	RGD.D [®] bzw. GG.D	oft auch schwach magnetisch	Compactonit	Kugeln/ Pellets
Wasserstoffgehalt	NN bzw. DNN		Wetronit, Mikolit, Friedländer Blauton	Kugeln/ Pellets
Wasserstoffgehalt	NN bzw. DNN (GG.D, RGD.D [®])		alle anderen nicht markierten Tone	Kugeln/ Pellets
Dichte, Wasserstoffgehalt	NN, GG.D, RGD.D [®]		Brutoplast, Troptogel, Dämmer	Suspension
Natürliche Gammastrahlung	SGL [®] (GR)	Wird überwiegend bei nachträglichen Abdichtungen der Ringräume eingesetzt.	Brutoplast, Troptogel oder Dämmer mit Zirkonsand versetzt	Suspension

(Kein Anspruch auf Vollständigkeit! Keine Vollständigkeit des Handelsnamens!)

Messverfahren:

CBL.WB-	Zement-Bond-Log mit Wellenbildregistrierung
DNN-	Dual-Neutron-Neutron Log
MAL-	Suszeptibilitäts-Log
NN-	Neutron-Neutron-Log
GR-	Gamma-Ray-Log
GG.D-	Gamma-Gamma-Dichte-Log
SGL [®] -	Segmentierte Gamma-Ray-Log
RGD.D [®] -	Dichte-Ringraumscanner-Log

Tab. 2 Einsatz bohrlochgeophysikalischer Verfahren (in Anlehnung an DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2005))

Tab. 2 Use of well-logging procedures (according to DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2005))

1)

++: Messung wird für die jeweilige Aufgabe empfohlen

+: das in den Bemerkungen angegebene Messverfahren ist für die jeweilige Aufgabe aussagefähiger

