

Brunnenbau

Nachträgliche Herstellung von Ringraumabdichtungen als Sanierungsmaßnahme für Brunnen und Grundwassermessstellen

Perforationstechnik und Innenrohrmanschette



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



Dipl.-Ing. Hans-Günter Lewin, Geschäftsführer der KT Kanal-Technik GmbH, Nürnberg



Dipl.-Ing. Lutz-Peter Nolte, PST Spezialtiefbau GmbH, Büro Brunnenbau, Hamburg (ehem. Preussag)

1. Einleitung

Im modernen Brunnen- und Messstellenbau hat die Herstellung eines fehlerfreien, den einschlägigen Regeln des DVGW entsprechenden Bauwerkes deutlich an Stellenwert zugenommen. Hierbei wird neben der Einhaltung zahlreicher technischer Vorgaben insbesondere auch der Dichtheit der Muffenverbindungen und der Abdichtung des Ringraums sehr große Aufmerksamkeit geschenkt. Dank verbesserter bohrlochgeophysikalischer Messtechnik sind inzwischen viele Beispiele von Brunnen und Grundwassermessstellen bekannt geworden, bei denen gravierende Fehler am Bauwerk festgestellt wurden. Ein störungsfreier Betrieb muss bei diesen als fraglich und bei Messstellen die Gewinnung von nur annähernd repräsentativen Daten über Grundwasserstand und Grundwasserchemismus sogar als gänzlich unmöglich angesehen werden. Wesentlich schwerwiegender als die Betriebssicherheit des Brunnens oder die Repräsentanz der Messstelle ist hierbei jedoch die Tatsache zu werten, dass von derartigen Bauwerken eine permanente Gefahr für das Grundwasser selbst ausgehen kann. So wurden inzwischen Messstellen untersucht, bei denen ein stetiger Grundwasserfluss über den Ringraum zwischen verschiedenen Grundwasserleitern von mehreren tausend Kubikmetern pro Jahr nachgewiesen werden konnte. Besondere Brisanz besitzen derartige Vorgänge immer dann, wenn es sich um kontaminierte Standorte oder aber Versalzungen tieferer Grundwasserstockwerke handelt. Hier ist sofortiges Handeln angezeigt.

2. Möglichkeiten von nachträglichen Ringraumabdichtungen

Zur Unterbrechung von Wegsamkeiten im Ringraum außerhalb von Ausbauverrohrungen gibt es verschiedene Lösungsmöglich-

keiten. Die vertikale Durchströmung von Ringräumen kann über Bohr- und Verpresstechniken im Ringraum zwischen Brunnenausbau und Bohrlochwand oder über Perforations- und Verpresstechniken aus dem Brunnenausbau heraus unterbunden werden.

1. Bohr- und Verpresstechniken

- Überbohrtechnik verbunden mit der Auffüllung des frei gebohrten Ringraums mit Abdichtungssuspensionen
- Ringraumabdichtung über Injektionslanzen verbunden mit der Verpressung von Abdichtungssuspensionen

2. Perforations- und Verpresstechniken

- verschiedene Perforations- und Schneidverfahren, verbunden mit der Verpressung von Abdichtungssuspensionen über Doppelpackersysteme

Diese Verfahren der Ringraumabdichtung aus dem Vollrohr heraus kommen zur

Anwendung, wenn aus Platzgründen das Überbohren nicht möglich ist bzw. Bohrgut und Spülung aufgrund möglicher Kontaminationen unerwünscht sind. Aus technischen und wirtschaftlichen Erwägungen kommt eine Perforation der Vollrohre mit anschließendem Verpressvorgang auch bei besonders großer Tiefe des Stauhizontes infrage.

In der Regel werden bei diesen Verfahrenstechniken speziell bei Brunnenausbauverrohrungen, die infolge von Korrosion stark vorgeschädigt sind, Einschubverrohrungen eingezogen, deren Ringräume wiederum mit Abdichtungssuspensionen verschlossen werden.

Bei Ausbauverrohrungen mit genügender Restwandstärke und Stabilität können anstelle von Inlinern auch Innenrohrmanschetten zum Einsatz kommen, um Perforationsebenen nach dem Ringraumverpressvorgang abzudecken und zu verschließen, bzw. lokal begrenzte Einzelleckagen wieder abzudichten.

