Auf dem Weg zur gläsernen Messstelle: Wie weit ist die Bohrlochgeophysik 2023?

In der bbr-Ausgabe 07-2003 wurden im Artikel „Fortschritte der Bohrlochgeophysik bei der Untersuchung von Grundwassermessstellen" methodische Weiter- und Neuentwicklungen der Bohrlochgeophysik im Zusammenhang mit Messstellenüberprüfungen vorgestellt. Diese Techniken haben sich in der Praxis seitdem vielfältig bewährt und konnten somit für erhöhte Aussagesicherheiten bei der Interpretation und eine breite Akzeptanz im Messstellenbau sorgen. Im folgenden Artikel wird ein Überblick über die aktuellen Möglichkeiten der bohrlochgeophysikalischen Untersuchung von Grundwassermessstellen und deren Notwendigkeit gegeben.

Warum ist die gläserne Messstelle erstrebenswert?

Für die Sicherung der Qualität des Trinkwassers, das in Deutschland jedem Haushalt zur Verfügung steht, ist die Grundwasserüberwachung von maßgeblicher Bedeutung. Wenn Entscheidungen über Flächennutzungen getroffen werden sollen, die potenziell Einfluss auf die Zusammensetzung des Grundwassers haben, müssen diese auf der Grundlage belastbarer Fakten getroffen werden. Hierzu werden aus Grundwassermessstellen in zyklischen Abständen Wasserproben entnommen und je nach Fragestellung analysiert. Wie belastbar sind diese Analyseergebnisse tatsächlich? Neben den Anforderungen an Analyselabors wird im Zusammenhang hiermit auch immer wieder die bauliche Qualität der Grundwassermessstellen in den Fokus gerückt, aus denen die Wasserproben stammen. Die grundsätzlichen baulichen Anforderungen an

Abb. 1 *Messstellengruppe*

Abb.: Bim Storkow

Grundwassermessstellen haben sich dabei in den vergangenen Jahren nicht geändert, sie wurden jedoch nicht immer eingehalten. Entscheidende Kriterien bei Neubauabnahmen ebenso wie bei der Überprüfung von „Altmessstellen“ sind immer wieder die folgenden Punkte [1]:

- Befahrbarkeit der Verrohrungen und Filtersektionen bis zur Endteufe,
- Vorhandensein und Ausbildung der Ringraumabdichtung,
- Homogenität der Ringraumverfüllungen und Ausschluss möglicher „Brückenbildung“,
- Vorhandensein und Zustand der Filterkiesschüttung,
- hydraulische Dichtheit der Aufsatzrohre und zentrischer Einbau in die Bohrung.

Die zu deren Klärung zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden sind inzwischen fester Bestandteil des DVGW-Regelwerks [2, 3, 4, 5, 6]. Gerade im Zusammenhang mit Verordnungen über die Düngung landwirtschaftlich genutzter Flächen haben über den Zustand von Messstellennetzen in den letzten Jahren vermehrt Diskussionen stattgefunden. Denn eine zentrale Problemstellung bei der Flächendüngung ist der Eintrag von Nitrat ins Grundwasser. Auch abseits dieser speziellen Thematik muss Verlass auf die Qualität von Grundwassermessstellen sein. Beispielsweise muss auch im Bereich von Abfalldeponien und ehemaligen Bergbaueinrichtungen sowie sonstigen Industrieanlagen (besonders auch im urbanen Raum) die Entwicklung der Kontamination von Grundwässern zuverlässig dokumentiert werden können. Unabhängig von Gütemesstellen für die Beurteilung der Wasserbeschaffenheit muss auch bei Grundwassermessstellen, die lediglich der Erfassung des Wasserspiegels (Abb. 2) dienen, die korrekte Funktionsweise gewährleistet sein.

Als Grundlage für den fachgerechten Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen dient das DVGW-Arbeitsblatt W121 [2]. Im Vorwort wird hier formuliert: „Erst durch technisch richtig geplante, ausgebaute und betriebene Messstellen sind die heutigen Anforderungen an eine Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit zu erfüllen. Wichtige Qualitätsmerkmale für Grundwassermessstellen sind unter anderem die lange Lebensdauer und die sichere Funktionsweise, insbesondere eine sichere Abdichtung.“ Dieses Arbeitsblatt wird gegenwärtig überarbeitet. Es ist zu erwarten, dass die Anforderungen an neu zu errichtende Grundwassermessstellen noch verbindlicher formuliert werden.

Die Auswahl geeigneter Messstellen auf der Grundlage von Funktions- und Eignungsprüfungen wird im DVGW-Informationsblatt W111 thematisiert [3]. Ein wichtiger Bestandteil der dort besprochenen Funktionsprüfungen sind bohrlochgeophysikalische Messungen. Nur sie liefern insbesondere direkte Informationen zum Aufbau der Ringraumverfüllung. Entsprechende Messverfahren und deren systematische Anwendung wurden im Arbeitsblatt W110 [4], unter anderem bei der Qualitätskontrolle von Grundwassermessstellen, in das DVGW-Regelwerk aufgenommen.

Akzeptanz der Bohrlochgeophysik beim Messstellenbau

Im Zusammenhang mit bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen wurde bereits 2003 in einem bbr-Artikel [1] die Frage gestellt, ob der Zustand der „gläsernen Messstelle“ durch die zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden schon erreicht sei. Klar bejahen konnte man diese Frage damals nicht. Jedoch wurde darauf verwiesen, dass man aufgrund damaliger Entwicklungen im Bereich der Messtechnik auf einem guten Wege sei. 20 Jahre später sind im Bereich der Messtechnik zwar keine gewichtigen Erweiterungen mehr hinzugekommen, allerdings haben sich die zur Verfügung stehenden Verfahrenskomplexe in der verstrichenen Zeit bewähren können. Daraus folgte, dass eine größere Akzeptanz geophysikalischer Untersuchungen im Bereich Brunnen- und Messstellenbau erreicht wurde. Dies gilt sowohl für Neubauabnahmen als auch für bestehende Objekte, deren Zustand nachträglich und teilweise mehrere Jahrzehnte nach ihrer Errichtung überprüft wird (Abb. 3 aus [7]).

Abb. 2 *Permanent installierter Druckdatenlogger zum Messen der Spiegelhöhe des Grundwassers*

Bei den Auswertungen, die von bohrlochgeophysikalischen Fachfirmen vorgelegt werden, handelt es sich um Interpretationen. Die Güte dieser Interpretationen ist maßgeblich von den im Vorfeld der Auswertung vorhandenen Informationen, der Kenntnis der eingesetzten Messtechnik und auch davon abhängig, wie gut bei uneindeutigen Messdaten an bereits vorhandene Präzedenzfälle angeknüpft werden kann. Die gewonnene Routine bei der Auswertung und die stetig wachsende Anzahl an Vergleichsobjekten hat somit in den vergangenen Jahren bis Jahrzehnten zu einer Verbesserung der Aussagesicherheit von geophysikalischen Interpretationen geführt. Dies ist auch bei der Neubewertung von bereits vorhandenen bohrlochgeophysikalischen Daten von Nutzen.

