

Brunnenbau

Mängel an Brunnen und GW-Messstellen

Fehler in den Bauphasen: Feststellung, Ursachen und Folgen



Dipl.-Geol.
Karsten Baumann,
Bohrlochmessung-
Storkow GmbH,
Storkow (ehem.
BLM GmbH)



Dipl.-Ing.
Michael Tholen,
Bau-ABC Rostrup

Mängel an Brunnenbauwerken lassen sich auf Fehler in allen Bauphasen zurückführen. Ihre Folgen werden oft erst nach vielen Betriebsjahren sichtbar. Die Geophysik bietet heute eine Vielzahl an Verfahren, Mängel bei Neubaumaßnahmen oder gealterten Brunnen festzustellen. Die technischen Möglichkeiten der geophysikalischen Messverfahren sowie die Ursachen und die Eingrenzungsmöglichkeiten der Mängel werden vorgestellt.

1. Einführung

Mängel an Brunnenbauwerken und Grundwassermessstellen lassen sich nicht nur auf Fehler in allen Bauphasen, sondern auch auf mangelnde planerische Vorgaben der ausschreibenden Stellen zurückführen:

- Bohrarbeiten, Probennahme und falsche geologische Schichtenansprache
- unzureichende bohrlochgeophysikalische Vermessung der Bohrung
- fehlende oder nicht ausreichende Recherche zu den geologischen/hydrogeologischen Verhältnissen
- ungenügende Kenntnisse über die zu erwartende Grundwasserqualität, insbesondere im Hinblick auf mögliche anthropogene Kontaminationen oder geogen bedingte Versalzungen
- Auswahl und Einbau der Ausbaurohrung
- Ringraumverfüllung
- Brunnenentwicklungsmaßnahmen

Gründe für Fehler und mangelhafte Bauausführung dürften vor allem der Preisdruck und die oft mangelhafte Qualifizierung der am Bau von Brunnen Beteiligten sein. Mangelhafte planerische Vorgaben der ausschreibenden Stellen basieren in vielen Fällen auf unzureichenden Kenntnissen der baulichen Zusammenhänge und des Zusammenwirkens der einzelnen Ausbauteile eines Brunnens oder einer Grundwassermessstelle. Sowohl die hydraulische Bemessung als auch die Materialwahl und die Entwicklung des Bauwerkes erfordern bereits in der Planungsphase ausreichende Kenntnisse der Systemzusammenhänge. Erschwerend kommt hinzu, dass der größte Teil der planerisch und handwerklich zu leistenden Arbeiten unsichtbar und nicht direkt nachvollziehbar unterhalb der Geländeoberfläche ausgeführt wird.

Viele Mängel fallen daher bei Abnahme und im Betrieb auch wenig auf. So führen Kontaminationen im Bereich der Brunnenfassung zu einer geringeren Ergiebigkeit und zur schnelleren Alterung. Dies auf Fehler bei der Dimensionierung und beim Bau zurückzuführen, wird schwer nachzuweisen sein.

Gleiches ist bei unregelmäßigen Ringräumen aufgrund unzureichender Bohrlochgeometrie festzustellen. Wegsamkeiten im Bereich der Abdichtungen, Neigung zur Versandung bzw. eine schnellere Alterung machen sich häufig erst nach einigen Betriebsjahren bemerkbar.

Da 90 % eines Brunnenbauwerkes »unsichtbar« sind, ist auch der Nachweis baulicher Mängel schwierig. Zwar hat sich die Geophysik inzwischen durch viele Innovationen Zugang zum Bohrloch, zur Ausbaurohrung und vor allem zum Ringraum verschafft und neue Tracer-Methoden haben den Nachweis von Wegsamkeiten bzw. Undichtigkeiten ermöglicht – von einem »gläsernen« Brunnen zu sprechen, wäre dennoch vermessen.

2. Grundsätze bei der Ermittlung von Fehlern

Die Überprüfung einer GW-Messstelle oder eines Brunnens nach deren Herstellung auf Mängelfreiheit durch betriebstechnische, geophysikalische und fernsehteknische Untersuchungen ist nicht nur eine Forderung der einschlägigen DVGW-Arbeits- und Merkblätter (z. B. W 110, W 115, W 121, W 123, W 135), sondern zwischenzeitlich auch weitestgehend gängige Praxis. Diese Untersuchungen garantieren dem Bauherrn auf der einen Seite, dass der Brunnen oder die Messstelle weitestgehend fehlerfrei erstellt wurden, schützen aber auch den Brunnenbauer vor ungerechtfertigten Ansprüchen. Hier sei u. a. nur an nachträgliche mechanische Beschädi-

gungen gedacht, die der Brunnenbauer nicht zu verantworten hat, die aber in der Gewährleistungsfrist noch festgestellt wurden.

Umso unverständlicher erscheint es, wenn Brunnen z. T. für viel Geld errichtet wurden, zum Schluss aber die vergleichsweise geringe Summe für eine Endabnahme eingespargt wird, bzw. höchstens noch eine Kamerabefahrung vorgenommen wird. Kein Bauherr käme auf die Idee, in sein Haus ohne eine umfassende Bauabnahme einzuziehen. Im Gegenteil: Hier wird sogar die Bauabnahme behördlicherseits gefordert.

In einigen Bundesländern, hierzu gehören u. a. Berlin und Hamburg, wird von den Behörden inzwischen eine ordnungsgemäße Abnahme der Brunnen und GW-Messstellen vor Erteilung der Betriebserlaubnis gefordert. Hierbei steht jedoch nicht der für den Bauherrn so wichtige Gedanke eines langfristigen, störungsfreien Betriebs im Vordergrund, sondern vielmehr die Gewähr, dass durch den Brunnen oder die Messstelle mögliche schädigende Einflüsse auf das Grundwasser ausgeschlossen werden müssen. Es steht bei diesen Überprüfungen der Nachweis ordnungsgemäß eingebrachter Ringraumabdichtungen und Ringraumverfüllungen/Brückenbildung (Unfallgefahr durch mögliche Tagesbrüche), die Dichtheit der Muffenverbindungen und die Lage der Filterstrecke im Vordergrund. Entsprechende Beispiele belegen die Wichtigkeit solcher Untersuchungen.

So wurden an Messstellen mit fehlerhaften Ringraumabdichtungen und/oder undichten Muffenverbindungen vertikale Grundwasserströmungen ermittelt, die jährlich mehrere tausend Kubikmeter Wasser zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken bewegen. Dies ist immer dann besonders problematisch, wenn es sich um kontaminierte Standorte oder geogen versalzene Grundwässer handelt.