Tabelle 1: Bewertung der Sanierungsverfahren

Brunnensanierung im Vollrohbereich (PST Spezialtiefbau GmbH - Brunnenbau Hamburg - 040/73 59 56-30)						
Übersicht	Überbohrungen		Bohrungen	Einschübe		Perforation
x - möglich o - bedingt mögl. - - nicht möglich	für Nachdichtung	für Nachdichtung mit Sperrohr	für Nachdichtung über Lanzen	mit Ringraumverp.	mit Perforationen für Nachdichtung	mit Nachdichtung Verschluss der Perforation mit Manschetten
Ausbau material						
Stahl roh	X	X	X	X	X	X
Stahl beschichtet	X	X	X	X	X	X
Edelstahl	X	X	X	X	X	X
Kunststoff	O	O	O	X	X	X
Steinzeug	-	-	O	X	O	O
OBO (Holz)	O	O	O	X	X	O



Bild 1: Perforationsdüsenkopf

2.1 Perforation

Um den Ringraum zu erreichen, wird im Vollrohr eine Schlitz- oder Lochperforation hergestellt. Sie kann

- mechanisch über entsprechende Werkzeuge
- durch Schusstechnik mit Hohlladungen
- auf hydraulischem Wege mittels Wasser-Schneidsand-Gemisch hergestellt werden.

Das Material der Vollrohre entscheidet über die Perforationsbearbeitung; die Lage der Perforation richtet sich nach deren Aufgabenstellung bzw. dem Wasserstauer.

Zu beachten ist, dass bei dem Verdacht auf Einbruch der Ringraumverfüllung oder der Gebirgsschichten eine Drucksäule im Vollrohr aufgebaut werden muss. In manchen Fällen ist – abhängig von der Perforationsmethode – eine Auflockerung des Ringraummaterials nach der Perforation erforderlich.

Aus Tabelle 1 ist eine Bewertung der beschriebenen Verfahren in Abhängigkeit vom Ausbaumaterial ersichtlich.

2.2 Ringraumverpressung

Das Eindringen der Abdichtungssuspension in die Perforationszone erfolgt je nach Aufgabenstellung über eine in einen Inliner integrierte Zementierkammer bzw. über ein Doppelpackersystem. Ein Wasserdruckversuch kann Aufschluss über die Aufnahme und

Durchlässigkeit der anstehenden Ringraumverfüllung bzw. Gebirgsformation geben.

Die zu verpressende Suspensionsmenge ergibt sich aus dem Ringraumvolumen zuzüglich eines Verlustzuschlages. Die Kontrolle der Verpresszone erfolgt durch die weiter hinten beschriebenen geophysikalischen Messverfahren. Vom Verpressmaterial sind auf jeden Fall, ähnlich den Betonprobewürfeln, entsprechende Proben zu nehmen und deren Druckfestigkeit zu untersuchen. Aus diesem Grund ist unbedingt auf das Mischungsverhältnis der Suspension zu achten.

Die Verpressung erfolgt über stufenlos druck- und mengenregulierende Injektionspumpen. Der Verpressdruck und die Verpressmenge sollten als Nachweis registriert werden.

Nachdem die Suspension versteift ist, wird der Doppelpacker gezogen und eine Innenrohrmanschette gesetzt.

2.3 Verpressmaterial

Die Zusammensetzung und die Wahl der Verpressmittel richten sich nach der Aufgabenstellung: Z. B. sind Hohlräume aufzufüllen oder ist das anstehende Gebirge nachzudichten und zu verfestigen. Ebenso wird die Viskosität der Suspension nach diesen Kriterien



Bild 2: Perforationsloch mit Materialeintrieb

bestimmt. Eine Rezeptur lässt sich nicht generell aufstellen. Als Verpressmaterialien stehen Tonmehl-Zemente als Fertigmischungen zur Wahl. Bei Verwendung von Zementen gemäß der API-Klassifikation ist auf betonaggressive Kontaminationen zu achten.

Für die Anmischung stehen Aggregate zur Verfügung, die mit Misch-, Dosier- und Vorratsbehältern ausgerüstet sind.

2.4 Die Innenrohrmanschette

Das patentierte Verfahren zur Sanierung bzw. Ringraumabdichtung von Messstellen mittels Innenrohrmanschette ist jetzt auch auf die Durchmesser von Brunnen erweitert worden. Die Manschette wird in dem gereinigten Brunnenrohr über die begrenzte Leckage bzw. Undichtigkeit oder Perforationszone gefahren und dichtet diesen Bereich nach dem Setzvorgang ab.

Die Innenrohrmanschette besteht aus einem mehrlagigen, in sich eingerollten Edelstahlblech, das außen mit einer umlaufenden Gummidichtung mit Dichtungslippen versehen ist. In das Edelstahlblech ist ein Mechanismus zur festen Arretierung der Manschette, vergleichbar mit einem Rasterverschluss, integriert. Die Manschette wird derzeit in Längen von 30 cm gefertigt. Der maximale Innendruck dürfte über dem der Haltbarkeit der Rohre liegen. Die Manschetten führen je nach Durchmesser zu einer Rohrverengung von etwa 8 bis maximal 10 mm. Die Enden der Manschetten sind abgeschrägt und fest an die Rohrwandung gepresst, womit ein »Festhalten« bei der Einfahrt von technischem Gerät weitestgehend ausgeschlossen ist.