Als weiterer positiver Effekt der angesprochenen größeren Akzeptanz der Bohrlochgeophysik kann auch ein Zugewinn an Kenntnis hierüber bei den ausführenden Bohrfirmen und den überwachenden Ingenieurbüros und Behörden genannt werden. Es ist in diesem Zusammenhang beispielsweise gelungen, bildgebende Verfahren der Bohrlochgeophysik (SGL, RGG.D) zur Untersuchung der Ringraumverfüllung immer weiter als Standard zu etablieren. Die gewachsene Kenntnis hat darüber hinaus in vielen Fällen dazu beigetragen, bei der Erstellung von Leistungsverzeichnissen auf das Zusammenstellen von fachlich sinnvollen, dem Untersuchungszweck angepassten geophysikalischen Messprogrammen zu achten. Dahingehend sind auch die erwähnten DVGW-Arbeitsblätter seit ihrer ersten Veröffentlichung immer weiter angepasst worden.

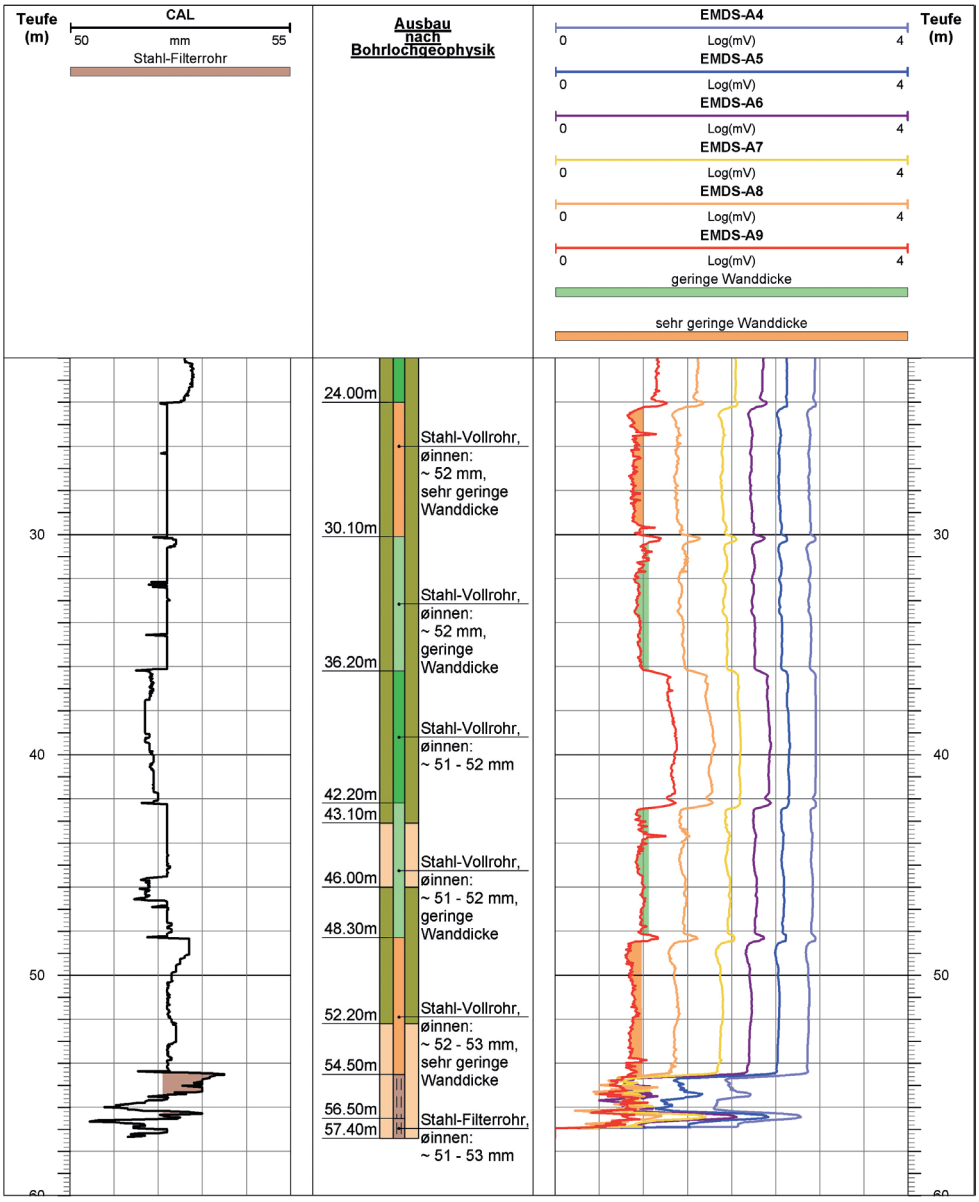


Abb. 3 *Überprüfung des Rohrzustandes einer Altmessstelle mit Kaliber-Log (CAL) und elektromagnetischem Wanddicken-Log (EMDS)*

Geophysikalische Methoden zur Überprüfung von Messstellen

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über bohrlochgeophysikalische Messverfahren gegeben werden, die bei der Überprüfung von Grundwassermessstellen standardmäßig zum Einsatz kommen und entsprechend auch im DVGW-Arbeitsblatt W 110 (A) als Verfahrenskombination zusammengefasst sind. Wenn auch später ersichtlich werden wird, dass vor allem eine zusammenhängende Betrachtung aller Messergebnisse einen wesentlichen Beitrag zur Funktionsprüfung liefert (Abb. 4), soll diese Vorstellung der Verfahren getrennt nach dem primären Untersuchungsgegenstand erfolgen: Verrohrung, Ringraum und hydraulische/hydrochemische Verhältnisse in der Grundwassermessstelle. Die verwendeten Kurzbezeichnungen der Verfahren in den nachfolgenden Abschnitten sind dem DVGW-Arbeitsblatt W 110 (A) entnommen. Die Funktionsweise der eingesetzten Sonden soll nicht detailliert erklärt, jedoch knapp umschrieben werden. Nähere Erläuterungen hierzu können beispielsweise aus „Praktische Bohrlochgeophysik“ [8] entnommen werden.

Überprüfung der Verrohrung

Zur Untersuchung der Verrohrung einer Grundwassermessstelle stehen folgende Messverfahren zur Verfügung:

- TV (Fernsehsondierung): optische Untersuchung mittels Kamera,
- CAL (Kaliber-Log): Abtasten des Rohrstrangs mit mechanischen Armen zur Bestimmung des Rohrinnendurchmessers,
- BA (Bohrlochverlaufs-Log): Bestimmung der Neigung und Neigungsrichtung mittels Inklinometer und Kompass,
- FEL-B (Fokussiertes Elektro-Log, Brunnenvariante): Messung des elektrischen Widerstandes im Bereich der Verrohrung mittels Mehrelektroden-Anordnung,
- EMDS (Elektromagnetisches Wanddicken-Log): Erfassung der Wandstärke von Stahlrohren über die Beobachtung eines transienten Spannungsverlaufs mittels Mehrspulen-System.