(+): Messung unter den in den Bemerkungen beschriebenen Bedingungen empfohlen

-: Messung technisch nicht möglich oder nicht sinnvoll

Aufgabe	Verfahren (Abkürzung)	Verrohrung ¹⁾				Bemerkungen/ Anwendungsbedingungen
		Kunststoff		Stahl		
		< DN 100	> DN 100	< DN 100	> DN 100	
Befahrbarkeit der Rohre	Kaliber-Log (CAL)	++	++	++	++	zur Vermeidung von Havarien mit technischen Geräten zwingend erforderlich
	Kamerabefahrung (OPT)	(+)	(+)	(+)	(+)	Identifikation von Fremdkörpern, Ursachenforschung bei Befahrungsschwierigkeiten, Überprüfung der Lage der Filter bei Stahlrohren (sonst FEL), Prüfung von größeren Rohrbeschädigungen, häufig aber wegen Wassertrübe nicht einsetzbar
Teufenlage und räumliche Homogenität von Ringraumabdich- tungen	Gamma-Ray-Log (GR)	++	+	++	+	Tonsperrenachweis nur bei Verwendung gammaaktiv markierter Tone möglich, als Korrekturgröße für GG.D und RGG.D [®] immer erforderlich, ab DN 50 besser SGL [®] einsetzen,
	Segmentiertes Gamma- Ray-Log (SGL [®])	++	++	++	++	Messung der Gamma-Strahlung in mehreren getrennten Segmenten über den gesamten Umfang des Ringraums, dadurch Nachweis der horizontalen Verteilung von Tonen im Ringraum
	Gamma-Gamma- Dichte-Log (GG.D)	++	+	++	+	deutlicher Dichtekontrast zum übrigen Verfüllmaterial notwendig, ab DN 100 (besonders bei Ton-Zement-Suspension) besser RGG.D [®] ,
	Neutron-Neutron-Log (NN)	(+)	(+)	(+)	(+)	einziges (universelles) Nachweisverfahren für nicht speziell markierte Tone, die in älteren Messstellen und Brunnen ausschließlich eingesetzt wurden
	Dichte-Ringraum- scanner-Log (RGG.D [®])	-	++	-	++	Nachweis einer homogenen Verteilung des Abdichtmaterials über den gesamten Umfang des Ringraums (horizontale Ausbildung von Ringraumabdichtungen)
	Magnetik-Log (MAL)	(+)	(+)	-	-	ausschließlich für den Nachweis ferromagnetisch markierter Tone
Überprüfung /Erstellung des geologischen Schichtenverzeich- nisses	Induktions-Log (IL)	++	++	-	-	tief eindringendes Verfahren, somit Informationen über den Ringraum hinaus, auch über dem Grundwasserspiegel einsetzbar
	Gamma-Ray-Log (GR)	++	++	++	++	eindeutige Unterscheidung zwischen Gamma-Strahlung aus dem Gebirge und aus dem Ringraum nur eingeschränkt möglich, da kumulativ registrierend
	Gamma-Gamma- Dichte-Log (GG.D)	++	++	++	++	Sonden mit möglichst zwei Eindringtiefen (Spacing's) verwenden, um so den Einfluss des Ringraums zu ermitteln; bei großen Ringräumen nur eingeschränkt Informationen zum Gebirge gewinnbar,
	Neutron-Neutron-Log (NN)	(+)	(+)	(+)	(+)	nur bei sehr engen Ringräumen für Lithologie einsetzbar, Sonden mit möglichst zwei Eindringtiefen (Spacing's) verwenden
Dichtheit der Muffenver- bindungen und Lage der Filter- strecke	fokussierte Elektro-Log (FEL)	++	++	-	-	gutes Screeningverfahren, aber kein eindeutiger Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Muffenverbindungen, hierzu immer Packertest erforderlich; bei Stahlrohren nur mit EMDS oder OPT exakte Bestimmung der Filterlage möglich,
	Packertest	(+)	(+)	++	++	Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von potentiell undichten Muffenverbindungen/Leckstellen, (im Anschluss an FEL, wenn der Verdacht auf Undichtigkeiten besteht), wichtig für die Dichtheitsprüfung von Stahlrohren
	Kaliber-Log(CAL)	-	-	(+)	(+)	bei geringen Rohrbelägen Bestimmung der Lage der Filter möglich
Nachweis einer ordnungsgemäßen Verfüllung des gesamten Ringraums (Brückenbildung)	Gamma-Gamma- Dichte-Log (GG.D)	++	+	++	+	Nachweis der Ringraumverfüllung kann nur einseitig oder als Durchschnitt über den gesamten Ringraum erbracht werden, alternativ ab DN 100 RGG.D [®]
	Dichte- Ringraumscanner-Log (RGG.D [®])	-	++	-	++	Nachweis einer homogenen Verfüllung über den gesamten Umfang des Ringraums (horizontale Ausbildung von Verfüllungen), Einsatz ab DN 100
Wanddicke/ Durchrostung	elektromagnetische Wanddicken-Log (EMDS)	-	-	++	++	Überprüfung der Restwandstärke (Grad der Durchrostung), nur bei alten Messstellen und Brunnen mit Stahlausbau von Interesse
Richtung und Neigung des Ausbaus	Bohrlochverlaufs-Log (BA)	++	++	(+)	(+)	wichtig wenn Messstelle oder Brunnen überbohrt werden soll, im Stahlausbau nur Neigung, nicht Richtung bzw. nur mit Gyroskop bestimmbar
Zuflussermittlung	Flowmeter-Log (FLOW)	++	++	++	++	Überprüfung des Zuflusses im Filterbereich bzw. Erstellung einer Zuflussprofilierung der Filterstrecke in Ruhe und bei Förderung
Durchlässigkeits- prüfung	Packer-Flowmeter-Log (FWPACK)	++	++	++	++	Durchlässigkeit von Filterrohr und Kiesschüttung im filternahen Bereich
Wasserchemismus	Salinitäts / Temperatur -Log (SAL/TEMP)	(+)	(+)	(+)	(+)	Überprüfung des Wasserchemismus (absolute Salinität, vertikale Schichtung)
Verfolgung der Süß-/ Salzwassergrenze	Induktions-Log (IL)	++	++	-	-	Abschätzung des Wasserchemismus im Porenraum der einzelnen geologischen Abfolgen ("hinter den Rohren"), insbesondere interessant im Vollrohrbereich (Bestimmung der vertikalen Veränderlichkeit der Süß-Salzwassergrenze)
Überprüfung Brunnensumpf	Fernsehsondierung (OPT)	+	+	+	+	optische Überprüfung des Sumpfes auf Auflandungen, bei großer Wassertrübung nicht anwendbar, hier besser SAL/TEMP einsetzen
hydraulische Wirksamkeit von Ringraumabdich- tungen	Gasdynamischer Test (GDT [®])	(+)	(+)	(+)	(+)	Anwendung wenn Mängel hinsichtlich Teufenlage, Mächtigkeit oder Homogenität von Ringraumabdichtungen anhand anderer Verfahren (z. B. MAL, RGG.D [®] , NN, GR, SGL [®]) festgestellt wurden und damit Zweifel an der Dichtigkeit bestehen