2.5 Setztechnologie

Prinzipiell ist der Einsatz der Innenrohrmanschette in allen Arten von Rohren möglich, sofern sie über eine noch ausreichende Festigkeit verfügen. Voraussetzung für den Einsatz der Manschette ist die genaue Kenntnis des Innendurchmessers an der abzudichtenden Stelle im Rohr. Hierzu werden üblicherweise eine hochpräzise Kalibermessung

und eine Brunnen-TV-Untersuchung dem Setzen der Innenrohrmanschette vorangestellt. Die Rohre sollten vor dem Setzvorgang von Verkrustungen gereinigt werden. Bei älteren Stahlrohren ist es ratsam, vor dem Einsatz der Manschette die Restwandstärke (Grad der Durchrostung) mit Hilfe der EMDS – elektromagnetische Wanddickenmessung – zu kontrollieren. Das eigentliche Setzen der Manschetten erfolgt unter Zu-

hilfenahme eines speziellen Packers, mit dem man in der Lage ist, Drücke von bis zu 35 bar zu erzeugen. Mit Hilfe dieses Packers wird die Manschette von innen auf die defekte Stelle gepresst, wobei sich der Rasterverschluss weitet und gleichzeitig gewährleistet, dass beim Ablassen des Packerdrucks diese fest an der Rohrwandung haftet.



Bild 3: Einfädeln des Doppelpackers in das Brunnenmantelrohrsystem 473 mm Ø

Versuche haben ergeben, dass die Manschetten sich auch mit sehr hoher Krafteinwirkung nachträglich nicht mehr verrücken lassen. Das Setzen bzw. Positionieren der Manschetten erfolgt mit Hilfe einer hierfür speziell hergerichteten Bohrlochmessausrüstung. Nach dem Setzen der Manschette werden deren Dichtheit und der richtige Sitz mittels Packertests bzw. einer Brunnenkamera und einer Kalibermessung überprüft.

3. Nachweis von nachträglich verpressten Ringraumabdichtungen

Der eindeutige Nachweis von nachträglich in den Ringraum eingebrachten Abdichtungsmaterialien erfolgt durch eine Kombination der bohrlochgeophysikalischen Messverfahren SGL (segmentiertes Gamma-Log),



Bild 4: Druckprobe vor dem Einbau des Doppelpackers

GG.D (Gamma-Gamma-Dichte) und NN (Neutron-Neutron). Zur Verbesserung der Nachweisfähigkeit der Ton-Zement-Suspension wird diese mit einer geringen Menge Monazitsand (Volumenverhältnis etwa 1:100) versetzt. Dieser Monazitsand bewirkt eine Erhöhung der natürlichen Gamma-Aktivität der Mischung – vergleichbar mit entsprechenden handelsüblich markierten Tonen. Hierdurch wird erreicht, dass sich die Bereiche des Ringraums, in die Ton-Zement-Suspension durch das Verpressen gelangte, bei der Wiederholung der Messung (nach dem Verpressen) deutlich von den unbeeinflussten Bereichen abheben. Als Nachweis der Homogenität der Suspension, d.h. als Beweis dafür, dass beim Verpressen keine Entmischung stattgefunden hat, so-

mit im Extremfall nur ein Monazit-Wassergemisch in die zur Abdichtung vorgesehenen Bereiche gelangte, dienen die NN- und die GG.D-Messungen. Das Neutron-Log reagiert dabei auf den Tongehalt der Ton-Zement-Mischung und das GG.D-Log reagiert auf die Veränderung der Dichte im Ringraum. Die Messungen erfolgen jeweils vor und nach der Verpressung des Ringraums. Vorzugsweise werden die Messergebnisse bei der grafischen Präsentation als Differenzkurven dargestellt.

Beim segmentierten Gamma-Log (SGL) handelt es sich um eine vorwiegend für die Kontrolle von Brunnenabdichtungen entwickelte neuartige Messanordnung, bei der drei um jeweils 120° zueinander versetzte Gammadetektoren, die gegeneinander und gegen das Brunneninnere abgeschirmt sind, simultan gemessen werden. Im Ergebnis entsteht dabei eine bildartige Abwicklung der räumlichen Verteilung der natürlichen Gammaaktivität des gesamten Ringraums des Brunnens. Die speziellen Abschirmungen bewirken dabei, dass weitestgehend nur die Gammastrahlung des jeweiligen Segmentes registriert wird. Durch diese Messanordnung ist der Nachweis einer rundum homogenen Verfüllung des Ringraums und somit die exakte Kontrolle der Wirksamkeit der nachträglich eingebrachten Abdichtung gewährleistet. Das SGL hat sich auch für den »Rundum-Nachweis« herkömmlicher Tonsperren in Brunnen als hervorragend geeignetes Verfahren erwiesen.