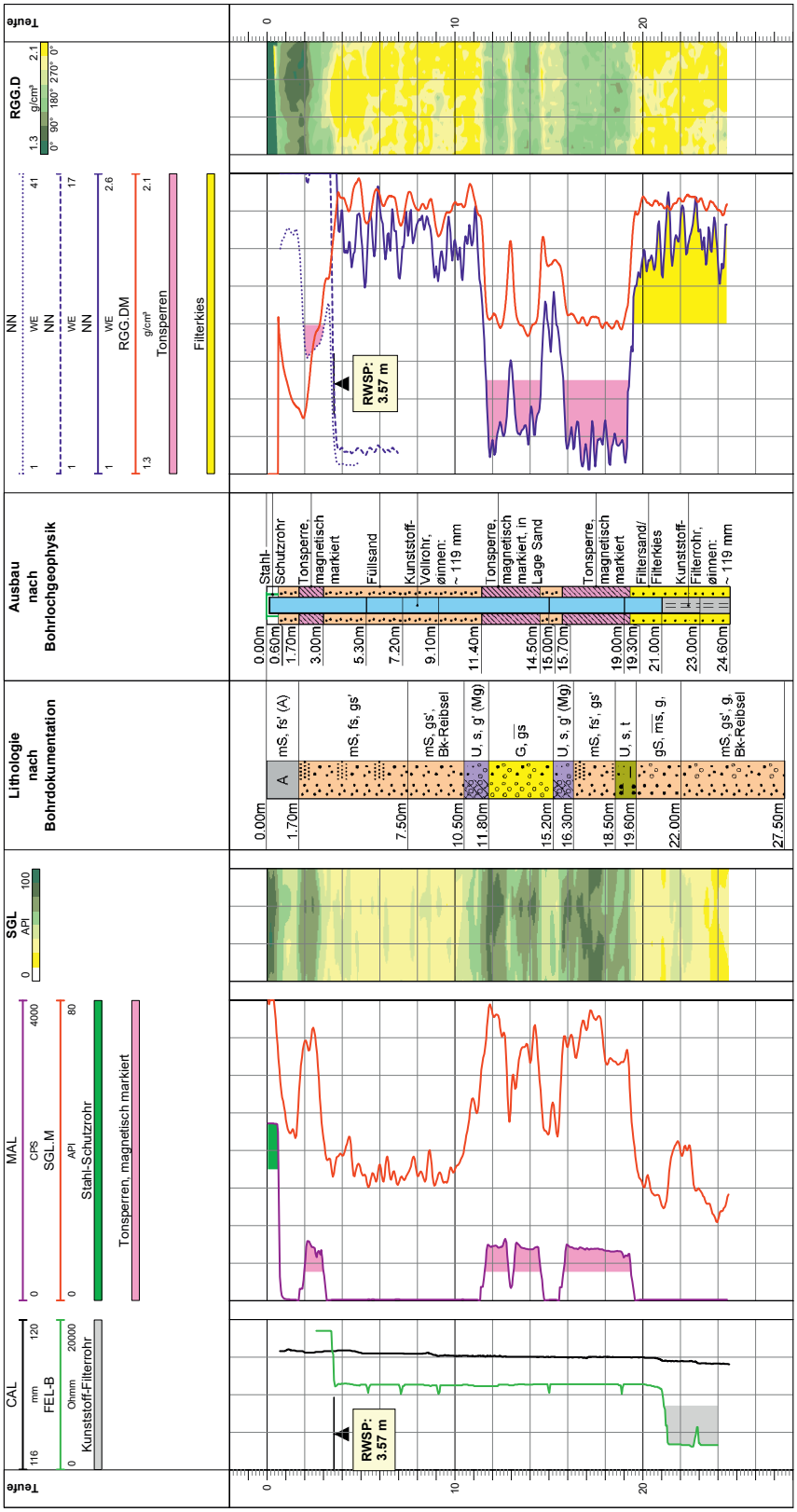


Abb. 4 *Umfassende Untersuchung einer neu errichteten Grundwassermessstelle: Die nach den Empfehlungen des Arbeitsblattes DVGW 110 (A) eingesetzte Verfahrenskombination SGL/RGG.D und NN ermöglicht sowohl für Ringraumabdichtungen als auch für die rolligen Verfüllmaterialien (Sand- und Kiesschüttung) eine eindeutige Lokalisierung und Kontrolle der Homogenität. Mit dem Magnetik-Log (MAL) wurde zusätzlich die produktspezifische magnetische Dotierung der eingesetzten Tonsperre nachgewiesen. Zu den Ergebnissen der drei radiometrischen Messverfahren (SGL, RGG.D, NN) liefert das MAL in diesem Beispiel keine relevanten Zusatzinformationen. Erst SGL und RGG.D zeigen die im Bereich der unteren Tonsperre allseitig vorhandenen Sandlagen. Fokussiertes Elektro-Log (FEL-B) und Kaliber-Log (CAL) liefern Informationen zum Zustand des Rohrstrangs*.*

* Aus Gründen der Lesbarkeit wird diese Grafik, ebenso wie die Abbildungen 10, 11 und 12, im Hochkantformat dargestellt.

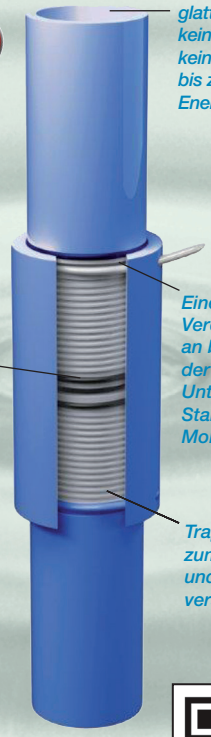
Filter- & Vollwandrohre aus PVC-U nach DIN 4925 mit Gewindeverbindung bis DN 600

JAIN™
Jain Irrigation Systems Ltd.

Wir wünschen allen besinnliche Weihnachtsfeiertage und einen Guten Rutsch ins Jahr 2024.
Besten Dank für Ihr Vertrauen und auf weiterhin gute Zusammenarbeit.

PUMPENSTEIGLEITUNGEN
„Thread Loc Plus“

NEU



glatte Innenwand, keine Gratbildung, keine Erosion, bis zu 10% Energieeinsparung.

100% dichte Verbindung durch 2 O-Ringe in jedem Kupplungsstück.

Eine spezielle Verdrehsicherung, an beiden Enden der Kupplung zur Unterbindung des Start- und Stopp Moments.

Trapezgewinde zum schnellen und leichten verschrauben.

Hydropipe
Vertriebsgesellschaft m.b.H.

Büro & Verwaltung: 5082 Grödig • Oberfeldstraße 4
Zentrallager: 5412 Puch • Riesbachstraße 5 & 14
Tel. +43 (0) 62 46 / 744 31- 0 • Fax DW 17
office@hydropipe.at • www.hydropipe.at

Abb. 5 Aktiver Wassereintritt über undichte Rohrverbindungen oberhalb des Wasserspiegels