Bei der Ermittlung von Fehlern muss dementsprechend auch zwischen einem Mindestprogramm zum Nachweis der Unbedenklichkeit der Messstelle oder des Brunnens für die Umwelt und den Anforderungen, die der Bauherr an eine ordnungsgemäße Bauabnahme

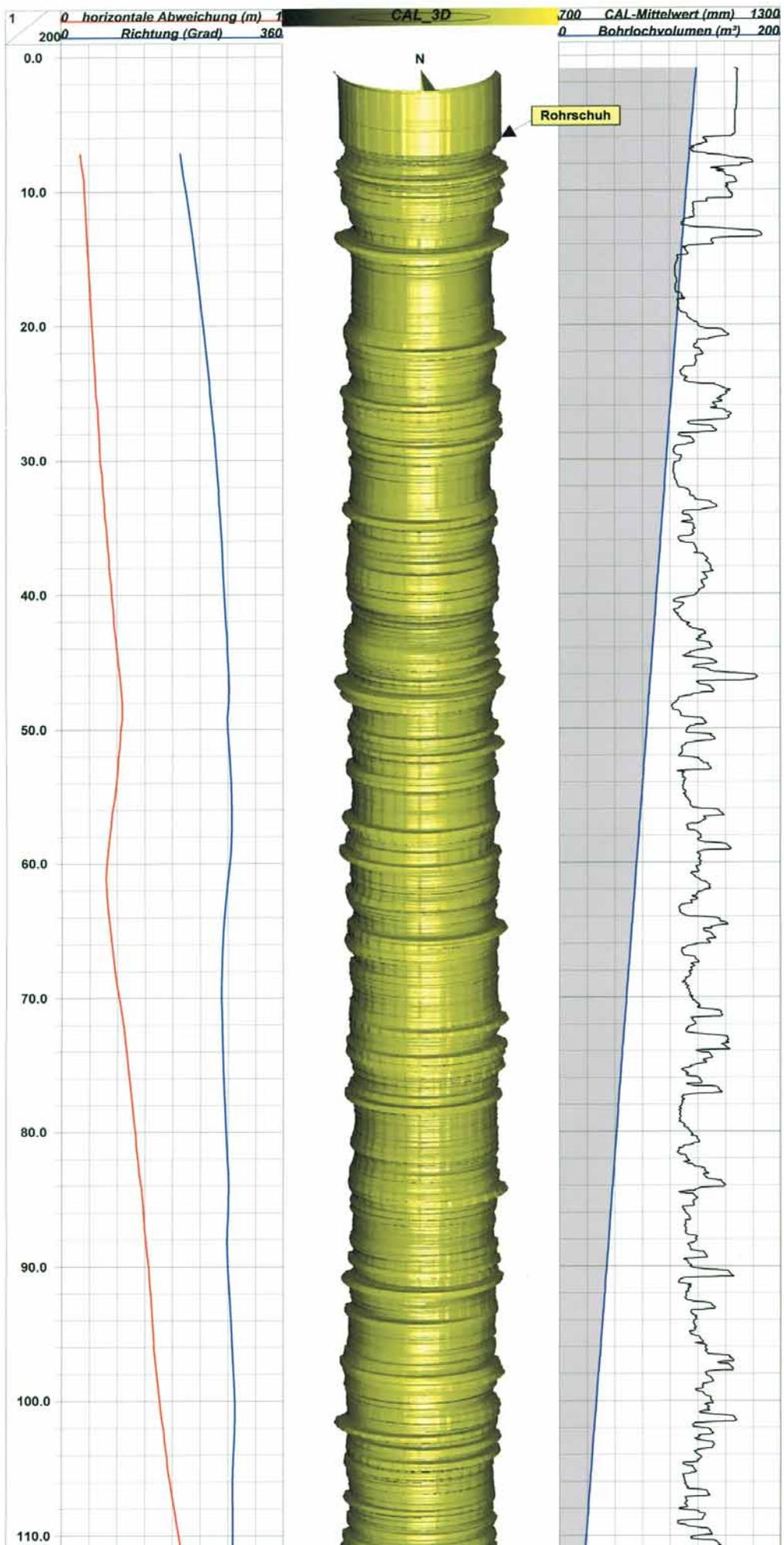


Bild 1: Richtungs- und Abweichungsdiagramm sowie 3-D-Kaliberdarstellung einer Brunnenvorbohrung

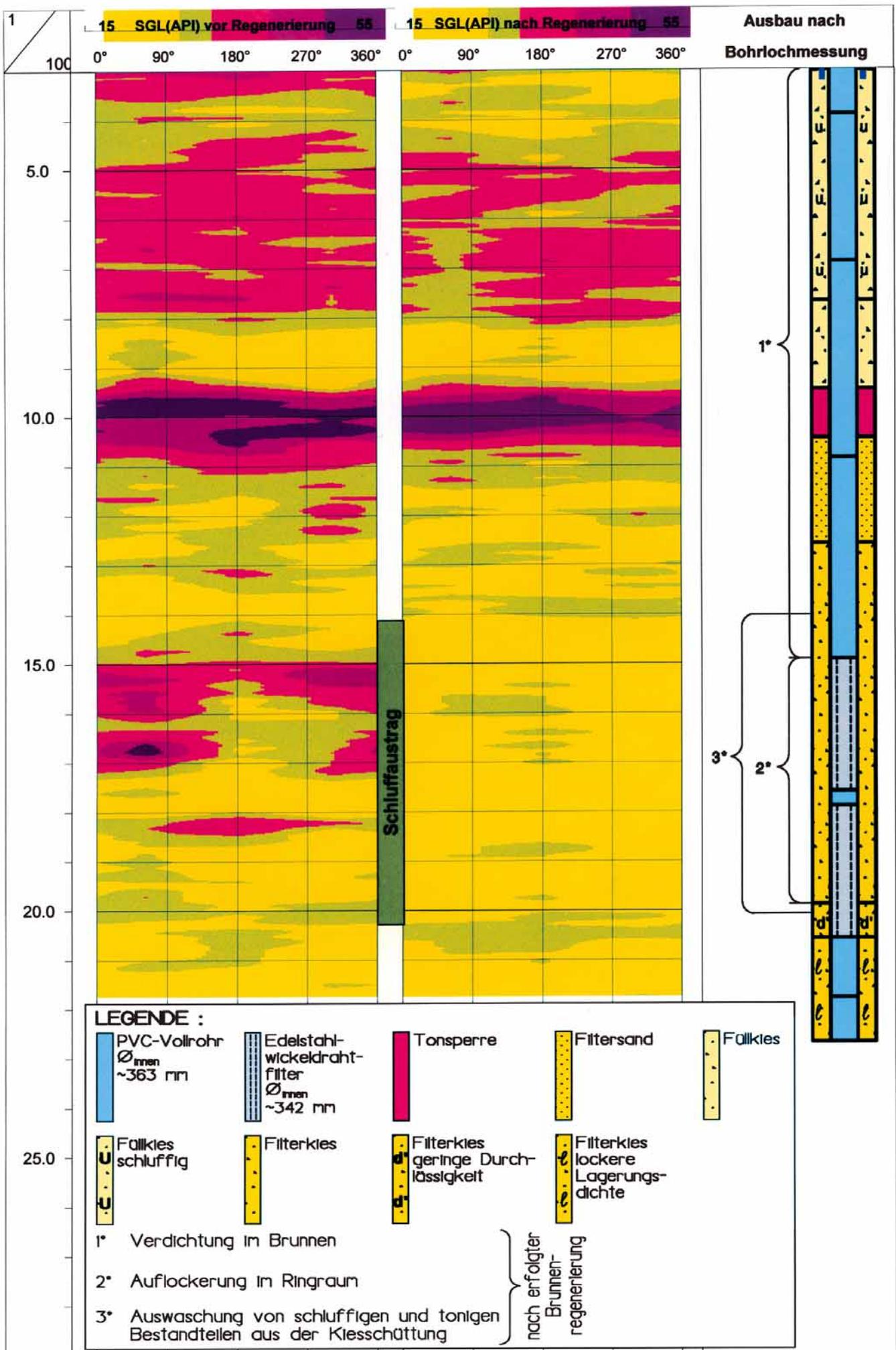


Bild 2: Messung mit dem segmentierten Gamma-Log (SGL) zum Nachweis von Kolmationen

me stellt, unterschieden werden. Bei der messtechnischen Durchführung verzahnen sich natürlich beide Fragestellungen. Zu den behördlichen Mindestanforderungen gehören danach Untersuchung und Messverfahren, die folgende Überprüfung zulassen:

- Vorhandensein und/oder Lage von Tonsperrern (vertikale Ringraumabdichtung) sowie deren Korrespondenz mit dem geologischen Schichtenprofil
- Homogenität der Ringraumverfüllung (Brückenbildung)
- Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Muffenverbindungen
- Lage der Filterstrecke(n)

Insbesondere im Hinblick auf einen langfristigen störungsfreien Betrieb der Messstelle oder des Brunnens sind Untersuchungen und Messverfahren notwendig, die folgende Überprüfungen ermöglichen:

- Allgemeinzustand (Verschmutzungen, Beschädigungen, Sedimentationen auf der Bodenkappe, Zustand der Filterstrecke, Rohrovalitäten)
- unzulässig hohe Sandführung
- Ergiebigkeit entsprechend der projektierten Berechnung
- Keimfreiheit
- Vorhandensein und Zustand der Kiesschüttung (Kolmationen, Verdichtungen)
- Zufluss im Filterbereich bzw. Erstellung einer Zuflussprofilierung der Filterstrecke
- Durchlässigkeit des filternahen Bereiches
- Vertikalität und Exzentrizität der eingebrachten Verrohrung
- ggf. Präzisierung des erbohrten geologischen Profils auch im ausgebauten Bohrloch

- Überprüfung des Wasserchemismus in der Messstelle (absolute Salinität, vertikale Schichtung)
- Abschätzung des Wasserchemismus im Porenraum der einzelnen geologischen Abfolgen, v.a. im Vollrohrbereich (»hinter den Rohren«, zur Verfolgung der Süß-/Salzwassergrenze)

Von Fall zu Fall können auch folgende Untersuchungen erforderlich sein:

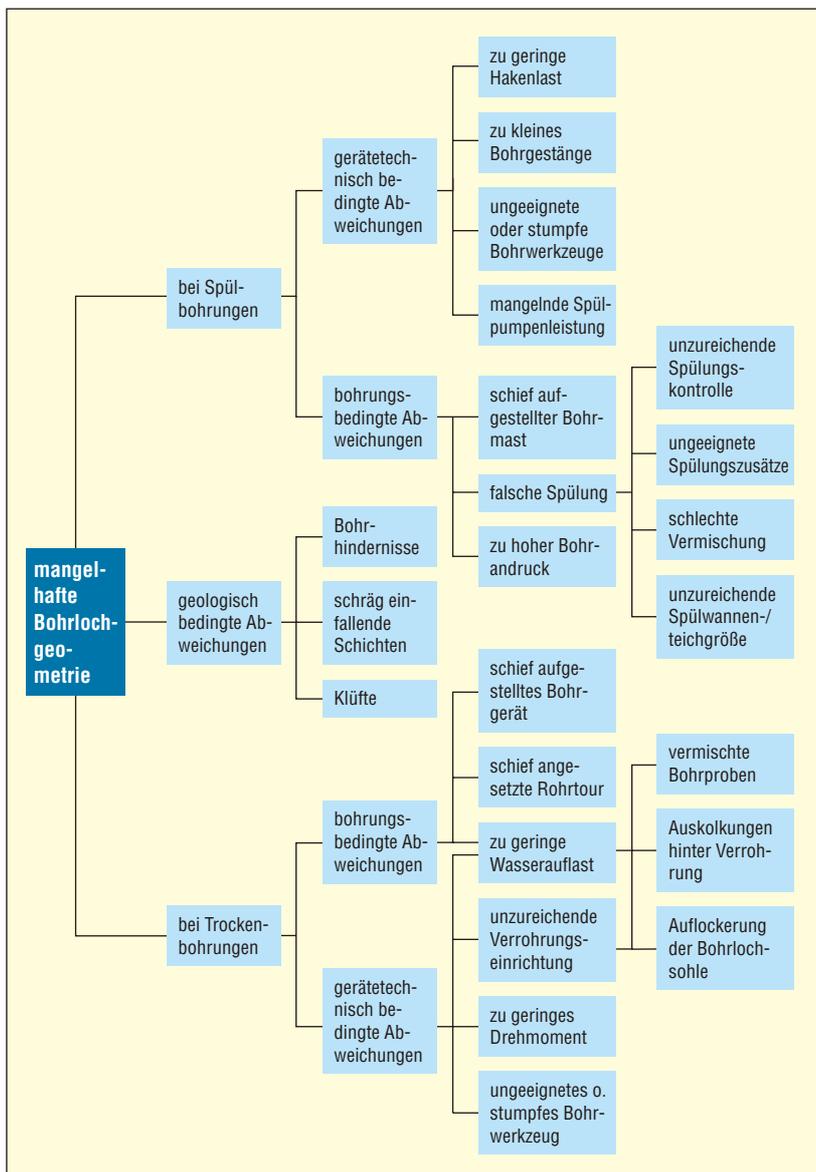


Diagramm 1: Ursachen für eine mangelhafte Bohrlochgeometrie

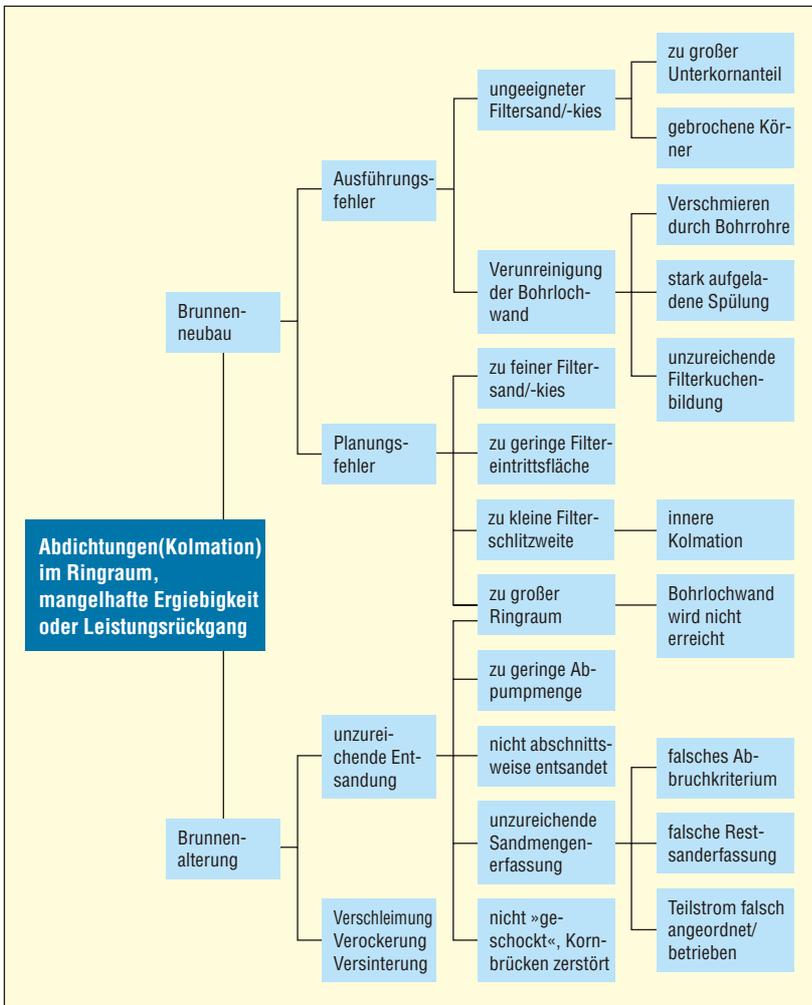


Diagramm 2: Ursachen für eine Kolmation im Ringraum

Unabhängig davon sollten vor dem Ausbau einer unverrohrten Bohrung zur Grundwassermessstelle oder zum Brunnen geophysikalische Messungen mit dem Ziel der Bestimmung der Geometrie des Bohrlochs (Neigung, Neigungsrichtung und Kaliber) sowie der Ermittlung der exakten geologischen Schichtenfolge durchgeführt werden.