Bereits durchgeführt, aber noch in der Erprobungsphase, ist die Kontrolle des Abdichtungserfolges mittels SGL unmittelbar während des Verpressvorganges, wobei allerdings nur der Bereich oberhalb des Packers kontrolliert werden kann. Hierdurch ist es möglich, die Verpressung der Ton-Zement-Suspension zielgerichtet zu steuern, indem zeitgleich mit der Verpressung die Ausbreitung der Suspension hinter der Verrohrung verfolgt wird. Diese Methode spart Zeit und es wird vor allem verhindert, dass zuviel kostenintensive Suspension in den Ringraum verpresst wird. Andererseits werden durch diese Verfahrensweise auch aufwendige Nachverpressungen, wie in der Vergangenheit oft vorgekommen, ausgeschlossen.

4. Praxiseinsatz

Um die vorstehend beschriebene neuartige Technologie in der Praxis zu erproben, wurde an einem Brunnen in Hamburg-Bergedorf (Bild 10) eine derartige Ringraumnachdichtung durchgeführt. Die Abdichtung der Perforationszone erfolgte anschließend durch das Setzen einer Innenrohrmanschette.

Die hydraulische Perforation der Brunnenmantelrohre mit 473 mm Ø und einer Wandstärke von 10 mm, mit anschließender Ringraumverpressung über ein Doppelpackersystem, sollte im Teufenbereich zwischen 26,00 und 41,00 m u. GOK die nicht vorhandene Stauerabdichtung nachträglich herstellen.

Aufgrund der Bauhöhe der Innenrohrmanschette von 30 cm wurde die hydraulische

Perforation in einer Ebene mit 8 Loch in einer Tiefe von 30,40 m u. GOK durchgeführt.

Hierbei wird eine bestimmte Menge an Schneidsand, der mind. 97% SiO₂ enthalten soll, mit einer bestimmten Menge an Wasser kontinuierlich vermischt und einer Hochdruckpumpe zugeführt. Die Hochdruckpumpe drückt das Wasser/Sand-Gemisch über eine Gestängeleitung in den Brunnen bis zu den Düsen. Über Düsen wird die zu perforierende Ausbauserohrung dann mit dem Wasser/Sand-Gemisch beaufschlagt. Bei der hydraulischen Perforation wird gleichzeitig die vorhandene Ringraumverfüllung aufgelockert und ein freier Zugang geschaffen.

Während der Perforationsarbeiten wurde festgestellt, dass sich das Wasser/Sand-Gemisch Wegsamkeiten entlang der Mantelrohre bis zum Gelände geschaffen hatte.