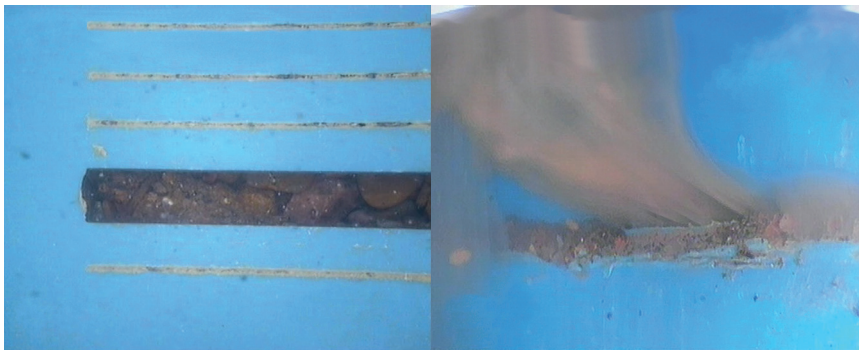


Abb. 6 Herausgebrochener Filterschlitzsteg; Trübungseintrag über Rohrleckage

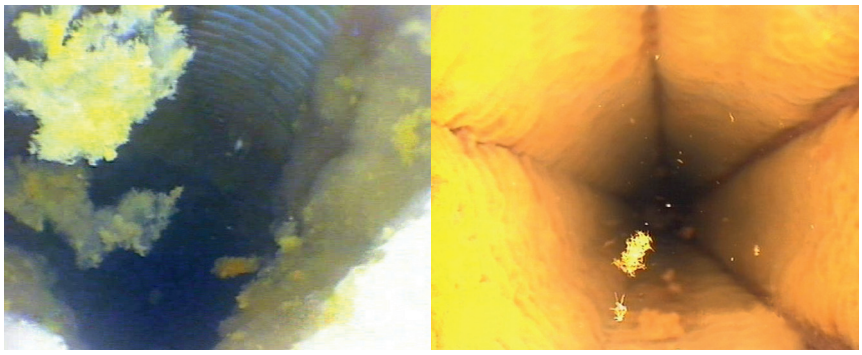


Abb. 7 Biogene Verschleimungen im Filterbereich einer GWM

Anhand des optischen Eindrucks vom Zustand der Verrohrung, der mittels TV ersichtlich wird, sind erste Einschätzungen der Messstelle möglich. So können mit einer Fernsehsondierung aktive Grundwasserzutritte ins Innere des Rohrstrangs (Abb. 5 und 6), offensichtliche Rohrschäden und Ablagerungen an Voll- und Filterrohren (Abb. 7) erkannt werden. Insbesondere bei älteren Bestandsobjekten ist auch mit dem Auftreten von Fremdkörpern (Abb. 8) zu rechnen, die mittels TV erkannt werden können.

Die Auswirkung von Fremdkörpern auf den frei befahrbaren Rohrquerschnitt, die Mächtigkeit von Ablagerungen und ggf. auch die räumliche Ausdehnung von Beschädigungen können mithilfe des Kaliber-Logs (CAL) quantifiziert werden. Insbesondere bei Altmessstellen können Rohrbeläge auch Auswirkungen auf andere Messverfahren haben (Abb. 9).

Bei mangelhafter Dokumentation von Altmessstellen können mittels CAL auch vorher unbekannte Durchmesseränderungen festgestellt werden. Aber auch bei Neubauabnahmen, bei denen im Regelfall keine Komplikationen auftreten, ist eine CAL-Messung generell empfehlenswert. So können beispielsweise vom Rohrtyp und Material abhängige Durchmesserdifferenzen erkannt und beziffert werden.

Das BA-Log ist insbesondere bei tieferen Grundwassermessstellen als sinnvolle Ergänzung des Messprogramms zu empfehlen. Wird im Vorfeld des Messstellenbaus die entsprechende Aufschlussbohrung geophysikalisch untersucht, kann ein BA-Log Informationen darüber liefern, ob die Verrohrung zentrisch eingebaut und anschließend die Ringraumverfüllung problemlos erfolgen kann. In ausgebauten Messstellen kann die Kenntnis der Neigung eine wichtige Zusatzinformation bei der Bewertung der Lage des Rohrstrangs im Bohrloch sein. Sollte eine Eignungsprüfung zu dem Ergebnis führen, dass eine bestehende Grundwassermessstelle zurückgebaut werden muss, liefert das BA-Log wichtige Informationen für die Entscheidung über das Rückbaukonzept. Darüber hinaus darf auch die Beanspruchung der Rohrverbindungen durch übermäßige Biegung der Rohre bei Neigungsänderungen des Bohrlochs und der damit möglicherweise verbundenen Undichtigkeit von Rohrverbindungen nicht unterschätzt werden [9].

Die FEL-B-Messung ist bei elektrisch nichtleitenden Rohrmaterialien ein Standardverfahren für die Neubauabnahme von Grundwassermessstellen. Ein gleichbleibendes, hohes Niveau des hier gemessenen elektrischen Widerstandes (Abb. 4) zeugt dabei gesichert von der hydraulischen Dichtheit der verbauten Vollrohre und ihrer Rohrverbindungen unterhalb des Wasserspiegels. Sollten an diesen Verbindungen lokale Verringerungen des Widerstandes auftreten, gestaltet sich die Beantwortung der Frage nach der hydraulischen Dichtigkeit jedoch weniger einfach. Denn das FEL-B ist ein sogenanntes Screeningverfahren und als solches wenig spezifisch. Elektrische Anomalien sind daher nur als erster Hinweis auf mögliche hydraulische Undichtigkeiten zu werten. Eine lokale Verringerung des elektrischen Widerstandes kann beispielsweise auch auf Restfeuchte vom Verschrauben der Rohre oder auf das Vorhandensein elek-

Abb. 8 Mehrere Fremdkörper am Boden einer GWM

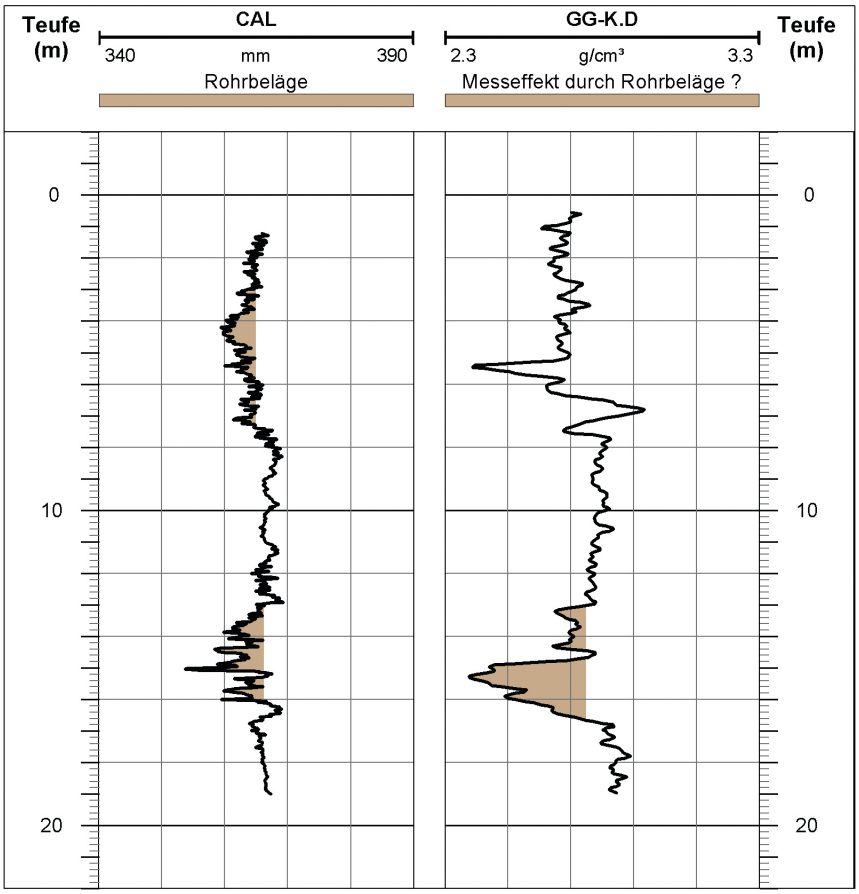


Abb. 9 *Messeffekte durch Rohrbeläge im Kaliber- und Gamma-Gamma-Dichte-Log [7]*

trisch leitender Gleitmittel an den Rohrverbindungen zurückzuführen sein.