Da die bohrlochgeophysikalischen Messverfahren und die im Brunnenbau eingesetzten Materialien und Herstellungsverfahren sehr komplex sind, wird empfohlen, für die Überprüfung von Messstellen und Brunnen möglichst eine Fachfirma schon in die Projektierungsphase mit einzubeziehen.

In Tabelle 1 sind die in Deutschland gebräuchlichsten Materialien zur Abdichtung von Ringräumen zusammengestellt sowie die bohrlochgeophysikalischen Messverfahren, die für ihren Nachweis erforderlich sind.

Die in Tabelle 2 dargestellten Einsatzfälle von Bohrlochgeophysik und Fernsehsondierung können unterschieden werden.

5. Messverfahren

Nachfolgend finden Sie eine Aufstellung der in Brunnen, Grundwassermessstellen und Erdwärmesonden eingesetzten Messverfahren und deren Wirkprinzipien.

SAL/TEMP (Salinität/Temperatur-Log)

Messung der Temperatur und der Leitfähigkeit des Wassers im Brunnen/Messstelle

- zur Bestimmung des Wasserspiegels
- zur Bestimmung der Temperatur und Einschätzung des Mineralisationsgrades des Wasser im Brunnen/Messstelle
- zur Bestimmung von Zufluss- und Verlustbereichen
- Indikationen von Undichtigkeiten an Muffen und Übergängen
- Hinterrohrzirkulationen

OPT (Fernsehsondierung)

Optische Begutachtung der Innenwandungen der Brunnenrohre/Messstelle

- zur Beurteilung des Zustandes der Verrohrungen
- zum Erkennen von Belägen und Ablagerungen
- zum Erkennen von Beschädigungen der Verrohrungen
- zum Erkennen des Zustandes der Filteröffnungen
- zur Feststellung von Korrosionserscheinungen, sofern Korrosion von innen nach außen

CAL (Kaliber-Log)

mechanisches Abtasten der inneren Rohrwandungen

- zur Bestimmung des Rohrinneendurchmessers
- zum Erkennen von Hindernissen, Deformationen oder ähnlichem, zur Vermeidung von Sondenhavarien
- zum Lokalisieren der Rohrverbindungen und der Filterstrecken
- zum Erkennen von Rohrdefekten, -erweiterungen, -verengungen, -ovalitäten und -deformationen
- zum Feststellen von Ablagerungen auf den Innenwandungen der Verrohrung
- zur Volumenberechnung des Brunnens/Messstelle

IL (Induktions-Log)

induktive Messung der elektrischen Leitfähigkeit

- nur bei elektrisch nicht leitendem Ausbau (PVC, Stein- gut, Kiesklebefilter etc.) einsetzbar
- zum Feststellen von elektrischen Anomalien im Ringraum besonders bei großem Bohrdurchmesser
- zur Aushaltung der Lithologie des Gebirges bei kleineren Bohrdurchmessern
- zur Messung des elektrischen Widerstandes des Gebirges, auch oberhalb des Wasserspiegels, insbesondere für die geologische Gliederung des Gebirges
- zur Bestimmung der Wassersättigung von Gebirge und Ringräumen

GR (Gamma-Ray-Log)

Messung der natürlichen γ -Strahlung von Ausbau und Gebirge

- zur Kontrolle des geologischen Profils
- zur Anzeige von Feinkornanteilen im Filterkies
- zum Feststellen von Kolmationen im Filterbereich
- zur Bestimmung der Lage von Tonsperren bei Verwendung gammaaktiver Materialien

SGL® (segmentiertes Gamma-Ray-Log)

Messung der natürlichen Gammastrahlung von Ringraumhinterfüllung und Gebirge in drei ,jeweils um 120° horizontal versetzten Segmenten

- zur Lokalisierung und Abgrenzung von Ringraumabdichtungen
- Überprüfung einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Kontrolle der Wirksamkeit z. B. von Abdichtungen der Ringräume
- zur Gliederung der Lithologie des anstehenden Gebirges
- zur Einschätzung des Gehalts an bindigen Komponenten in der Kiesschüttung
- Einsatz von 50 bis 600 mm Innendurchmesser

GG.D (Gamma-Gamma-Dichte-Log)

Messung der gestreuten γ -Strahlung, die umgekehrt proportional zur Dichteverteilung ist

- zur Einschätzung der Lagerungsdichte im Ringraum (z. B. Brückenbildung)
- zum Tonsperrennachweis
- zur dichteabhängigen Gliederung des anstehenden Gebirges
- zum Erkennen von Rohren abweichender Wandstärke

RG.D® (Dichte- Ringraumscanner-Log)

um 360° rotierende Messung der relativen Dichteänderung im Ringraum

- Nachweis einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Überprüfung der hydraulischen Wirksamkeit von Tonsperren und Filterkieschüttungen

- Überprüfung der Exzentrizität der Rohre
- Einsatz bei Rohrrinnendurchmessern von 100 bis 150 mm (4“ bis 6“)

SGG.D (segmentiertes Gamma- Gamma-Dichtelog)

Messung der Dichte von Ringraumhinterfüllung und Gebirge in zwei, jeweils um 180° horizontal versetzten, Segmenten

- Nachweis einer homogenen Verfüllung des Ringraums, somit exakte Überprüfung der hydraulischen Wirksamkeit von Tonsperren und Filterkiesschüttungen
- Einsatz bei Rohrrinnendurchmessern von 50 bis 100 mm

NN (Neutron-Neutron- Log)

Messung der gestreuten Neutronenstrahlung, die ein Maß für den Gesamtwasserstoffgehalt darstellt

- zum Erkennen von Tonsperren unbekannter Zusammensetzung
- zur Porositätseinschätzung
- zur Bestimmung des Wassergehaltes im Ringraum
- zur Bestimmung der Wassersättigung des Gebirges
- zur Einschätzung des Gehalts bindiger Bestandteile in der Kiesschüttung

MAL (Suszeptibilitäts-Log)

Messung der Magnetisierbarkeit des Materials

- Metallnachweis (verlorene Rohre und Teile, Zentralisatoren, Mantelrohre)
- zum Erkennen von Tonsperren beim Einsatz von magnetisch markierten Abdichtmaterialien (bei nicht metallischem Ausbau)
- zur Gliederung von Hinterfüllmaterial unterschiedlicher Magnetisierbarkeit

FLOW 0 (Flowmeter-Log)

FLOW1

Umdrehungszahl eines Messflügels im Pumpenstrom

- zur Gliederung des Zuflussverhaltens im Filterbereich
- zum Feststellen der Veränderlichkeit der hydrodynamischen Verhältnisse im Brunnen durch den Regenerierungsprozess
- zur Ursachenforschung bei nachlassender Förderung
- zum Erkennen von Fremdzufüssen

FWPACK 1 (Packerflowmeter-Log)

FWPACK 2

Messung des Fluiddurchsatzes im Messquerschnitt eines abgepackerten Flowmeters (Umdrehungszahl Messflügel)

- Einschätzung der Durchlässigkeit der Filterschlitze und des brunnennahen Ringraumes (Kiesschüttung)

FEL (focussiertes-Elektro-Log)

Messung des elektrischen Widerstandes

- Bestimmung der Lage der Filterstrecken

- Kontrolle der Dichtheit der Aufsatzrohre (besonders Muffenverbindungen)
- zur Einschätzung des Zustandes der inneren Rohrwan- dungen (Korrosionserscheinungen, Rohrbeläge, Rohr- verkrustungen - hierzu auch in Metallverrohrungen einsetzbar!)

TFL (Tracer-Fluid-Log)

Beobachtung der Wasserbewegung im Brunnen unter ver- schiedenen Anregungszuständen und bei gezielter Zugabe eines NaCl-Tracers

- besonders geeignet zum Nachweis von Wasserbewe- gungen von geringem Ausmaß sowohl in Ruhe als auch bei Fremdanregung
- zur Einschätzung der dynamischen Verhältnisse im Brunnen
- zur Prüfung auf Leckstellen in den Aufsatzrohren, ins- besondere bei Stahlausbau
- zur Ermittlung der Filtrationsgeschwindigkeit (Grund- wasserfließgeschwindigkeit)

EMDS (Elektromagnetisches Wanddicken-Log)

Messung der Wanddicke von Stahlrohren

- Verfahren zur Bestimmung des Zustandes von Stahl- rohren
- liefert Aussagen zu Leckstellen und Durchrostungen bzw. Rostansatz und Restwandstärke
- liefert Angaben über mehrere teleskopierte Rohrtouren
- quantitative Ergebnisse bis zu einem Innendurchmesser von 500 mm

BA (Bohrlochverlaufs-Log)

kontinuierliche Messung von Azimut und Neigung

- Prüfung, ob Brunnen oder Messstelle lotrecht verläuft
- keine oder nur geringe Neigung eines Brunnens/Mess- stelle als Voraussetzung für das ordnungsgemäße Ein- bringen der Brunnenrohre, der Filterkiesschüttung und der Ringraumverfüllung
- große Neigung als häufige Ursache für Sandeintrag im Filter
- wichtige Information für den Rückbau (Überbohren)

TP (teufenorientierte Probenahme)

Einsatz eines motorischen Probenehmers am Bohrloch- messkabel

- Entnahme teufenorientierter Wasserproben, die herme- tisch gegenüber der Umgebung abgeschlossen werden

Packertest

Einsatz eines Einfach- oder Doppelpackers

- zum endgültigen Nachweis der Dichtheit von Rohrmuf- fenverbindungen
- Einsatz möglichst erst nach FEL-Messung (Screening- verfahren)

FMT (fotometrisches Trübungs-Log)

Einsatz eines Fotosensors zur Messung der Transparenz des Wassers

- Nachweis von Sandeintrag, auch wenn makroskopisch nicht mehr sichtbar
- Messung der Grundwasserfließgeschwindigkeit durch Zugabe eines Tracers (EU-zugelassener Lebensmittelfarbstoff)

FMK (fotometrisches Fließrichtungs-Log)

fotometrische Ermittlung der Fließrichtung in Grundwassermessstellen (Einbohrlochmethode)

- direkte Ermittlung der Fließrichtung in Grundwassermessstellen durch Zugabe eines Tracers (EU-zugelassener Lebensmittelfarbstoff)
- einsetzbar in Messstellen ab DN 80 mm
- möglichst vorher über FMT-Messung Bereiche mit hoher Fließgeschwindigkeit bestimmen
- maximale Einsatztiefe 300 m

MIL (Milieu-Log)

Messung von pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential, Temperatur u. Leitfähigkeit des Wassers

- Ermittlung von Zuflüssen verschiedener Grundwasserqualitäten
- Überwachung von Kontaminationen
- Ermittlung der Qualität von Wässern
- in situ-Monitoring von Grundwassermessstellen und Brunnen

GDT® (Gasdynamischer Test)

Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen über der bohrlochgeophysikalischen Messung von Stickstoffmigrationspfaden

- Test zum Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Ringraumabdichtungen

Zusammenfassung

Bohrungen sowie deren Ausbau zu Brunnen, Messstellen oder Erdwärmesonden, sind ein Eingriff in die Ressource Grundwasser, der bei nicht sachgerechter Ausführung zu Schäden der Güte und Menge des Grundwassers führen kann. Technische Vorschriften und Regeln, insbesondere die vom DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) herausgegebenen Arbeitsblätter und Regelwerke, schreiben einen sehr verantwortungsbewussten Umgang mit unseren als Grundwasser gespeicherten Trinkwasserressourcen vor. Leider ist festzustellen, dass deren Einhaltung von verschiedenen Seiten nicht immer so genau genommen wird. Gerade der in den letzten Jahren entstandene Boom zur Gewinnung regenerativer Energie aus Erdwärme zeigt, dass eine strikte Kontrolle derartiger Baumaßnahmen unverzichtbar ist, wenn wir auch den nachfolgenden Generationen noch nutzbare Grundwasserlagerstätten in ausrei-

chender Menge erhalten wollen. Andernfalls laufen wir Gefahr, dem Problem der allgemeinen Erderwärmung mit der Schaffung eines neuen Problems, nämlich der Schädigung der für die Zukunft so wichtigen Trinkwasserressourcen, beizukommen.

Bei der Abnahme von Brunnen, Grundwassermessstellen und zunehmend auch Erdwärmesonden ist die Bohrlochgeophysik mit ihren für diese Anwendung entwickelten Spezialverfahren, spezialisierten Anwendungen von Einzelverfahren und Verfahrenskomplexen heute unverzichtbar. Deren Bedeutung wird u .a. dadurch unterstrichen, dass der DVGW hierfür ein eigenständiges Arbeitsblatt mit dem Titel „Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen“ herausgegeben hat. Zu den Mindestanforderungen an einen Brunnen, eine Grundwassermessstelle oder eine Erdwärmesonde gehören dabei:

- eine genaue Kenntnis der lithologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der abgeteuften Bohrung,
- das Vorhandensein von Ringraumabdichtungen, sowie deren Korrespondenz mit dem geologischen Schichtenprofil, sofern von dem Bauwerk mehrere Grundwasserleiter erfasst werden,
- der Ausschluss von Brückenbildungen, d. h. von un-gefüllten Bereichen im Ringraum (Brücken im Ringraum sind Havariegefahren!),
- die Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Rohrverbindungen und
- die genaue Kenntnis der Lage der Filterstrecke.

Bei der Überprüfung von Erdwärmesonden sind deren Innendurchmesser von z. T. unter 30 mm für die bohrlochgeophysikalische Kontrolle mit herkömmlichen Sonden nicht geeignet. Einer Forderung zahlreicher Landesbehörden, aus Gründen des Grundwasserschutzes diese auch zu kontrollieren, folgend, werden entsprechend klein dimensionierte Sonden voraussichtlich noch im Jahr 2008 zur Verfügung stehen.

Bei Rückbaumaßnahmen wird sehr häufig vergessen, dass aus Gründen des Grundwasserschutzes und nach dem Stand der Technik (vergl. DVGW-Arbeitsblatt W 135) eine ausschließliche Verfüllung von Brunnen oder Grundwassermessstellen nur dann zulässig ist, wenn hydraulisch wirksame Abdichtungen, z. B. Tonsperren, im Ringraum vorhanden sind. Dies ist mit modernen bohrlochgeophysikalischen Messmethoden, auch bei Altbrunnen oder -messstellen, heute zweifelsfrei feststellbar.

Das Problem des Anstiegs der Süß-/Salzwassergrenze ist in verschiedenen Bundesländern in den vergangenen Jahren sehr akut geworden. Hier bietet die Bohrlochgeophysik eine erprobte, einfache und sehr zuverlässige Möglichkeit, Monitoringsysteme einzurichten.

Summary

Boreholes and the resulting wells, measuring points or borehole heat exchangers are an intrusion into the groundwater resource and an inappropriate execution can result in high damage to quality and quantity of groundwater. Technical regulations and rules, in particular worksheets and rules issued by the DWGW (German association of gas and water e. V.), dictate a responsible use of our groundwater resources. Unfortunately, compliance from various sides is not always as accurate. Especially in recent years the resulting boom for renewable energy from the Earth's heat shows, that a strict control of such constructions is essential for the benefit of groundwater resources for future generations. Otherwise, we will combine the general problem of global warming with the creation of a new problem - the damage to our major water resources.

Geophysical well-logging with its for this application developed special processes, specialized applications and procedures is indispensable for today's analysis of wells, ground water monitoring stations and, increasingly, borehole heat exchangers. The importance is so high that the DVGW has published a separate worksheet, entitled "Geophysical investigations in boreholes, wells and groundwater monitoring stations - compilation of methods and applications". Among the minimum requirements for a well, a groundwater observation point or a borehole heat exchanger are:

- a detailed knowledge of the lithological and hydrogeological conditions in the area of the borehole
- the presence of annular seals, and their correspondence with the geological profile (if more than one aquifer is documented)
- the exclusion of unfilled areas of annular space
- the hydraulic tightness of the casing, in particular the pipe connections
- the precise knowledge of the position of the screens

For the control of borehole heat exchangers their inner diameter of below 30 mm presents a real problem, as suitable tools are not readily available. Nevertheless many state authorities, for reasons of groundwater protection, require a control of these exchangers and small sized tools are in the state of development and can probably be expected in 2008.

It is often forgotten that in term of the deconstruction of wells a refilling is only allowed if hydraulic seals are present in the annular space of the casing (see DVGW-worksheet W 135). These are clearly identifiable by modern borehole-geophysical methods even for older and undocumented wells and observation points.

In various federal countries the problem of the rising fresh-/saltwater-boundary has become very acute in recent years. Well-logging proves to be a simple and very reliable way to monitor the system.

Literatur

- DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2005): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DVGW-Arbeitsblatt W 121 (2002): Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DVGW-Arbeitsblatt W 123 (2001): Bau und Ausbau von Vertikalfilterbrunnen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DVGW-Merkblatt W 124 (2001): Kontrollen und Abnahmen beim Bau von Vertikalfilterbrunnen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DVGW-Arbeitsblatt W 135 (1996): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen. - wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DVGW (2003): Untersuchungen zur Bestimmung von Qualitätskriterien für Abdichtungsmaterialien im Brunnenbau. - Studie, <http://www.dvgw.de/wasser/informationen/frdas-fach/wasserversorgung.html#dichtung>
- BAUMANN, K. (2004a): Geophysikalische Möglichkeiten einer Qualitätssicherung nach W 110. - Schriftenreihe Institut WAR zum Darmstädter Seminar Wasserversorgung 2004, Bd. **158**, Darmstadt
- BAUMANN, K. (2004b): Zustandsermittlung von Brunnen mittels neuer bohrlochgeophysikalischer Messverfahren. - Der Mineralbrunnen, Nr. 02/2004, Genossenschaft Deutscher Brunnen eG, Bonn
- BAUMANN, K., BURDE, B. & CH. LIEBAU (2004): Monitoringmethoden für Wasserwerksstandorte mit Salzwassergefährdung. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 11/2004 und 01/2005, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- BAUMANN, K., BURDE, B. & J. GOLDBECK (2003): Fortschritte der Bohrlochgeophysik bei der Untersuchung von Grundwassermessstellen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 07/2003, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- BAUMANN, K. & W. PUCHERT (2007): Radioaktivität in Brunnen und im Förderwasser – ein Phänomen? - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 6/2007, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

- BAUMANN, K. & M. THOLEN (2001): Mängel an Brunnen und Grundwassermessstellen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 1/2001, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln
- BAUMANN, K., LEWIN, H. G. & L. P. NOLTE (2003): Nachträgliche Herstellung von Ringraumdichtungen als Sanierungsmaßnahme für Brunnen und Grundwassermessstellen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr.3/2003, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln
- BAUMANN, K., THOLEN, M. & C. TRESKATIS (2003): Qualitätskriterien für Abdichtungssuspensionen im Brunnenbau. - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 4/2003, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- BAUMANN, K. & I. PFENNER (2006): Bohrlochgeophysikalischer Nachweis von sekundär eingebrachten Ringraumabdichtungen. - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 7/8/2006, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- FRICKE, S. & J. SCHÖN (1999): Praktische Bohrlochgeophysik. - 254 S., (ENKE im Georg Thieme Verlag), Stuttgart
- NIEHUS, B. (2002): Anforderungen und Problematiken von Abdichtungen in Bohrungen, Messstellen und Brunnen. - bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 3/2002, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln
- NOLTE, L.-P., TEWES, S., & K. BAUMANN (2004): Pflege, Sanierung und Rückbau von Grundwassermessstellen. - bbr Fachmagazin für Wasser- und Leitungstiefbau, Nr. 1 und 2/2004, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- HOUBEN, G. & C. TRESKATIS (2003): Regenerierung und Sanierung von Brunnen. - Oldenbourg Industrieverlag, München

Anschrift des Autors:
Dipl.-Geol. Karsten Baumann
Geschäftsführer der Bohrlochmessung - Storkow GmbH
Schützenstraße 33
15859 Storkow
Telefon 033678-43630; Telefax 033678-43631
baumann@blm-storkow.de;
www.blm-storkow.de