Bild 5: Innenrohrmanschette mit Dichtung



Bild 6: Für den Setzvorgang der Innenrohrmanschette vorbereiteter Einfachpacker

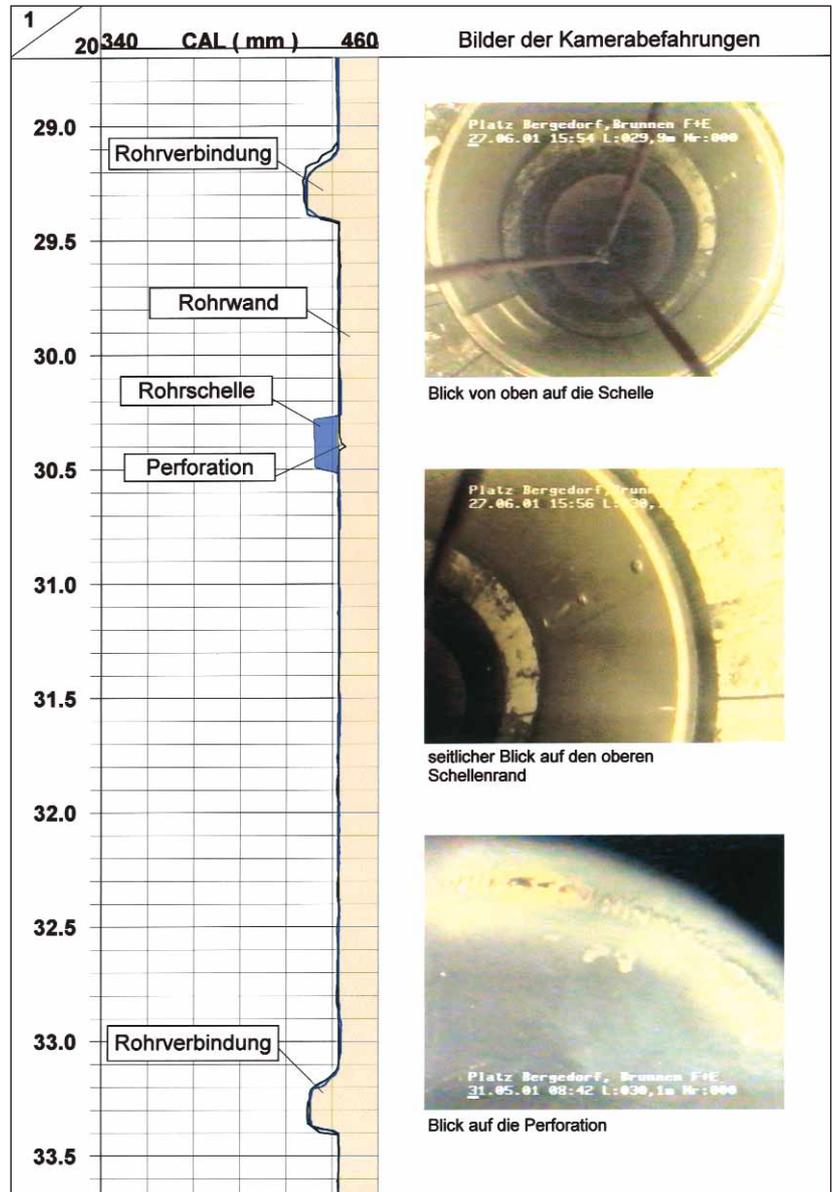


Bild 7: Kaliber-Messung im Bereich der Perforations- und Setzebene der Manschette

Über den Doppelpacker wurde ohne erheblichen Druckanstieg eine Menge von 6 m³ der Abdichtungssuspension in den Ringraum verpresst.

Der Verpressmasse wurde zur Verbesserung der geophysikalischen Nachweisfähigkeit, wie beschrieben, Monazitsand im Verhältnis 1 : 100 zugesetzt. Der Verpressvorgang erfolgte solange, bis die Verpressmasse über die geschaffenen Wegsamkeiten bei GOK austrat.

Bei der verwendeten Trockenmasse für die Suspension handelte es sich um ein Fertigprodukt (Brutoplast) im Verhältnis 70 % Tonmehl und 30 % Trasszement mit einer Dichte von ca. 1,4 bis 1,5 g/cm³.

Das anschließende Setzen der Innenrohrmanschette verlief wie vorstehend beschrieben.

Zwischenzeitlich wurde an einem weiteren Brunnen mit einer Endtiefe von 440 m in Hamburg-Langenhorn in einer Teufe zwischen 130 und 100 m u. GOK eine Ringraumnachdichtung in Verbindung mit der beschriebenen Perforations- und Verpresstechnik sowie einer Innenrohrmanschette mit Erfolg ausgeführt.

In diesem speziellen Fall wurde während der Ringraumverpressung eine SGL-Sonde über das Verpressgestänge gefädelt und in die Nachdichtungszone abgesenkt, um den eigentlichen Verpress- und Nachdichtungsvorgang zu beobachten. Hierbei konnte festgestellt werden, dass mit steigendem Verpressdruck die Dichte der Ringraumverpressmasse zunimmt.

5. Geophysikalische Kontrollmessungen

Die in Bild 11 dargestellten Ergebnisse der bohrlochgeophysikalischen Vermessung vor und nach der Verpressung des Ringraums des Brunnens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die ganz links dargestellte Wanddickenmessung zeigt keine Auffälligkeiten an den Stahlrohren. Deutlich zu sehen ist, dass unterhalb 21 m Stahlrohre mit einer größeren Wandstärke eingebaut wurden.

Nach der erbohrten Lithologie bestand die Auflage, in dem Bereich zwischen 24 bis



Bild 8: Bei der Perforation entstandene Wegsamkeit bis GOK

34 m u. GOK eine Strecke von mindestens 5 m mittels Verpresstechnik nachzudichten.

Sekundäre Veränderungen der Lagerungsverhältnisse und des Stoffbestandes im Ringraum als Folge der Verpressung der markierten Ton-Zement-Suspension sind durch die eingesetzten geophysikalischen Messverfahren (GG/NN/SGL) im Bereich von 0,5 bis 30,5 m u. GOK zu erkennen, wobei sich vier Zonen unterschiedlicher Verpressauswirkungen aushalten lassen:

Zone 1

(0,5 bis 3,4 m u. GOK): Das von unten aufgestiegene Ton-Zement-Gemisch ist weitgehend gleichmäßig im Ringraum verteilt. Es ist eine gute Anbindung an die in dieser Teufenlage anstehenden Kleisedimente gegeben. In der vorher deutlich aufgelockerten Ring-



Bild 9: Bis GOK aufgestiegene Ton-Zement-Suspension

raumstruktur zeigt das Dichtelog als Referenzverfahren eine merkliche Konsolidierung der Verfüllung an.