Eine sichere Überprüfung der hydraulischen Dichtheit des Aufsatzrohrstrangs ist letztendlich nur mithilfe eines Packertests (PA-T) möglich. Hierzu wird der Rohrstrang mithilfe eines pneumatischen Packers abgesperrt. Im Anschluss an das Setzen des Packers werden die zu überprüfenden Rohrverbindung einer Zusatzbelastung unterzogen. Dies kann entweder durch das Abpumpen oder das Auffüllen von Wasser erfolgen. Bleibt nach einem ausreichend langen Beobachtungszeitraum (in der Praxis meist ca. 20 Minuten) der somit eingestellte Wasserspiegel konstant, so können die verbauten Vollrohre als hydraulisch dicht bewertet werden. Veränderungen des Wasserspiegels können hingegen als Nachweis von Rohrleckagen angesehen werden. Rohrverbindungen gelten nach dem bisherigen Arbeitsblatt W 121 als dicht, wenn während des Packertests innerhalb von 10 Minuten keine Wasserspiegelveränderung festzustellen ist. Als Messgenauigkeit für die Bestimmung des Wasserspiegels haben sich ±1 cm in der Praxis etabliert. Welchen Differenzdrücken die Rohrverbindung einer Grundwassermessstelle mindestens standhalten sollte, ist bisher nicht in Regelwerken festgehalten, aber eine wichtige Kenngröße für die Planung neuer Grundwassermessstellen. Hier ist eine Abschätzung der zu erwartenden Differenzdrücke durch den späteren Betreiber der Grundwassermessstellen vorzunehmen, um die entsprechenden Anforderungen insbesondere an die Rohrverbindungen zu definieren.

Das Elektromagnetische Wanddicken-Log (EMDS) wurde für Rohrstränge aus Schwarzstahl entwickelt und kommt daher bei Neubaumessstellen kaum zum Einsatz. Umso wichtiger ist es bei der Untersuchung von Altmessstellen und Altbrunnen, wie im Artikel „Brunnen und Pegel als Altlasten" [7] ausgeführt wurde (Abb. 3). Prinzipiell ist jedoch auch eine Anwendung bei Neubauabnahmen von Grundwassermessstellen denkbar, da beispielsweise auch hinter Kunststoff- oder Edelstahlrohren befindliche Stahl-Sperrrohre mithilfe von EMDS-Messungen detektiert und auf ihren Zustand hin untersucht werden können.

Überprüfung des Ringraums

Der Ringraum einer Grundwassermessstelle kann mithilfe folgender Messverfahren geophysikalisch untersucht werden:

- GR (Gamma-Ray-Log)/SGL (Segmentiertes Gamma-Ray-Log): Erfassung der Gammaeigenstrahlung integral über den gesamten Rohrumfang oder bildgebend segmentiert in drei unterschiedlichen, um jeweils 120 Grad versetzten Spuren,
- NN (Neutron-Neutron-Log): Emission von Neutronenstrahlung mit einer radioaktiven Quelle und Detektion der vom Ringraum transmittierten Neutronen-Rückstrahlung, welche maßgeblich vom Wassergehalt bestimmt wird,
- GG.D (Gamma-Gamma-Dichte-Log): Emission von Gammastrahlung mit einer radioaktiven Quelle und Detektion der vom Ringraum transmittierten Gamma-Rückstrahlung aus welcher die Lagerungsdichte bestimmt werden kann,
- RGG.D (Dichte-Ringraumscanner-Log): Durchführung einer 360 Grad rotierenden GG.D-Messung zur bildgebenden Untersuchung der Lagerungsdichte (18 Messpunkte über den gesamten Azimut),
- MAL (Magnetik-Log): Feststellung der magnetischen Suszeptibilität des Ringraummaterials mithilfe von Spulensystemen oder elektromagnetischen Schwingkreisen.

Die drei Messgrößen Gammaeigenstrahlung, Porosität/Wassergehalt und Lagerungsdichte bzw. die zugehörigen radio-

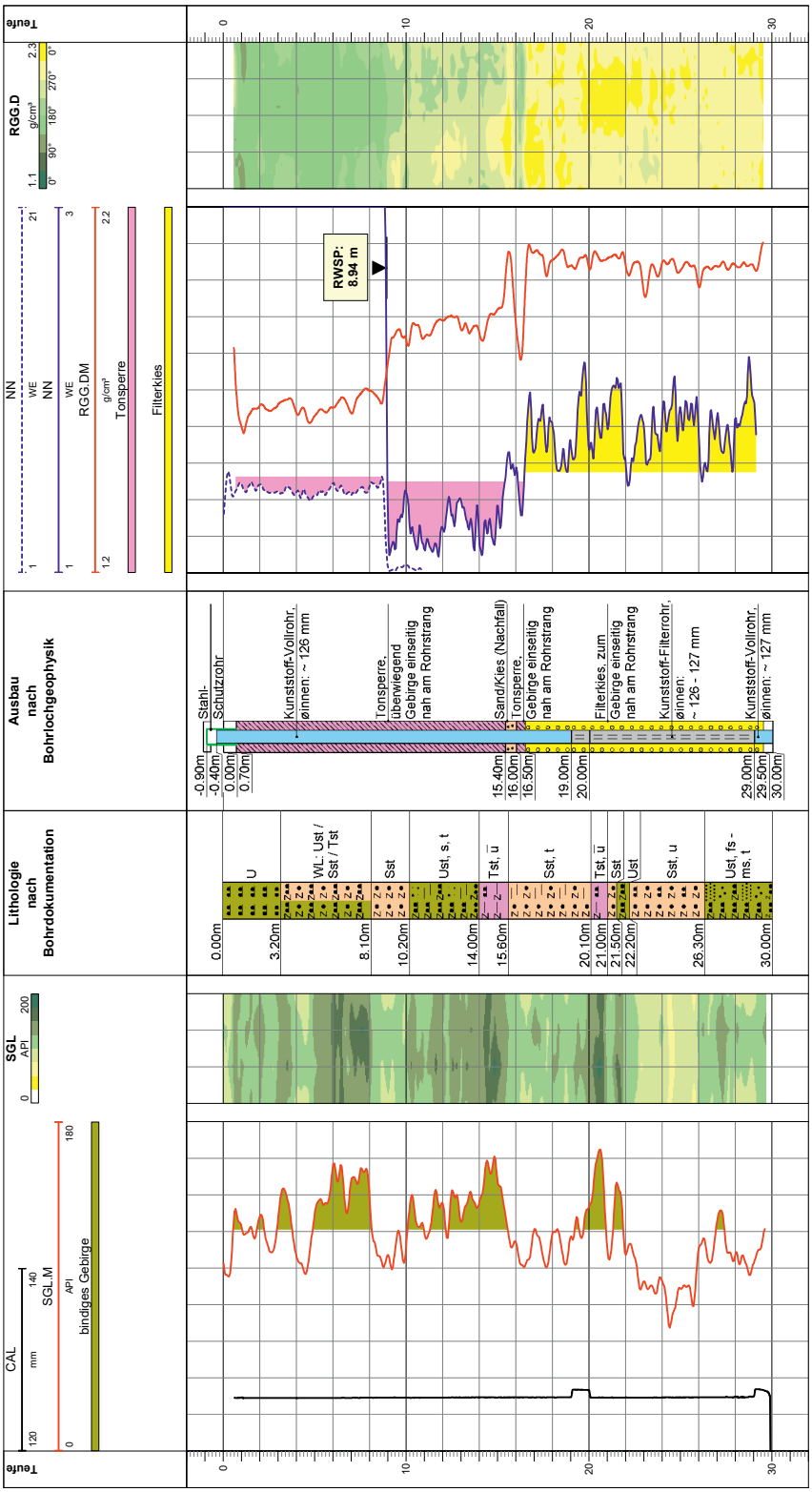


Abb. 10 *Untersuchung einer im Festgestein ausgebauten Grundwassermessstelle: Der Verlauf des SGL korreliert im vorliegenden Fall sehr gut mit dem Schichtenverzeichnis[1].*

metrischen Messverfahren GR/SGL, NN und GG.D/RGG.D haben sich als Standard für die bohrlochgeophysikalische Untersuchung der Ringraumverfüllung im Rahmen von Messstellenneubauabnahmen durchgesetzt. Dabei ist die Kombination der Messverfahren notwendig, um Mehrdeutigkeiten in der Interpretation möglichst auszuschließen. Für eine detailliertere bildgebende Untersuchung sind das SGL und das RGG.D einzusetzen.

Werden alle drei Messgrößen möglichst bildgebend erfasst, wird hierdurch auch der Gebrauch von kostenintensiveren markierten Verfüllbaustoffen zur Abdichtung (ferromagnetisch oder gammaaktiv markiert) nicht erforderlich gemacht. Voraussetzung für eine gute Nachweisbarkeit der unterschiedlichen Verfüllbaustoffe ist eine ausreichende Dimensionierung des Verhältnisses von Bohrungs- zu Verrohrungsdurchmesser entsprechend den Vorgaben im DVGW-Arbeitsblatt 121 [2], also ein ausreichend mächtiger Ringraum zwischen Verrohrung und Gebirge. Je geringmächtiger der Ringraum wird, desto stärker wird der Einfluss des Gebirges auf die radiometrischen Messverfahren. Dies kann im Falle der Gammaeigenstrahlung bei älteren Objekten zwar von Nutzen sein, da sich hierdurch lithologische Schichtgrenzen zumindest grob nachvollziehen lassen (Abb. 10). Jedoch führt ein zu starker Gebirgseinfluss bei allen radiometrischen Messungen schlussendlich dazu, dass keine gesicherten Aussagen zum Ringraum der untersuchten Messstelle getroffen werden können. Abbildung 11 zeigt Messergebnisse aus einer Neubaukontrolle, bei der aufgrund des sehr schmalen Ringraums nur anhand eines Magnetik-Logs die Tonsperre (ferromagnetisch markiert) im Ringraum nachgewiesen werden konnte.

Die magnetische Dotierung, die zur Erleichterung des Tonsperren-Nachweises angedacht war, ist hier für die Ringraumansprache aufgrund des zu geringen Bohrdurchmessers auch erforderlich. Dabei ist jedoch prinzipiell zu beachten, dass allein anhand einer einzelnen physikalischen Messgröße, hier das MAL, keine eindeutige Bewertung der Ringraumverfüllung erfolgen kann. Bei der nachträglichen Verfüllung mit magnetisch oder

1 RGG.D und NN sind hingegen nicht wesentlich vom Gebirge beeinflusst, da der Bohrdurchmesser im Verhältnis zum Rohrdurchmesser (nach CAL sehr gleichmäßig) ausreichend groß gewählt wurde. Bedingt durch die leicht exzentrische Rohrlage ergibt sich im Bereich von 9 -bis 16 m ein zweigeteiltes Bild im RGG.D.

Eine sichere Überprüfung der hydraulischen Dichtheit des Aufsatzrohrstrangs ist letztendlich nur mithilfe eines Packertests (PA-T) möglich.

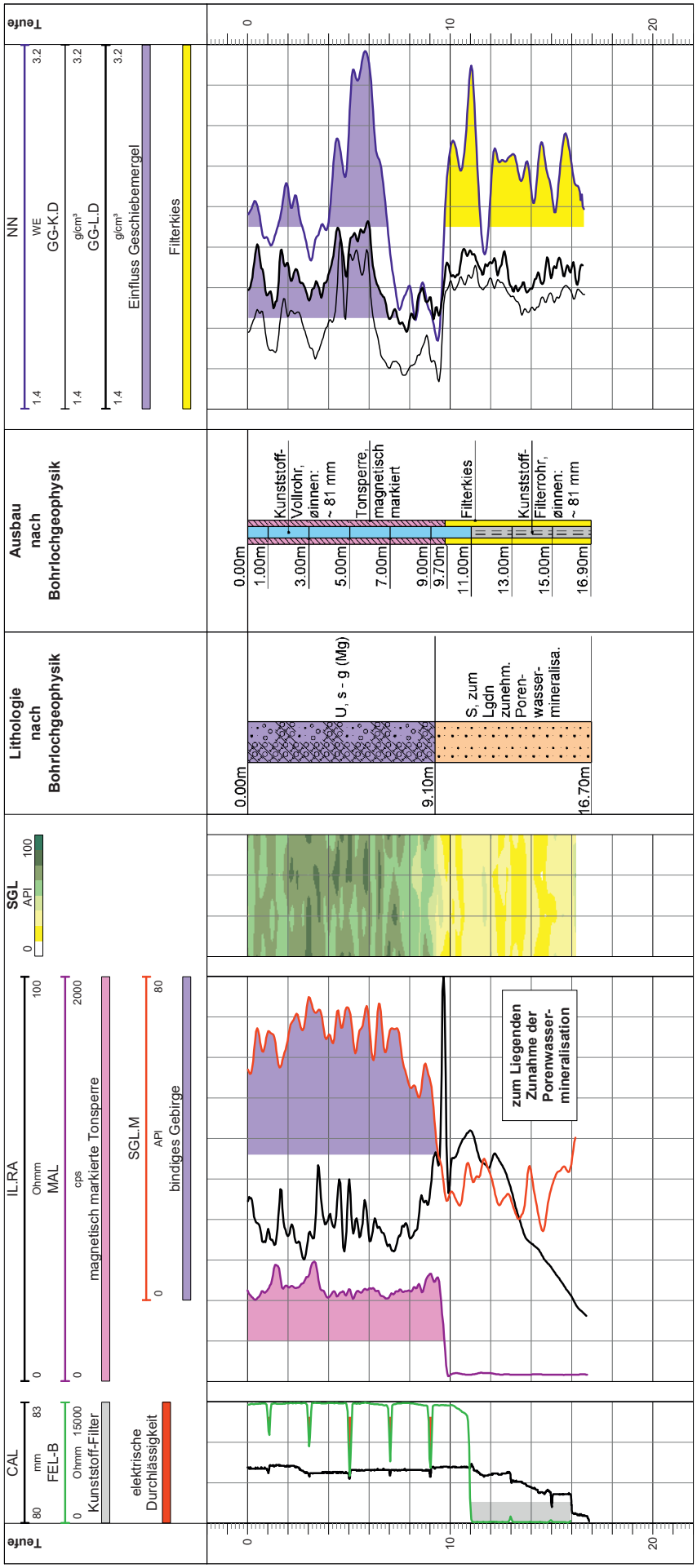


Abb. 11 *Die DN 80 Grundwassermessstelle wurde mit einem sehr schmalen Ringraum (Bohrdurchmesser deutlich kleiner 200 mm) realisiert. Die im Ringraum geschüttete Tonabdichtung lässt sich aufgrund des nahen sehr dominanten Geschiebemergels anhand der radiometrischen Verfahren SGL / GG und NN nicht sicher nachweisen[2].*

gammaaktiv dotierten Tonen oder Ton-Zement-Suspensionen ist neben der Kombination der drei Messverfahren auch eine vorangegangene Nullmessung notwendig. Dabei ist zu beachten, dass bei magnetischer Dotierung, die nur bei elektrisch nichtleitendem Ausbau sinnvoll ist, zusätzlich zu den drei beschriebenen Messverfahren das MAL notwendig ist.