In Festgesteinsbohrungen gehört inzwischen das Fluid-Logging zur Bestimmung der Zufluss- und Verlusthorizonte zum Standard.

Für all die aufgeführten Untersuchungsschwerpunkte gibt es heute maßgeschneiderte Untersuchungsmethoden. Auf einige Beispiele wird im Folgenden eingegangen.

3. Häufige Fehler und deren Folgen

3.1 Bohrlochgeometrie

Unter Bohrlochgeometrie fallen die wichtigsten Merkmale eines ausbauwürdigen Bohrloches:

- Vertikalität
- Gerader Verlauf
- Auskolkungen/Einengungen

Betrachtet man die anschließenden Diagramme, so wird die Bedeutung einer guten Bohrlochgeometrie für alle nachfolgenden Ausbaurbeiten deutlich. Krumme und schiefe Bohrlöcher führen zu unregelmäßigen Ringräumen. Gerade eine gleichmäßige Ringraumgeometrie gewährleistet aber ein sicheres Einbringen aller Verfüllmaterialien. Eine gleichmäßige Filterkiesschüttung gewährleistet wiederum eine erfolgreiche Brunnenentwicklung; eine gleichmäßige Ringraumabdichtung sichert eine einwandfreie Dichtung gegen vertikale Wasserbewegungen.

Die Bedeutung einer sorgfältigen Bohrprobennahme für die Festlegung des Brunnenausbaus wird in den Diagrammen 1, 5 und 6 deutlich, soll hier aber nicht näher betrachtet werden.

In Bild 1 sind der Verlauf, die Richtung und das Kaliber einer Aufschlussbohrung abschnittsweise dargestellt. Eine zusätzliche 3-D-Darstellung der richtungsorientiert durchgeführten 4-Arm-Kalibermessung gibt eine über die übliche »reine« Messkurvendarstellung hinausgehende grafisch anschauliche räumliche Vorstellung des Bohrlochs. Deutlich sind in fast regelmäßigen Abständen wiederkehrende Bohrlocherweiterungen zu erkennen. Die Messung von Neigung und Richtung des Bohrlochs weist eine Abweichung im tiefsten Punkt von mehr als einem halben Meter auf.

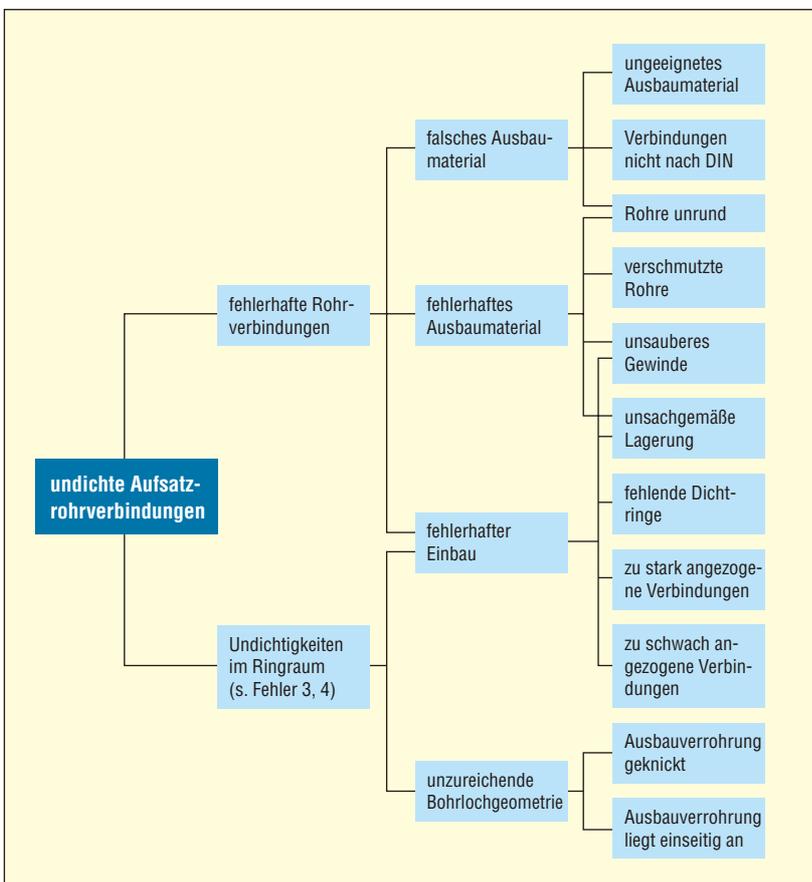


Diagramm 3: Ursachen für undichte Rohrverbindungen

3.2 Ringraumkolmationen

Ringraumkolmationen sind Ursachen für eine mangelhafte Ergiebigkeit eines Brunnens. Ein unzureichender Porenraum im Filtersand/-kies und dem angrenzenden GW-Leiter behindert aber nicht nur den Zufluss zum Brunnen, sondern beschleunigt auch die Brunnenalterung. Es fehlt an Speicherraum für Ablagerungen durch Alterungserscheinungen. Der geringere freie Porenraum führt zu höheren Zuflussgeschwindigkeiten, was wiederum zur Folge hat, dass der Eintrittswiderstand und somit die Absenkung im Brunnen zunimmt. Der beste Hinweis auf Kolmationserscheinungen ist neben den geophysikalischen Messergebnissen eine weit hinter den Berechnungen zurückliegende Ergiebigkeit des Brunnens.

In Bild 2 sind die Ergebnisse einer SGL-Messung (segmentiertes Gamma-Log; Verfahren zur Messung der natürlichen Gammastrahlung von Ringraumhinterfüllung und Gebirge in drei, jeweils um 120° horizontal versetzten Segmenten) vor und nach der Regenerierung eines Brunnens dargestellt. Dabei weist die Messung vor der Regenerierung in den Brunnensegmenten 0° bis 120° und 240° bis 360° erhöhte Gammastrahlung im Bereich des Filters aus (Farbsignatur analog Tonsperre). Das weist darauf hin, dass die Kiesschüttung, besonders im hangenden Abschnitt der Filterstrecke von etwa 15 bis 17 m und untergeordnet auch von 18 bis 18,5 m, überwiegend einseitig mit Feinkornanteilen (Schluff, Ton) kolmatisiert ist. Dies führte zu einer deutlichen Verschlechterung der Förderleistung. Die daneben dargestellte Messung nach der Regenerierung weist aus, dass der Feinkornanteil aus der Kiesschüttung vollständig beseitigt werden konnte, womit auch eine nachweisbare Steigerung der Förderleistung erreicht wurde.

Neben Aussagen zur Kolmation des Filters liefert die SGL-Messung auch den Beleg dafür, dass die Tonsperre von 9 bis 11 m ringsherum vollständig ausgebildet ist und damit eine wesentliche Bedingung für ihre hydraulische Wirksamkeit erfüllt ist.