Zone 2

(3,4 bis 6,0 m u. GOK): Aufgrund der Setzungserscheinungen im Ringraum während des Perforierens der Mantelrohre ist in diesem Teufenbereich, im Vergleich zum Ausgangszustand, eine erhöhte Lagerungsdichte zu ver-

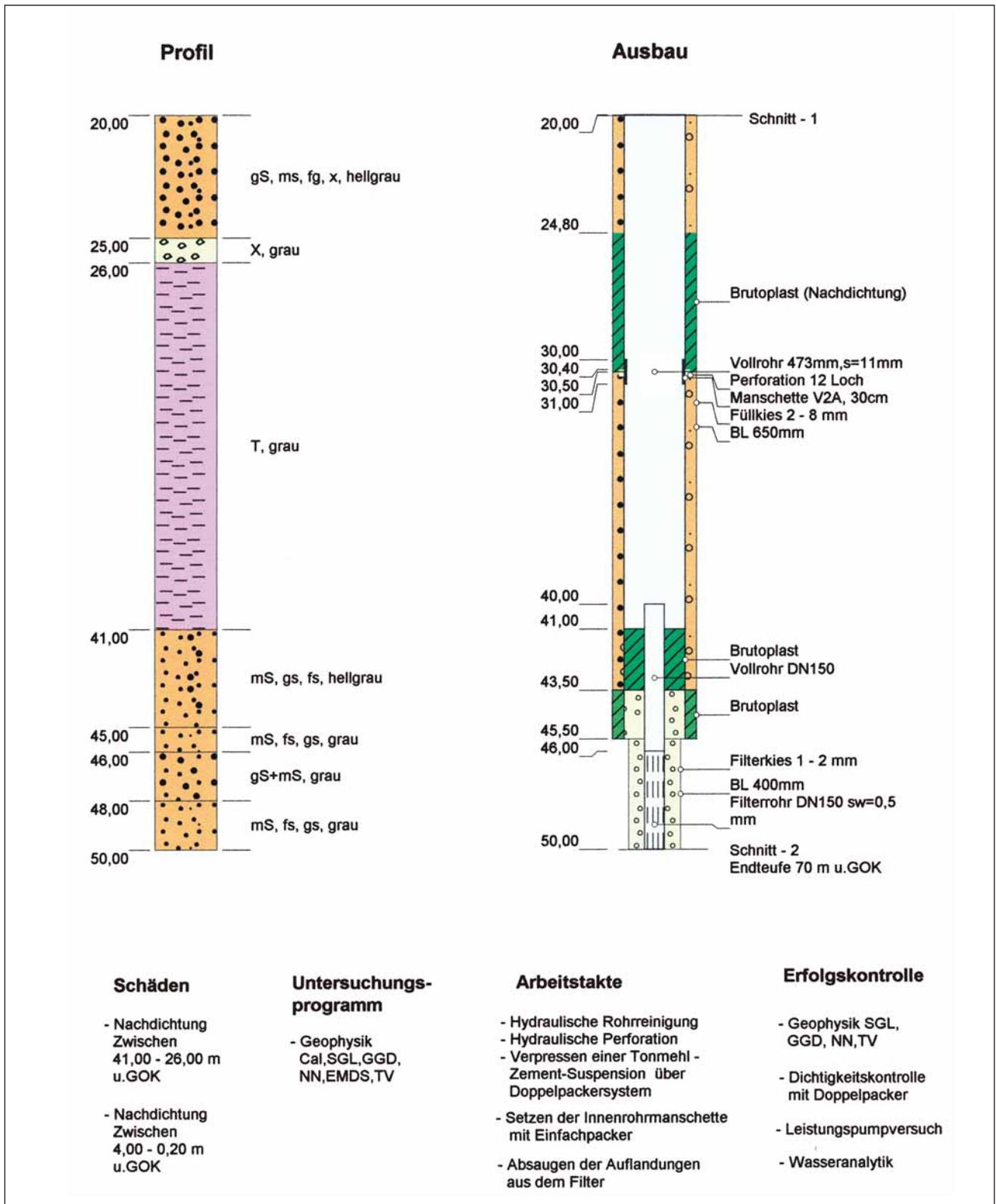


Bild 10: Hamburg-Bergedorf, Brunnensanierung 2001, Ringraumnachdichtung über Manschettensystem