Soll ein dotiertes Material für die Ringraumabdichtung zum Einsatz kommen, ist seitens des späteren Messstellenbetreibers der Zweck der Grundwassermessstelle zu berücksichtigen. Sofern in zyklischen Abständen geophysikalische Widerstandsmessungen mittels Induktions-Log (IL) zum Zwecke des Salzwassermonitorings [10] erfolgen sollen, ist von der Verwendung magnetisch dotierter Abdichtungsmaterialien abzusehen.

Es ist bereits erwähnt worden, dass sich mittlerweile auch bildgebende Verfahren der Bohrlochgeophysik für die Neubauabnahmen von Grundwassermessstellen durchsetzen konnten. Vollumfänglich trifft dies auf das Segmentierte Gamma-Ray-Log (SGL) zu. Dieses fand bereits vor 20 Jahren Erwähnung [1]und ist inzwischen ein Standardverfahren. Gegenüber der integralen GR-Messung liefert es den Vorteil, die geometrische Situation aufgrund der drei um jeweils 120 Grad versetzten Spuren erfassbar zu machen. Dadurch kann auch eine mögliche Exzentrizität der eingebauten Verrohrung festgestellt werden. Sofern im Vorfeld des Messstellenbaus eine geophysikalische Aufschlussmessung stattgefunden hat [11], empfiehlt es sich immer, zumindest die GR-Messung zum Vergleich mit der SGL-Messung in der ausgebauten Messstelle heranzuziehen.

Eine noch genauere Bewertung der radialen Verteilung der Ringraumverfüllung ist mithilfe des Dichte-Ringraumscanner-Logs (RGG.D) möglich. Eine rotierende Messung der Lagerungsdichte über eine große Anzahl von Messpunkten (18 Messpunkte über den gesamten Azimut) hilft nicht nur dabei, die geometrische Situation in analoger Weise zur SGL-Messung einzuschätzen. Es ist mithilfe

2 Ihr Vorhandensein zeigt sich lediglich im Magnetik-Log. Aussagen zur radialsymmetrischen Homogenität sind mit dem Magnetik-Log nicht möglich. Durch CAL und FEL-B kann der Rohraufbau bestimmt werden. Das FEL-B zeigt ausgeprägte Widerstandminima, die auf mögliche undichte Rohrverbindungen hindeuten. Dies ist im Anschluss mithilfe von Packertests zu klären. Die Lithologie nach Bohrlochgeophysik wurde nach IL.RA und den radiometrischen Messverfahren bestimmt.

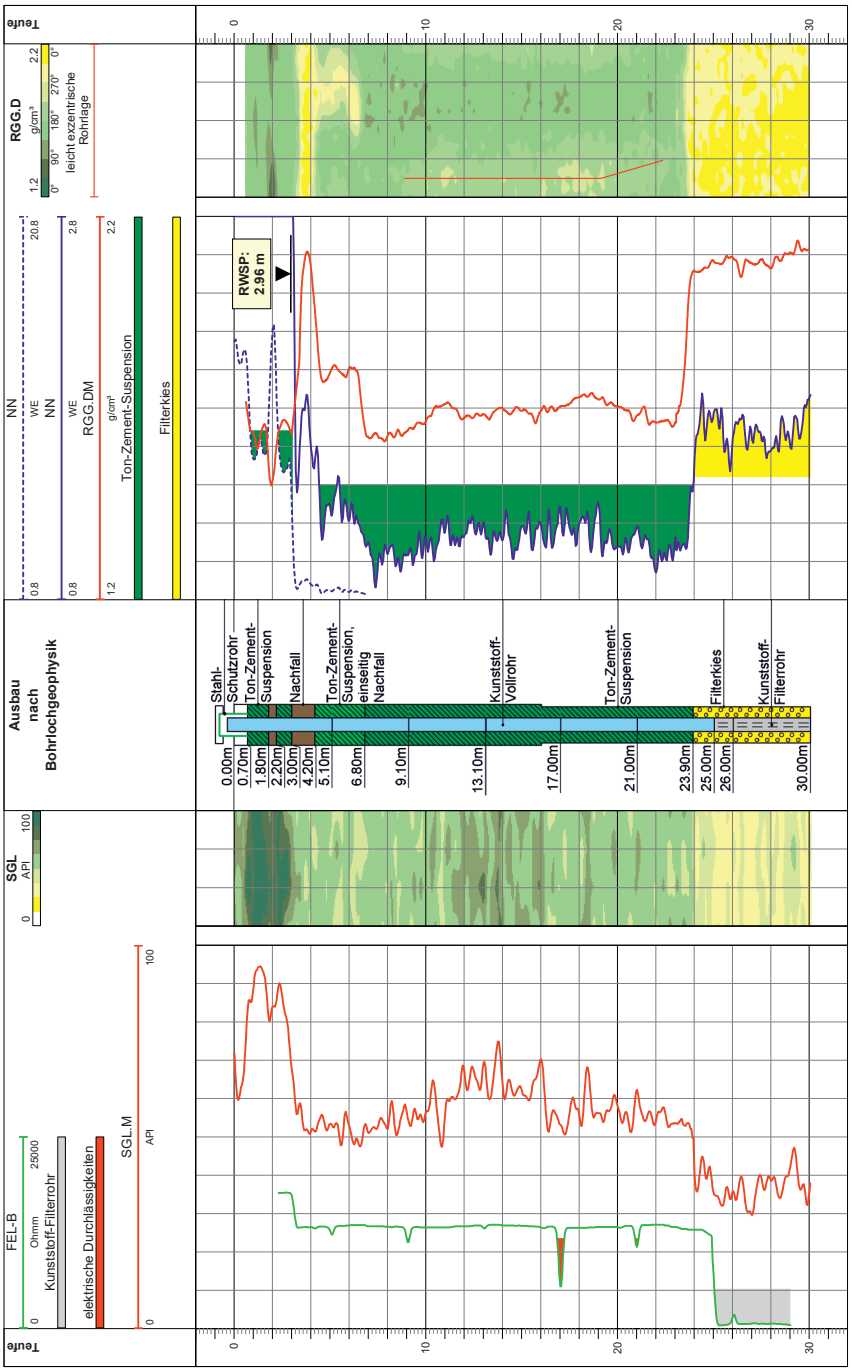


Abb. 12 *Neubauabnahme einer Grundwassermessstelle mit mehreren Auffälligkeiten*

des RGG.D auch möglich, einseitig auftretende Verfüllungslücken oder sandige Beimengungen in Tonsperren eindeutig zu identifizieren. Dies ist mit einer konventionellen Gamma-Gamma-Dichte-Sonde selbst dann nicht sicher zu gewährleisten, wenn mehrere gegeneinander versetzte Messfahrten realisiert werden. Das ist damit zu begründen, dass dieser Sondentyp an die Rohrwandung angedrückt gefahren werden muss. Aufgrund ihres Gewichts wird die Sonde bei ausreichend großer Neigung des Rohrstrangs auch dann immer wieder in dieselbe Spur „gezwungen", wenn sie oben versetzt zur vorherigen Messung eingefahren wird. Die RGG.D-Messsonde mit ihrem rotierenden Empfänger wird hingegen zentriert in den Rohrstrang eingefahren.

Als Standardverfahren bei der Messstellenkontrolle kann das RGG.D-Log noch nicht bezeichnet werden, auch wenn es ebenfalls bereits vor 20 Jahren [1] zur „gläsernen Messstelle" vorgestellt wurde. Die letzten Jahre der praktischen Arbeit zeigen jedoch eine zunehmende Nachfrage nach diesem Messverfahren. Im nachfolgenden Abschnitt soll anhand eines Praxisbeispiels illustriert werden, dass diese Entwicklung als ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur „gläsernen Messstelle" zu sehen ist.

Bohrlochgeophysikalische Verfahrenskomplexe in der Praxis

Die einzeln gestellten Fragen an die Bohrlochgeophysik können nicht als voneinander losgelöst betrachtet werden. Nur eine sinnvoll erstellte Kombination von Messverfahren, die auch als Verfahrenskomplex bezeichnet wird, kann die Messstelle als Einheit bewerten und somit einen Beitrag zur Einschätzung der Funktionsfähigkeit leisten. Die in Abbildung 12 gezeigten Ergebnisse der Neubauabnahme einer zu einer Messstellengruppe gehörigen Grundwassermessstelle liefern hierfür ein prägnantes Beispiel.

Mit der Verfahrenskombination SGL/NN und RGG.D erfolgte die Untersuchung der Ringraumverfüllung. Dabei wurde die als Ton-Zement-Suspension ausgeführte Ringraumabdichtung oberhalb von 23,9 m nachgewiesen. Sie weist im Vergleich mit dem Filterkies eine geringere Dichte, einen hohen Wassergehalt (niedrige NN-Messwerte) sowie eine leicht erhöhte Gammaeigenstrahlung auf. Es zeigten sich dabei jedoch mehrere Auffälligkeiten. Zum einen ist eine leichte Exzentrizität des Rohrstrangs im Bohrloch erkennbar. Zum anderen konnte im Nahbereich des Wasserspiegels Nachfall nachgewiesen werden, der einseitig mehrere Meter in die Ton-Zement-Suspension eingedrungen war. Es ist davon auszugehen, dass der Suspensionsspiegel zum Zeitpunkt des Nachfalls nur bis zum Wasserspiegel reichte. Der Ringraum wurde nachträglich noch oberhalb des Nachfalls verfüllt. Der geophysikalische Befund lässt somit einen Rückschluss auf den Bauablauf zu. Die Funktionstüchtigkeit der Ringraumabdichtung als Ganzes muss weder von der Exzentrizität noch von der Vermengung der Suspension mit Nachfall beeinträchtigt werden. Es war jedoch zusätzlich ein Hinweis auf eine mögliche Rohrleckage nach FEL-B vorhanden. Obwohl sich die betroffene Rohrverbindung im Bereich der Ringraumabdichtung befand, wurde mit einem Packertest ein Wasserverlust nach dem Auffüllen festgestellt. Demnach muss die Ringraumabdichtung zumindest im Bereich der Leckage unzureichend sein.

Eine Nachbarmessstelle, welche ebenfalls nach FEL-B mögliche Rohrleckagen

jedoch keine radiale Inhomogenität der Lagerungsdichte nach RGG.D zeigte, war hingegen nach Packertestbefund hydraulisch dicht. Somit kann geschlussfolgert werden, dass bei einseitiger Lage des Rohrstranges an der Bohrlochwand die Ton-Zement-Suspension nicht den Fremdwasserzutritt über undichte Rohrverbindung verhindert.

Die hier besprochene Messkampagne zeigt, dass mit zunehmender Zahl untersuchter Messstellen immer bessere Interpretationen der durch die Messungen sichtbar gewordenen Phänomene möglich sind und die „gläserne Messstelle" dadurch in immer greifbarere Nähe rückt.

Fazit und Ausblick

Über 20 Jahre ist es her, dass in der bbr ein Artikel mit dem Titel „Die ‚gläserne' Messstelle: Fortschritte der Bohrlochgeophysik" erschienen ist. Zeit, einmal zu resümieren, was hiervon noch aktuell ist und welche Erfahrungen mit den im Artikel beschriebenen Messverfahren gewonnen wurden, wie weit sie noch aktuell sind oder ob es gänzlich neue Entwicklungen gibt. An der Aktualität und Notwendigkeit von Messstellenüberprüfungen hat sich nichts geändert. Dies belegen die gerade die in jüngster Zeit zunehmenden Streitigkeiten über die Zuverlässigkeit von Grundwassermessstellen und demzufolge auch der damit gewonnenen Daten. Einige dieser Streitigkeiten wurden auch vor Gericht ausgetragen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass der „juristischen Belastbarkeit" von Daten aus Messstellen eine zunehmende Bedeutung zukommt. Wie die Entwicklung hier tatsächlich weiter geht, lässt sich, gerade wegen der Brisanz dieses Problems, nur schwer abschätzen.

Welchen hohen Stellenwert die Qualität von Grundwassermessstellen hat, kommt nicht zuletzt in der neu erschienen DVGW-Information Nr. W 111 [3] zum Ausdruck, die sich mit der Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen befasst. Hier ist auch aufgelistet, wieweit Mängel an Messstellen ihre Brauchbarkeit einschränken bzw. auch gänzlich ungeeignet machen und somit zurückzubauen sind. Auch Hinweise zur Behebung von Mängeln finden sich in der DVGW-Information W 111. Dabei ist es in vielen Fällen unerlässlich, die Mängel mittels Bohrlochgeophysik genauer zu untersuchen (vergl. Verweise auf das DVGW-Arbeitsblatt W 111 in den Anhängen A und B in [3]). Die im Artikel [1] aufgeführten Untersuchungsmethoden sind dabei inzwischen fester Bestandteil des DVGW-Regelwerks [2, 3, 4, 6].

Literatur

[1] Baumann, K., Burde, B., Goldbeck, J. (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.

[2] DVGW-Arbeitsblatt W 121 (2003): Bau uns Ausbau von Grundwassermessstellen, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

[3] DVGW-Wasser-Information Nr. 111 (2022): Hinweise für Funktions- und Eignungsprüfungen von Grundwassermessstellen, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

[4] DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2018): Bohrlochgeophysik in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

[5] DVGW-Arbeitsblatt W 129 (2011): Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

[6] DVGW-Arbeitsblatt W 135 (2018): Sanierung und Rückbau von Brunnen, Grundwassermessstellen und Bohrungen, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

[7] Greitzke, J. (2019): Brunnen und Pegel als Altlasten - eine Betrachtung aus Sicht der Geophysik; bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 07/08-2019, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.

[8] Fricke, S., Schön, J. (1999): Praktische Bohrlochgeophysik, ENKE im Georg Thieme Verlag.

[9] figawa-Arbeitskreis (2006): Abdichtung von Ausbauverrohrungen im Brunnenbau, Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V.

[10] Lehmer, M., Kaboth, U. (2017): Bohrlochgeophysikalische Untersuchungen zum Salzwassermonitoring in Brandenburg – raumzeitliche Charakterisierung der Süß-/Salzwassergrenze; Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge Nr. 24 (2017), 1/2, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg.

[11] Willwacher, I. (2018): Bohrlochgeophysikalische Aufschlussmessungen - ein Schaufenster in die Tiefe; bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 11/2018, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.

Autoren

Jan Greitzke
Falk Triller
Karsten Baumann
Bohrlochmessung-Storkow GmbH
Schützenstr. 33
15859 Storkow
Tel.: +49 (0) 33678-43630
info@blm-storkow.de
www.blm-storkow.de

BLM
BOHRLOCHMESSUNG - STORKOW GmbH
Schützenstraße 33 • D - 15859 Storkow
Tel./Fax: 033678-436 30 / 436 31
www.blm-storkow.de • info@blm-storkow.de
ZERTIFIZIERUNG BAU DIN EN ISO 9001 SCC**
Geophysikalische Untersuchungen und TV-Befahrungen von Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen
Geprüfte Qualitätsfirma BDG Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler e.V. 0556B/01/04/19/2024