3.3 Undichte Aufsatzrohrverbindungen

Undichte Aufsatzrohrverbindungen sind insbesondere bei Grundwassermessstellen ein nicht zu akzeptierender Mangel. Da sie aufgrund geeigneter Ausbaumaterialien und Einbauverfahren in der Regel unnötig sind, sollten hier hohe Anforderungen gestellt werden. Sie verfälschen nicht nur Messwerte, sondern ermöglichen auch während des Brunnenbestandes einen unzulässigen Wasseraustausch. Da dieser in der Regel von oben nach unten

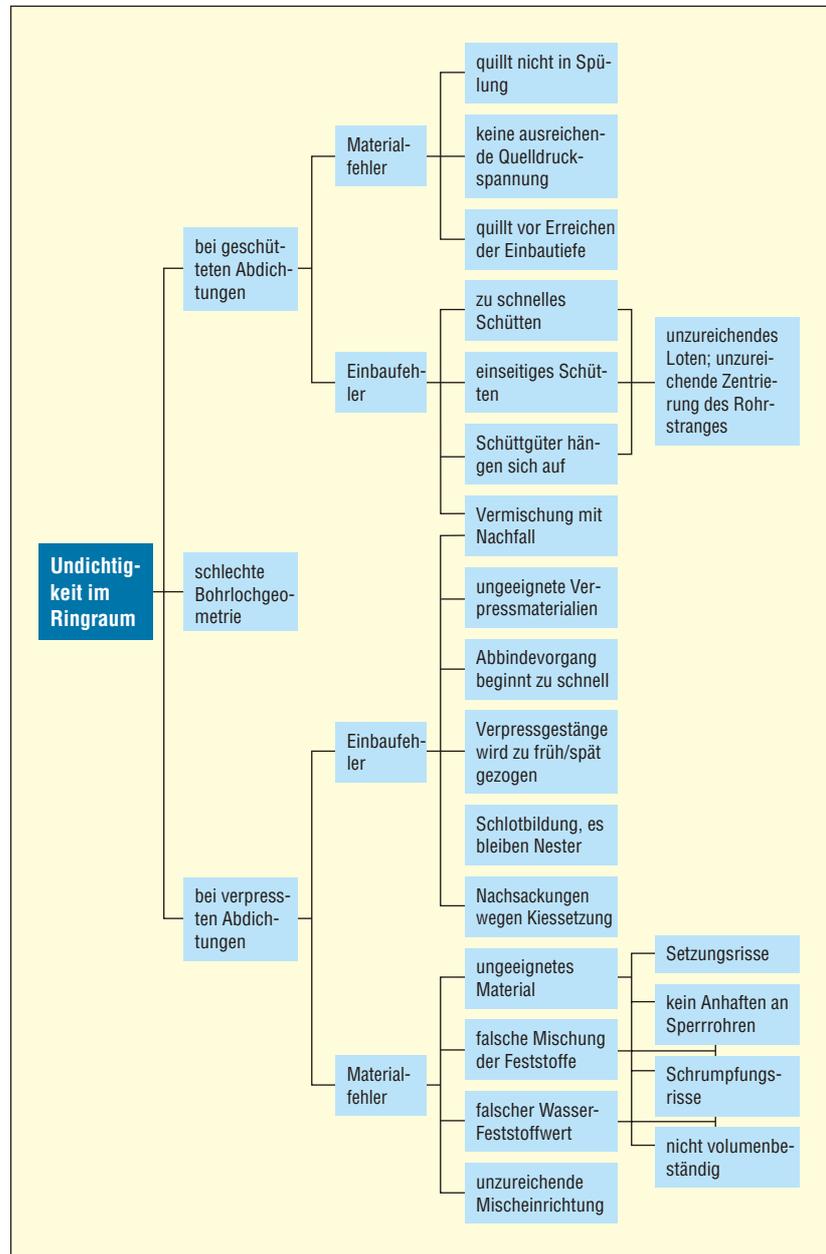


Diagramm 4: Ursachen für Undichtigkeiten im Ringraum

verläuft, sind kostbare Wasserressourcen nachhaltig gefährdet.

In Bild 3 ist eine FEL-Messung (fokussiertes Elektrolog) zur Überprüfung der Dichtheit der Muffenverbindungen dargestellt. Sehr deutlich heben sich die Verbindungen durch eine Verringerung des elektrischen Widerstandes ab ($L =$ vermutete Undichtigkeit). Aber Vorsicht! Das FEL ist nur ein Screeningverfahren zur Überprüfung der Dichtheit der Muffenverbindungen. Elektrisch unauffällige Muffen können mit hinreichender Sicherheit als dicht gelten: denn dort, wo kein elektrischer Strom ins Gebirge abfließen kann, kann auch kein Wasser fließen. Elektrisch auffällige Muffen müssen nicht zwangsläufig undicht sein: denn wo Strom ins Gebirge fließen kann, muss nicht auch zwangsläufig Wasser hindurchkommen. Hier kann letztendlich nur ein Packertest zur Überprüfung der Muffenverbindung Gewissheit bringen.

3.4 Undichte Ringräume

Weitaus problematischer, da schlechter erkennbar und nachweisbar, sind Wegsamkeiten in Ringräumen. Eigentlich sollen sie durch ausreichend bemessene Ton- oder Suspensionssperren verhindert werden. Diagramm 4 zeigt aber die vielfältigen Fehlermöglichkeiten, die nur sehr schwer aufzudecken sind.

Drainagen durch unsachgemäße Wiederherstellung von GW-Nichtleitern zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken gefährden für alle Zeit weniger belastete GW-Leiter in größeren Tiefen, auf die wir in Zukunft zur Sicherstellung der Wasserversorgung angewiesen sein werden. Gerade hier müssen an die Ausführungssicherheit die höchsten Anforderungen gestellt werden. Insbesondere bei der Planung von Brunnenbauwerken müssen die optimalen Abdichtungsvarianten auf dem gegenwärtigen Stand der Technik berücksichtigt werden!

In Bild 4 sind am rechten Rand der Darstellung die Ergebnisse (Image-Plot) der Mes-

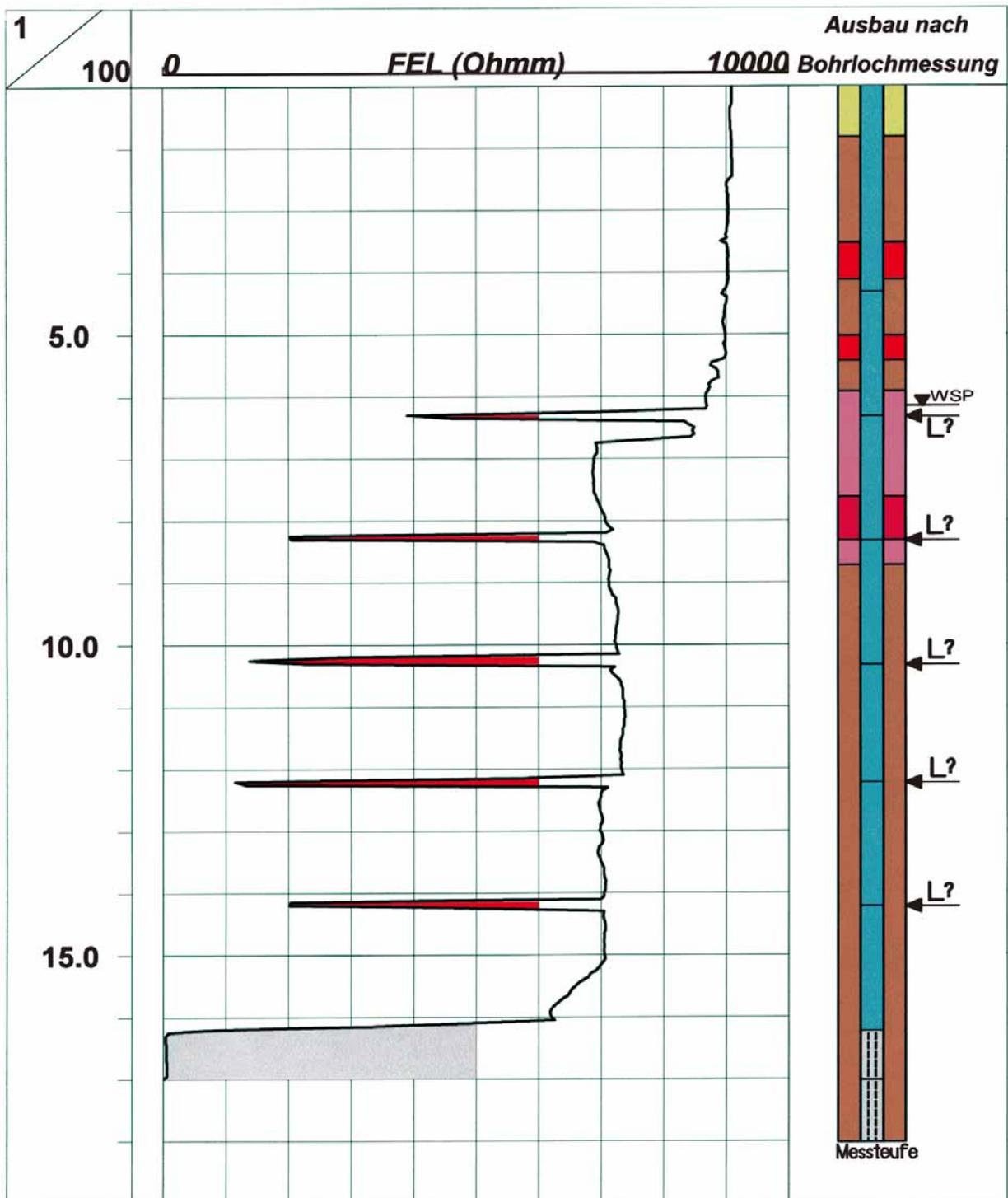


Bild 3: FEL-Messung zur Überprüfung der Muffendichtigkeit

sung mit einem Ringraumscanner (RGG.D) dargestellt. Hierbei handelt es sich um ein Verfahren, bei dem mittels einer rotierenden Messanordnung Dichteänderungen in den Ringraumschüttungen festgestellt werden. Dadurch erhält man den Nachweis einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraumes und somit eine exakte Überprüfung der Homogenität von Abdichtungen aus Ton sowie Ton-Zement-Suspensionen und Filterkiesschüttungen. Es fällt auf, dass die Abdich-

tung von 3 bis 15 m mit Ton-Zement-Suspension nur einseitig vorhanden ist. Die nicht vollständige, vor allem nur einseitige Ausbildung der Abdichtung eröffnet die Möglichkeit eines Kurzschlusses zwischen dem oberen und dem unteren Grundwasserleiter, obwohl insgesamt ein scheinbar ausreichendes Volumen der Suspension eingebracht wurde, da sie bei der Verpressung an der Geländeoberkante austrat.

3.5 Erhöhte Sandführung

Eine erhöhte Sandführung wirkt sich in der Regel störend auf den Brunnenbetrieb aus. Mitgeführter Sand kann Förderanlagen zerstören, Armaturen unbrauchbar machen und Aufbereitungsanlagen verstopfen. Allerdings sollte die Höhe des geforderten Restsandgehalts den jeweiligen Betriebsbedingungen angepasst sein. Je höher nämlich die Anforderungen an den Restsandgehalt

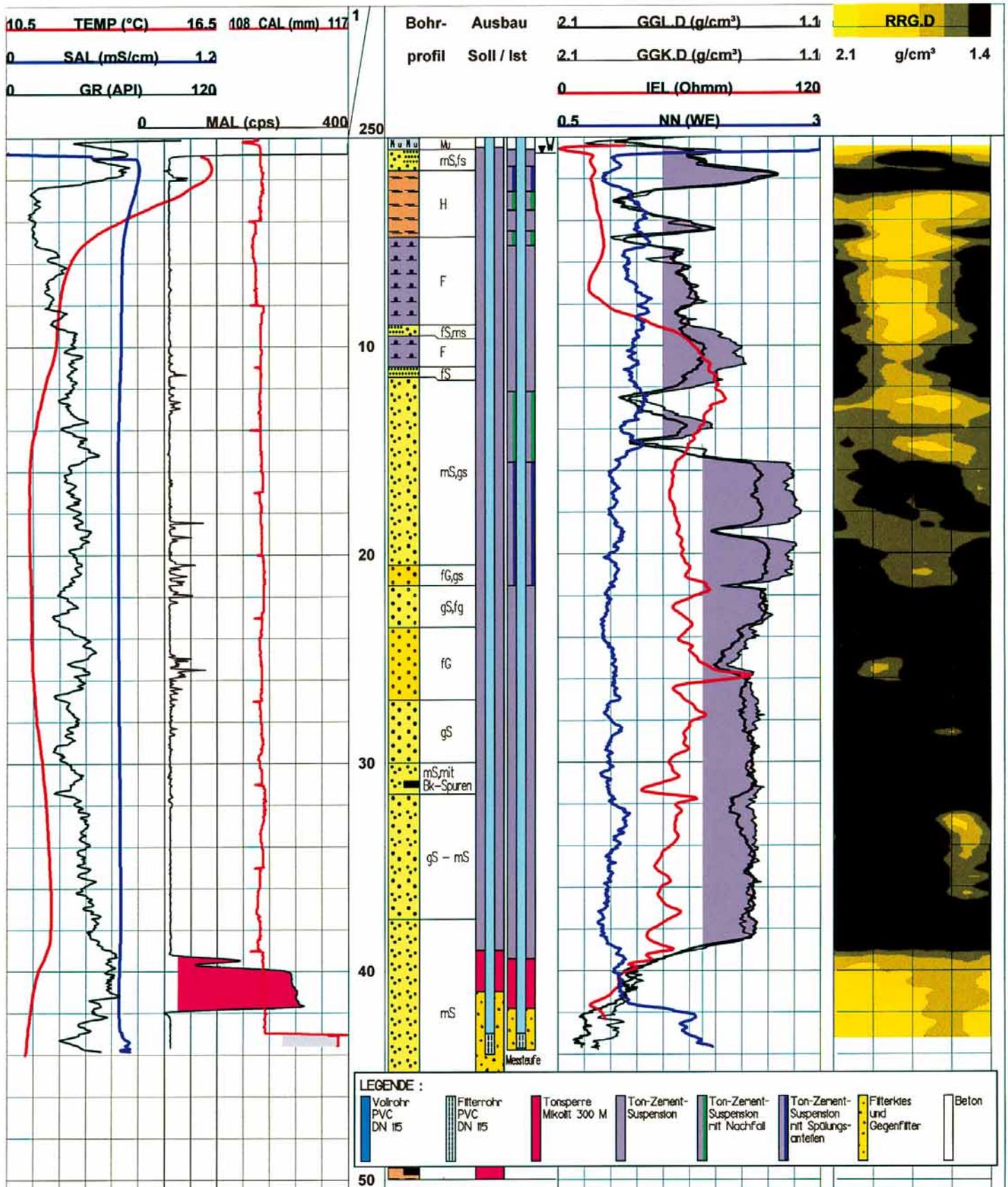


Bild 4: Messung mit dem Ringraumscanner (RRG.D) zum Nachweis homogener Abdichtungen

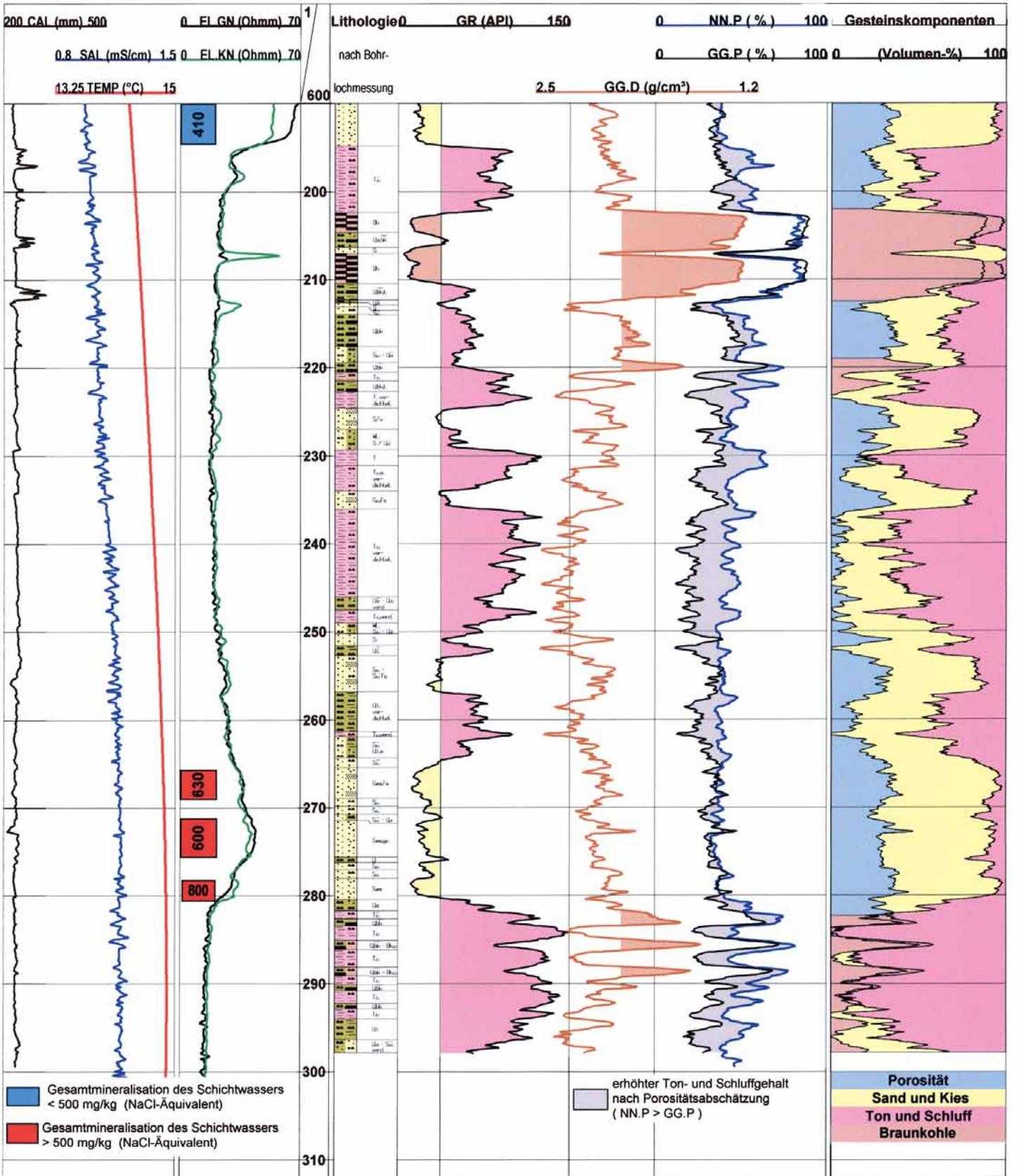


Bild 5: Vollständig ausgewertetes Messdiagramm einer Brunnenvorbohrung

sind, desto sicherer, d.h. feiner wird der Planer bzw. Brunnenbauer die Filtersand-/kiesschüttung wählen, was immer Auswirkungen auf die Wirksamkeit von Brunnenentwicklungsmaßnahmen haben wird. So kann ein unnötig hoher Restsandgehalt eine geringere Ergiebigkeit und schnellere Brunnenalterung zur Folge haben.

3.6 Wasserchemismus

Nach Fertigstellung von Brunnen treten häufig Probleme mit der Qualität des geförderten Wassers auf. Besonders schwer wiegend sind dabei anthropogene Verunreinigungen oder geogene Versalzungen. Bei der Gefahr von Versalzungen sollten folgende Untersuchungen im offenen Bohrloch vor Ausbau durchgeführt werden:

- Berechnung der Gesamtmineralisation des Porenwassers in NaCl-Äquivalentgehalten (mg/l NaCl-Äquivalent)

Diese Messung ist prinzipiell auch bei kunststoffverrohrten Brunnen oder Grundwassermessstellen zur Langzeitüberwachung der Süß-/Salzwassergrenze möglich.

Bild 5 zeigt ein Beispiel für eine vollständig ausgewertete geophysikalische Messung einer Brunnenvorbohrung.

Hier wurden neben der exakten geologischen Schichtenfolge und dem Salzgehalt (NaCl-Äquivalentgehalt) der einzelnen Grundwasserleiter auch ein so genanntes Compositeplot (Gehalte an Ton/Schluff, rolligen Bestandteilen und Porosität jeweils in Vol.-%, gesamte Leiste = 100%) aus den Bohrlochmesskurven ermittelt. Im Ergebnis einer solchen Messung können beim Ausbau einer solchen Bohrung zur Grundwassermessstelle oder zum Brunnen folgenschwere Fehler weitestgehend ausgeschlossen werden.

4. Ursache häufiger Fehler

Zwischen Fehlern und Ursachen zu unterscheiden, ist ausgesprochen schwierig. So ist der Fehler, eine Spülbohrung mit stumpfem Werkzeug und unzulässig hohem Andruck abzuteufen, gleichzeitig Ursache für eine »krumme Bohrung«. Der Fehler, eine schiefe Bohrung abgeteuft zu haben, ist gleichzeitig Ursache für einen unregelmäßigen Ringraum. Dieser Fehler kann wiederum

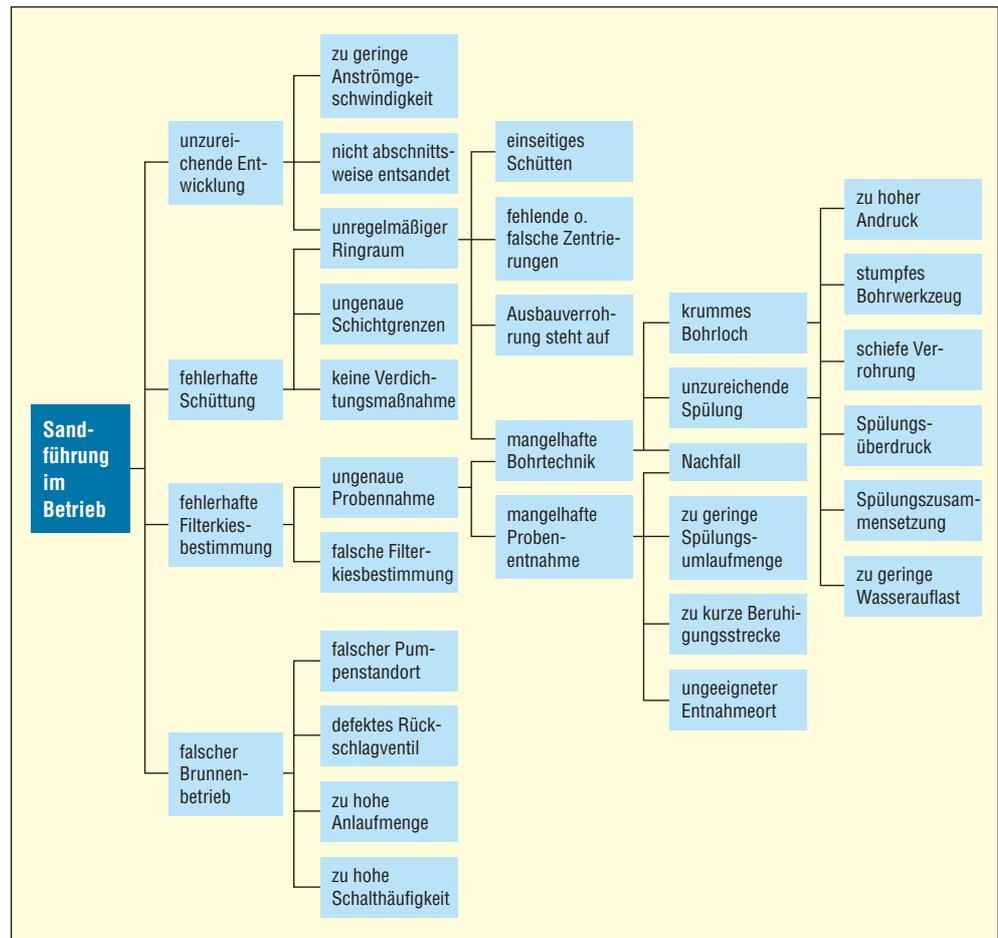


Diagramm 5: Ursachen für eine erhöhte Sandführung

Ursache für eine undichte Sperrschicht oder unzulässig hohe Sandführung sein.

Wir werden also von Fehler- bzw. Ursachenketten sprechen müssen, die bei einem Schadensbild bei der Bauwerksabnahme bzw. im Brunnenbetrieb beginnen. Diese Ketten werden sich zwangsläufig verzweigen, da verschiedene Fehler die Ursache für einen Mangel in der Bauausführung sein können.

So können hier nur exemplarisch für einzelne Schadensfälle Fehler- und Ursachenketten erstellt werden. Es hängt vom Sachverstand des jeweiligen Gutachters ab, alle Einflussfaktoren in die Ursachenforschung mit einzubeziehen und ggf. durch ein Ausschlussverfahren die Fehlerquelle einzuzugrenzen.

Jedes Fehler-Ursachen-Diagramm kann beliebig erweitert werden und es erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Deutlich wird aber, dass viele Querverbindungen herzustellen sind und die Ursachenforschung einem Puzzle gleicht. Da im Nachhinein die meisten Maßnahmen nicht mehr nachzuvollziehen sind, wird vielfach eine Auswertung der Baudokumentation Aufschluss geben, sofern diese vorhanden ist. Dies unterstreicht einmal mehr die Bedeutung einer lückenlosen Dokumentation, zumal durch sie viele Fehler vermeidbar wären!

4.1 Ursachen für eine mangelhafte Bohrlochgeometrie (Diagramm 1)

Eine schlechte Bohrung taucht in fast allen Diagrammen auf, ist sie doch Ursache für entscheidende Ausbaumängel. Eine gute Bohrlochgeometrie ist Voraussetzung für die problemlose Nutzung einer Bohrung. Daher sollte vor Beginn der Ausbauarbeiten die Ausbaumündigkeit einer Bohrung am besten mittels Geophysik nachgewiesen werden. Leider gibt das Regelwerk bisher nur wenige Hinweise auf die einzuhaltenden Bohrlochparameter.

4.2 Ursachen für eine Kolmation im Ringraum (Diagramm 2)

Eine Kolmation hinter der Filterstrecke als Ursache mangelnder Ergiebigkeit wird selten erkannt. Obwohl viele Fehlerquellen in der Planungs- und Bauphase möglich sind, wird am häufigsten eine »Angstschüttung« hinter den Filterrohren Ursache eines zu geringen Porenraumes sein. Eine schnellere Alterung ist also vorprogrammiert, da der Brunnenbauer in Hinblick auf eine mögliche Sandführung vorsichtig sein muss: Denn nur die technische Sandfreiheit im Betrieb muss er nach DIN 18302 gewährleisten.

4.3 Ursachen für undichte Rohrverbindungen (Diagramm 3)

Dieser Mangel dürfte eigentlich kaum auftreten, wenn nicht die Zulieferindustrie bisher nur dichte Rohrverbindungen bis max. DN 125 anbieten würde (SBF norip, ABDI). Unverständlicherweise werden dichte Rohrverbindungen für größere Ausbaudimensionen vom Markt nicht gefordert.

Allerdings kommt es auch bei den Ausbaurohrungen für Grundwassermessstellen, insbesondere durch o.g. Verarbeitungsmängel, zu Undichtigkeiten.

4.4 Ursachen für Undichtigkeiten im Ringraum (Diagramm 4)

Die Vielzahl der Ursachen, die zu Undichtigkeiten in Ringräumen führen, macht deutlich, dass dieses wichtigste Qualitätskriterium eines Brunnens am besten durch konstruktive Maßnahmen zu erzielen ist. So sollten Abdichtungen immer über die gesamte Mächtigkeit der Sperrschicht/des GW-Nichtleiters geschüttet/verpresst werden. Im Zweifelsfall muss ein Ausbau mit Sperrrohr vorgesehen werden, insbesondere, wenn die oberen

Bereiche kontaminiert sind. Die Abdichtung der Sperrrohre zum Gebirge ist jedoch von genauso großer Bedeutung wie bei Ringraumabdichtungen von Aufsatzrohren.

4.5 Ursachen für eine erhöhte Sandführung (Diagramm 5)

Alle Ursachen und Zusammenhänge können auch in den hier abgebildeten Diagrammen nicht dargestellt werden. So kann eine nach vielen Jahren sandfreier Förderung plötzlich auftretende Sandführung darauf zurückzuführen sein, dass große Bereiche der Fassung durch Alterung undurchlässig geworden sind. Bisher kaum durchflossene Bereiche werden nun aktiviert. Diese sind aber häufig aufgrund einer unzureichenden Verfahrenstechnik nie ausreichend entsandet worden.

5. Zusammenfassung

Von einem »gläsernen« Brunnen zu sprechen wäre zwar immer noch vermessen, geophysikalische und sonstige Messverfahren ermöglichen aber heute eine gute Qualitätskontrolle und Schadensfeststellung. Insbeson-

dere durch den Einsatz moderner, den Ringraum ringsherum abbildender Messverfahren konnte die Zuverlässigkeit der Überprüfung von Ringraumabdichtungen deutlich erhöht werden.

Eine große Hilfe ist weiterhin eine lückenlose Dokumentation der Bohr- und Ausbauarbeiten. Leider wird diese einfachste Form der Qualitätssicherung und Grundlage aller späteren Maßnahmen noch immer viel zu sorglos gehandhabt.

Der Beitrag könnte den Eindruck erwecken, dass die Mängel überwiegend auf Fehler bei der Bauausführung zurückzuführen sind. Die Autoren vertreten jedoch den Standpunkt, dass eine unzureichende Planung und Bauaufsicht ebenso großen Anteil an den aufgetretenen Mängeln haben.

In der nächsten Ausgabe (*bbr* 2/02) wird in einem weiteren Beitrag auf die mangelhaften planerischen Vorgaben eingegangen, die Mängel an Brunnenbauwerken zur Folge haben. Die grundlegenden Zusammenhänge werden erläutert und anhand von Fehler-Ursachen-Diagrammen systematisiert. 

*Alle Abbildungen: Karsten Baumann
Alle Diagramme: Michael Tholen*