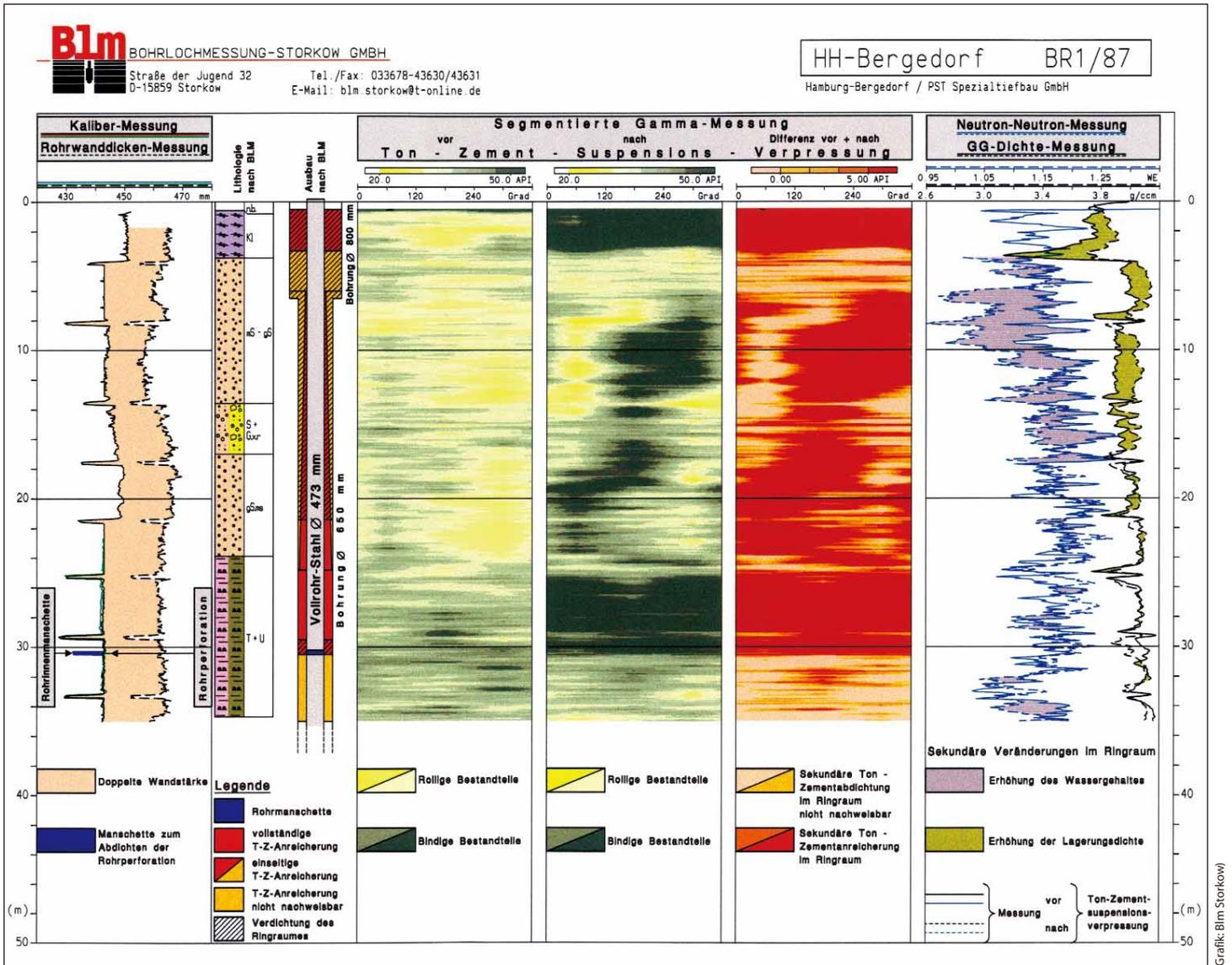


Bild 11: Geophysikalische Bohrlochvermessung vor und nach der Ringraumverpressung

zeichnen. Die Kompression der vorhandenen Ringraumsedimente erfolgte ohne erkennbare Ton-Zement-Anreicherung hinter den Mantelrohren. Es wird vermutet, dass in diesem Brunnenabschnitt das verpresste Dichtungsmittel auf »brunnenfernen« Bahnen, die außerhalb der wirksamen Messteufe der eingesetzten Bohrlochmessverfahren liegen, aufgestiegen ist.

Zone 3

(6,0 bis 24,8 m u. GOK): Die im Liegenden verpresste Ton-Zement-Suspension ist vorzugsweise einseitig orientiert im Ringraum aufgestiegen und hat sich in diesem Brunnenabschnitt nicht, wie gewünscht, im gesamten Ringraum hinter den Mantelrohrwandungen gleichmäßig verteilt. Neutronlog und Dichtelog zeigen die erzielten Änderungen der Lagerungsstruktur ebenfalls an, wobei eine deutliche Teufenabhängigkeit der Verän-

derungen »vor« und »nach« Verpressen in diesem Profilabschnitt auffällt.

Zone 4

(24,8 bis 30,5 m u. GOK): Oberhalb der perforierten Mantelrohre ist die verpresste Ton-Zement-Suspension rundherum im ganzen Ringraum sicher nachweisbar. Das markierte Dichtungsmittel ist im Ringraum gleichmäßig verteilt. Aufgrund der räumlichen Anbindung der sekundären Abdichtung an die in dieser Teufenlage im Gebirge anstehenden Schluffe und Tone ist durch die Maßnahme eine wirkungsvolle hydraulische Sperre im Ringraum entstanden.

Unterhalb von 30,5 m u. GOK bis zur Untersuchungsendteufe (35,0 m u. GOK) sind nach den realisierten Verpressarbeiten keine Änderungen der physikalischen Eigenschaften der Ringraumsedimente feststellbar.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass im Bereich der Zonen 1 und 4 (0,5 bis 3,4 bzw. 24,8 bis 30,5 m u. GOK) der Ringraum gegenüber dem anstehenden bindigen Gebirge allseitig wirkungsvoll abgedichtet wurde. Im Bereich von 3,4 bis 24,8 m u. GOK ist im Ergebnis der durchgeführten Verpressarbeiten die Durchlässigkeit im Ringraum und in angrenzenden Sanden partiell herabgesetzt.

6. Dichtheitskontrolle

Nach entsprechender Abbindezeit des Ton-Zement-Gemisches im Ringraum wurde

die Dichtheit der Innenrohrmanschette überprüft. Zu diesem Zweck wurde ein Doppelpackersystem über den Manschettenbereich gesetzt und der Zwischenraum mit einem Wasserdruck von 20 bar beaufschlagt.

Innerhalb einer Standzeit von 30 Minuten konnte kein Druckabfall registriert werden. Die Manschettendichtung kann somit als absolut dicht angesehen werden.

7. Zusammenfassung

Bisher wurden die Innenrohrmanschetten erfolgreich zur Abdichtung von undichten Gewindeverbindungen in Brunnen und Messstellen eingesetzt.

Weiterhin denkbar ist der Einsatz dieser neuartigen Innenrohrmanschette:

- zur Abdichtung von undichten Rohrverbindungen bei Brunnen- und Messstellen
- zur Abdichtung von mechanisch hervorgerufenen Leckagen bei Brunnen und Messstellen
- zur Abdichtung von begrenzten Durchrostungen bei genügender Restwandstärke bei Brunnen und Messstellen
- zur Abdichtung von sandenden Filterbereichen
- zur Abdichtung von Perforationslöchern nach dem Verpressvorgang bei nachträglich geforderten Ringraumnachdichtungen

Hierzu wird eine mit einem Dichtungselement versehene Edelstahlmanschette verwendet, die mit Hilfe eines speziellen Packersystems an die defekte Stelle von innen angepresst wird. Die Manschette ist mit einem besonderen Verschlussystem versehen, das bewirkt, dass sie nach dem Ablassen des Packerdrukkes fest an der Rohrrinnenwand anliegt. Versuche haben ergeben, dass die eingesetzten Manschetten einem Außendruck von ca. 10 bar standhalten. Der maximale Innendruck, dem die Manschette standhält, liegt über der Haltbarkeit der Brunnenrohre.

Um die neuartige Technologie der Abdichtung von Undichtigkeiten mittels Innenrohrmanschetten auch bei Ringraumnachdichtungen in Verbindung mit Perforations- und Verpresstechniken zu erproben, wurden Versuche an einem Brunnen in Hamburg-Bergedorf und Hamburg-Langenhorn mit positivem Ergebnis durchgeführt. 

Alle Abbildungen (außer Bild 11): PST Spezialtiefbau

Literaturhinweise

DVGW-Merkblatt W 110 (6/1990): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrlöchern und Brunnen zur Erschließung von Grundwasser. – Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn

DVGW-Arbeitsblatt W 115 (3/2001): Bohrungen zur Erkundung, Gewinnung und Beobachtung von Grundwasser. – Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn

DVGW-Arbeitsblatt W 135 (11/1998): Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen. – Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn

ETSCHEL, H. (1986): Nachträgliche Abdichtungsmaßnahmen an Bohrbrunnen. – *bbr Wasser und Rohrbau*, 8, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

NOLTE, L.-P. & RÜBESAMEN, U. (1999): Pflege und Sanierungsmaßnahmen an Brunnenanlagen. – *bbr Wasser und Rohrbau*, 10, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

NOLTE, L.-P. & ROHDE, H. (1994): Verfüllmaßnahmen an Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen – Verfahren zur Einbringung von Tonmehl-Zement-Suspensionen. – *bbr Wasser & Rohrbau*, 12, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

NOLTE, L.-P. & HARTWIG, H. (1998): Pflege, Sanierung und Rückbau von Grundwassermessstellen. – *bbr Wasser und Rohrbau*, 2 und 3, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln

BAUMANN, K. & THOLEN, M. (2002): Mängel an Brunnen und GW-Messstellen. – *bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau*, 1, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln