

# Verstärkte Brunnenalterung bei fehlenden Ringraumabdichtungen

**Bohrlochgeophysik** ■ Ringraumdichtungen, die zum Schutz natürlich getrennter Grundwasserstockwerke installiert wurden, können einen Beitrag zur Verringerung der Brunnenalterung leisten. Bei bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen von Altbrunnen einer Brunnengalerie wurde der Zusammenhang von nicht vorhandenen Tonsperren und einer verstärkten Verockerung der Filterkiesschüttung deutlich.

Nach DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 123, muss der Ausbau eines Brunnens „so erfolgen, dass Grundwasser nur aus einem hydraulisch und hydrochemisch definierten Grundwasserleiter entnommen wird. Dies kann nur über eine geeignete Absperrung gegen die grundwasserüberdeckenden Schichten und gegen andere Grundwasserleiter erreicht werden“ [1]. Diese Regelung ist ursprünglich auf wasserwirtschaftliche Forderungen hinsichtlich des Schutzes der nutzbaren Trinkwasserressourcen vor zum Beispiel anthropogen belasteten Oberflächenwässern oder Tiefenwässern mit geogen erhöhten Salzgehalten zurückzuführen. Häufig wird dabei vergessen, dass mit der Einhaltung der genannten DVGW-Regel in vielen Fällen auch ökonomische Vorteile für den Brunnenbetreiber verbunden sind. Der Grund dafür ist, dass durch die Vermischung von Wässern aus unterschiedlichen Grundwasserleitern – auch wenn diese Wässer einzeln jeweils den Anforderungen der

Trinkwasserverordnung genügen – Verockerungs- und Korrosionsvorgänge gefördert werden können. Die Mehrkosten, die beim Brunnenbau für die Erstellung wirksamer Ringraumabdichtungen anfallen, werden also im Laufe des Brunnenbetriebs durch Einsparungen aufgrund geringerer Brunnenalterung und folglich geringeren Ausgaben für Brunnenregenerierungen in der Regel mehr als wettgemacht.

## Bohrlochgeophysik zum Nachweis von Ringraumabdichtungen

Zur Überprüfung der projektgemäßen Realisierung von Neubaubrunnen sowie zur Erkundung des Zustands von Altbrunnen, für die möglicherweise keine Ausbaudokumentationen vorliegen, werden schon seit Längerem erfolgreich bohrlochgeophysikalische Messverfahren eingesetzt (Abb. 1). Die für die hydraulische Ringraumabdichtung eingesetzten Materialien bestehen in der Regel zu einem hohen Anteil aus bindigen Komponenten. Da diese zu hydraulisch durchlässigen Verfüllgütern kontrastierende petrophysikalische Eigenschaften aufweisen (stärkere Gammaeigenstrahlung und höherer Wasserstoffgehalt), ist der sichere Nachweis von Ringraumabdichtungen durch eine geophysikalische Verfahrenskombination entsprechend DVGW-Regelwerk, Arbeitsblatt W 110 möglich [2]. Dabei kommen das Gamma-Ray-Log (GR) bzw. das sektoriell messende Segmentierte-Gamma-Ray-Log (SGL®) zur Messung der Gammaeigenstrahlung, das Neutron-Neutron-Log (NN) zur Messung des Wasserstoffgehaltes sowie das Gamma-Gamma-Dichte-Log (GG.D) zur Überprüfung der Homogenität und Kompaktheit der Ring-

raumverfüllung zum Einsatz. Zur weiteren Verbesserung der Detektierbarkeit bzw. um den Messaufwand zum eindeutigen Nachweis der hydraulischen Ringraumsperren zu verringern, werden bei Neubauprojekten häufig künstlich gammaaktiv oder magnetisch markierte Abdichtmaterialien eingesetzt, die bereits durch ein einzelnes entsprechendes Messverfahren (Gamma-Ray-Log oder Magnetik-Log bei elektromagnetisch nicht-leitfähiger Verrohrung) sicher nachgewiesen werden können. Die Einschätzung der Funktionalität von Ringraumabdichtungen setzt außerdem eine gute Kenntnis der lithologischen Verhältnisse im Bohrpunkt voraus. Mit dem Induktions-Log (IL.RA) steht bei elektromagnetisch nicht-leitfähigem Ausbau (Kunststoff-Verrohrung, keine magnetisch markierten Abdichtmaterialien) ein bohrlochgeophysikalisches Messverfahren hoher Eindringtiefe zur Verfügung, das Informationen zum Gebirgsaufbau liefern kann.

## Nachweis von Brunnenocker durch Erhöhung der Gammaeigenstrahlung

Der Begriff der Brunnenverockerung bezeichnet die anorganische wie auch biologische Bildung von Oxiden (einschließlich Hydroxiden und Oxihydroxiden) sowie deren anschließende Anreicherung am Brunnenrohrstrang und in den Porenräumen der angrenzenden Filterkiesschüttung. Aufgrund der Häufigkeit ihres natürlichen Vorkommens vollzieht sich der überwiegende Anteil der Ockerbildungen auf der Grundlage der Oxidation von im Grundwasser gelöstem Eisen(II) oder Mangan(II). Die Verockerungen



Abb. 1 Messfahrzeuge im Einsatz

Quelle: Bohrlochmessung-Storkaw GmbH

sind überwiegend das Resultat der Vermischung von Wässern unterschiedlicher physikochemischer Beschaffenheit bzw. des Kontakts von Wasser mit der Atmosphäre, wobei das Brunnenbauwerk gewissermaßen die Funktion eines „Mischreaktors“ einnimmt [3]. Ockerbildungen können an ihren Oberflächen Anionen und Kationen sorbieren sowie Kationen mit ähnlichen Ionenradien wie Eisen(III) in ihre Kristallgitter einbauen [3]. Dadurch kann es im Brunnenocker zur Akkumulation von Schwermetallen und deren radioaktiven Isotopen kommen, wenn diese aufgrund der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse im Grundwasser enthalten sind.

Die als Teilprozess der Brunnenalterung auftretende Brunnenverockerung kann mit bohrlochgeophysikalischen Messverfahren häufig nicht direkt, sondern nur durch ihre Auswirkungen – Verringerung des spezifischen Zulaufs und gegebenenfalls durch Reduzierungen des Rohrinnendurchmessers – bohrlochgeophysikalisch nachgewiesen werden. Es muss in diesem Zusammenhang jedoch angemerkt werden, dass die erwähnten Effekte auch durch andere Prozesse der Brunnenalterung, wie zum Beispiel Versandung und Korrosion, hervorgerufen werden können.

Sind dagegen die radioaktive Isotope des Kaliums, Urans und Thoriums sowie deren radioaktive Zerfallsprodukte im Brunnenocker akkumuliert,

können durch bohrlochgeophysikalische Messungen der Gammaeigenstrahlung (GR oder SGL®) Ockerbildungen in der Filterkiesschüttung oder am Brunnenrohrstrang direkt nachgewiesen werden. Durch ergänzende NN- und GG.D-Messungen muss dabei jedoch ausgeschlossen werden, dass die Erhöhung der Gammaeigenstrahlung durch eine ebenfalls im Zuge der Brunnenalterung mögliche Feinkornanreicherung in der Filterkiesschüttung verursacht wird. Ein sekundär erhöhter Anteil von Feinsand bzw. Schluffkomponenten im Porenraum der Filterkiesschüttung würde zu einer entsprechenden Erhöhung bzw. Erniedrigung der NN-Messwerte (abhängig vom Wasserstoffgehalt) sowie einer Erhöhung der gemessenen Dichten nach GG.D führen, während nicht ausgehärtete Ockerbildungen aufgrund ihrer „amorphen“ lockeren Struktur, keine signifikanten Veränderungen der Dichten und Wasserstoffgehalte verursachen. Die in verockerten Bereichen registrierten Gammastrahlungsintensitäten können außerordentlich hohe Werte erreichen. Bei durch die Bohrlochmessung-Storkow GmbH in der Vergangenheit durchgeführten Brunnenuntersuchungen [4] wurden schon Gammastrahlungsintensitäten in Brunnenfiltern von über 500 API festgestellt (zum Vergleich Strahlungsintensitäten anderer geologischer Materialien: Sande: ca. 5 bis 40 API, Schluffe: ca. 40 bis 90 API, Tone: ca. 80 bis 150 API [5]).

### Zusammenhang zwischen fehlender Ringraumabdichtung und Verockerung mit Bohrlochgeophysik sichtbar gemacht

Durch die Bohrlochmessung-Storkow GmbH wurden jüngst im Rahmen von Routineüberprüfungen im gleichen Zeitraum innerhalb einer Brunnen-galerie mehrere benachbarte, gleichartige Brunnen untersucht, die sich hinsichtlich des Vorhandensein von Ringraumabdichtungen und Brunnenverockerung deutlich unterscheiden und sonst vergleichbare hydrogeologische Standortbedingungen, sowie eine ähnliche Betriebs- und Regenerierungsgeschichte aufweisen.

Die Gleichzeitigkeit der Untersuchungen sowie die Gleichartigkeit der Randbedingungen sind für die Schlussfolgerung eines kausalen Zusammenhangs zwischen fehlenden Ringraumabdichtungen und verstärkter Brunnenverockerung wichtig, da erhöhte radioaktive Ockerbildungen auch in gut abgedichteten Brunnen, die nur einen Grundwasserleiter erschließen, vorkommen können.

Aus der Gesamtheit der untersuchten Brunnen wurden beispielhaft vier Brunnen einer Brunnengalerie ausgewählt. Sie werden im Folgenden entsprechend ihrer örtlichen Reihenfolge als Brunnen 1 bis 4 bezeichnet. Die Brunnen 1, 2 und 3 sind eng benachbart und weisen nur einen geringen lateralen Abstand von ca. 80 - 120 ►

## SiLibeads® – lassen Brunnen länger sprudeln

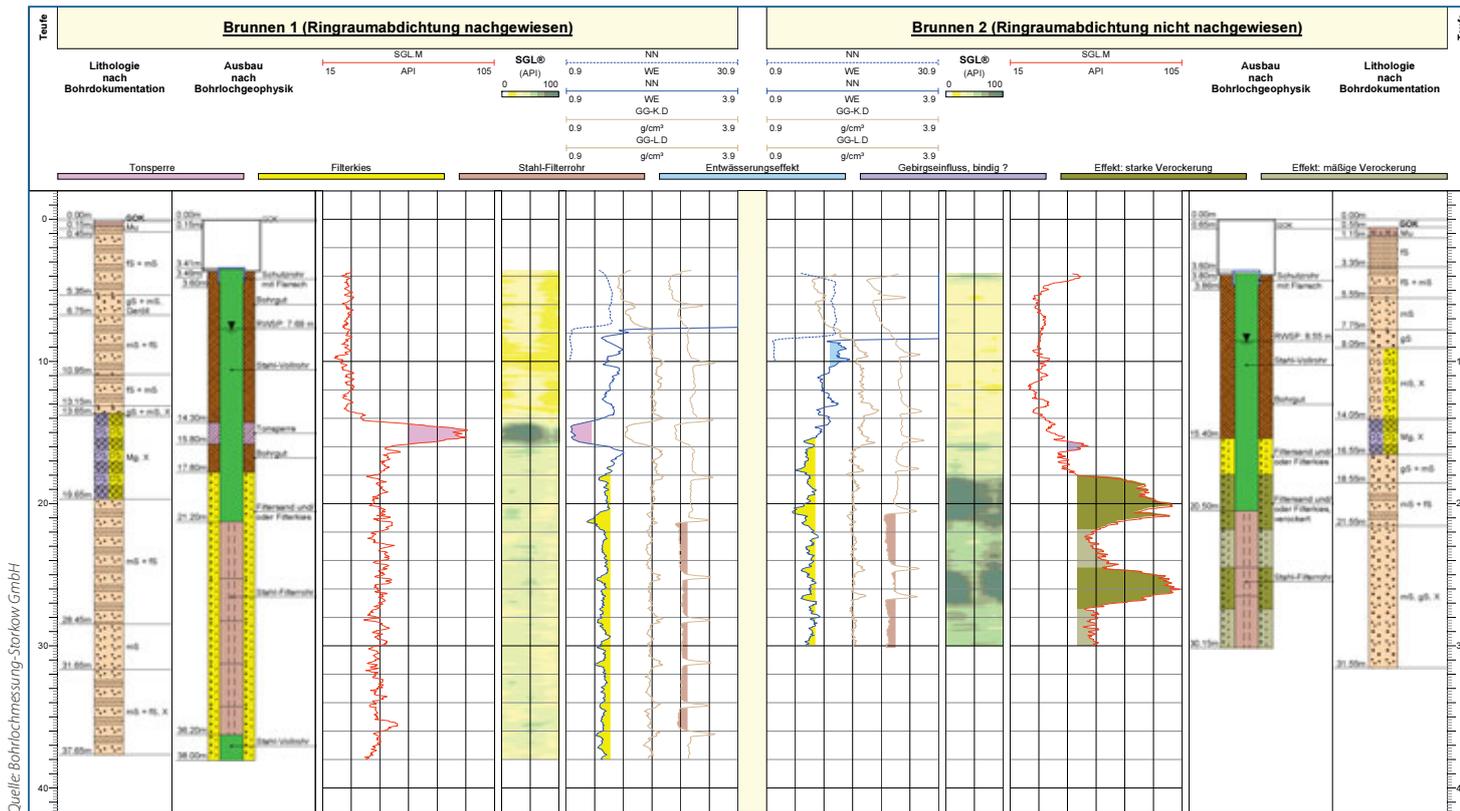
### INNOVATIONS

#### Glaskugeln zur Ringraumverfüllung in Trinkwasserbrunnen

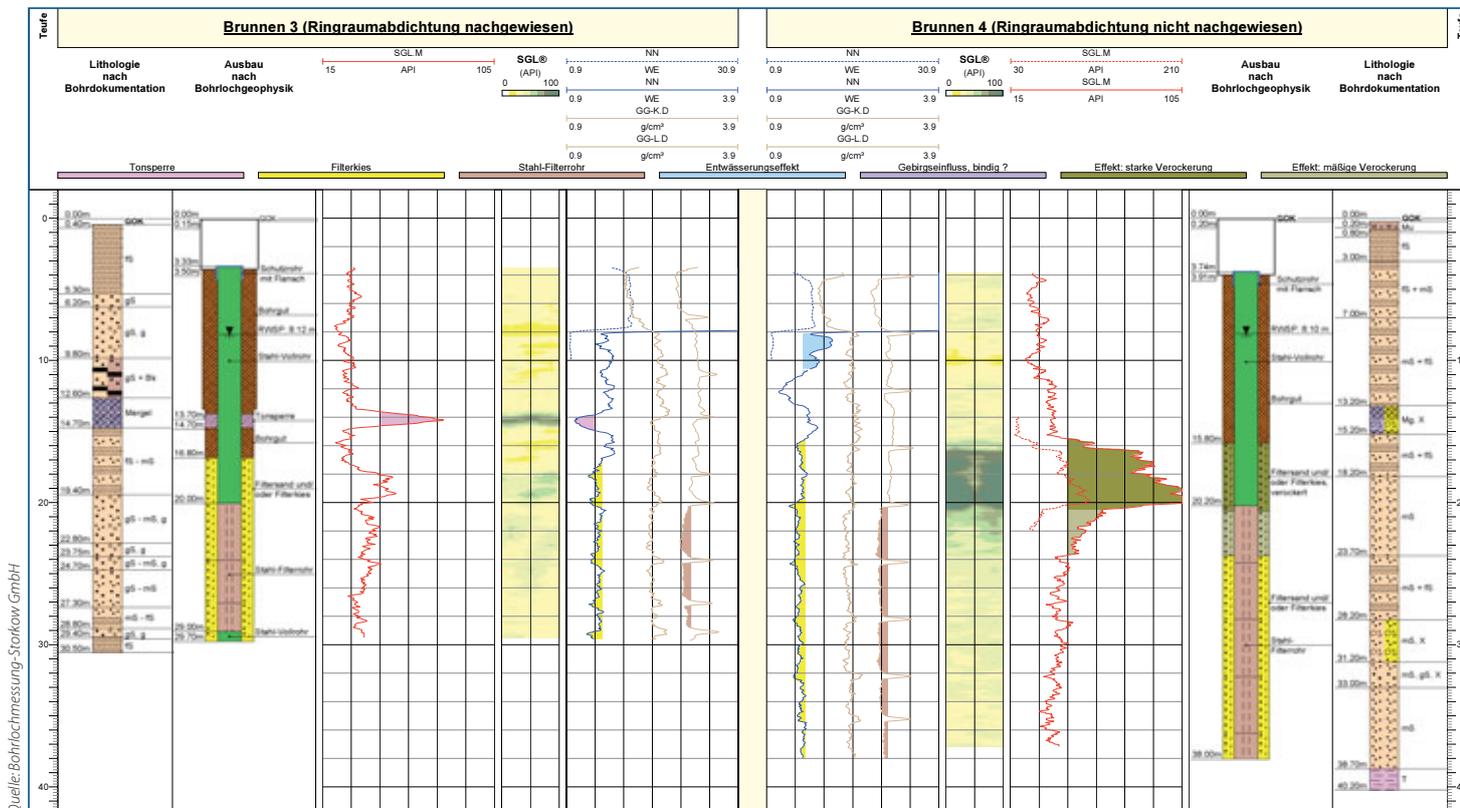
- Höchstmöglicher wirksamer Porenraum durch exakt gleiche Korngröße und Kugelform
- Optimale Anpassung der Schlitzweite der Filterrohre, da eine Einkornschüttung möglich ist
- Geringere Kosten für das Sauberpumpen
- Desinfektionskosten vor dem Einbau entfallen
- Glaskugeln haben eine höhere Druckfestigkeit als Filterkies
- Kaum Brückenbildung beim Ausbau der Trinkwasserbrunnen mit Glaskugeln

SIGMUND LINDNER GmbH • Oberwarmensteinacher Str. 38 • D-95485 Warmensteinach  
Phone (+49) 92 77 - 99 40 • Fax (+49) 92 77 - 9 94 99 • E-Mail: sili@sigmund-lindner.com • [www.sili.eu](http://www.sili.eu)





**Abb. 2** Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen in den Brunnen 1 und 2



**Abb. 3** Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen in den Brunnen 3 und 4

Meter zueinander auf. Der Brunnen 4 folgt mit einem Abstand von ca. 630 Metern zu Brunnen 3. Die untersuchten Brunnen verfügen nach den Brunnen-

dokumentationen über den gleichen Rohrausbau (DN 400, Stahlverrohrung mit Rilsanbeschichtung) und vergleichbare Bohrdurchmesser (800 bis

932 mm). Beim Bau der Brunnen wurde nach den Bohrschichtenverzeichnissen in jeweils ähnlichen Tiefenbereichen (ca. 12,5 Meter bis maximal

19,5 Meter) eine Geschiebemergelschicht durchteuft. Dieser Grundwassergeringleiter ist im Bereich der untersuchten Brunnengalerie flächenhaft verbreitet. Aufgrund dessen sind hier oberflächennah zwei unterschiedliche, natürlich hydraulisch voneinander getrennte, Grundwasserleiter vorhanden. Alle vier Brunnen wurden im unteren, bedeckten Grundwasserleiter verfiltert. Die Filteroberkanten der Brunnen befinden sich in nahezu der gleichen Teufe (20,00 bis 21,20 Meter). In den Brunnen wurden zum Untersuchungszeitpunkt vergleichbare Grundwasserstände registriert (ca. 8 Meter). Vor der Außerbetriebnahme, die zeitnah vor den geophysikalischen Untersuchungen erfolgte, wurde aus den Brunnen mit vergleichbaren Förderraten Wasser gewonnen. Regeneriermaßnahmen wurden letztmalig im Jahr der geophysikalischen Messungen durchgeführt. Diese umfassten eine mechanische Reinigung, Sprengschocken® sowie eine abschnittsweise Intensiventnahme.

Für die bohrlochgeophysikalische Zustandskontrolle der Brunnen kamen die Messverfahren Segmentiertes Gamma-Ray-Log®, Neutron-Neutron-Log und Gamma-Gamma-Dichte-Log mit kurzer und langer Messreichweite zum Einsatz. Die Mess- und daraus abgeleiteten Interpretationsergebnisse zum Brunnenausbau sind zusammen mit den dazugehörigen lithologischen Bohrschichtenverzeichnissen in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

Bei den Brunnen 2 und 4 konnten nach SGL und NN keine Ringraumabdichtungen nachgewiesen werden. Eine beim Brunnen 2 festgestellte geringe lokale Erhöhung der Gammaeigenstrahlung zwischen 15,7 bis 16,3 Meter hat keine Entsprechung im NN-Log und ist demnach eher auf den Einfluss bindiger und/oder kiesiger Bestandteile im durchteuften Geschiebemergel zurückzuführen. Nach SGL® wird beim Brunnen 2 nahe der Filteroberkante sowie im mittleren Filterabschnitt eine starke und dazwischen bzw. darunter eine mäßige Erhöhung der Gammaeigenstrahlung registriert. Beim Brunnen 4 wird ein ähnlicher Bereich mit stark erhöhter Gamma-

eigenstrahlung ebenfalls nahe der Filteroberkante beobachtet sowie mäßig erhöhte Gammastrahlungsintensitäten im obersten Filterrohr gemessen. Nach NN und GG-L.D gibt es keine Hinweise, dass die Filtersand- bzw. Filterkiesschüttung in den genannten Teufenbereichen feinkörnig-bindige Bestandteile aufweist, sodass die registrierte erhöhte Gammaeigenstrahlung auf Brunnenverockerung zurückgeführt werden kann.

In den Brunnen 1 und 3 konnten nach SGL® und NN allseitig kompakt realisierte Tonsperren nachgewiesen werden, die sich in beiden Fällen innerhalb der durchteuften Geschiebemergelschicht befinden. Im Bereich der Filterstrecken dieser Brunnen wurden nach SGL® keine anormal erhöhten Gammastrahlungsintensitäten, welche auf eine starke Brunnenverockerung zurückgehen, festgestellt.

Die Ursachen für den festgestellten unterschiedlichen Verockerungsgrad in den Brunnen 1 und 3 im Vergleich zu Brunnen 2 und 4 sind auf die unterschiedliche Durchlässigkeit der Ringräume der Brunnen im Bereich des durchteuften Grundwassergeringleiters zurückzuführen. Unter Förderbedingungen läuft den Brunnen 2 und 4 Fremdwasser aus dem oberen, unbedeckten Grundwasserkörper über den

unabgedichteten Ringraum zu. Durch die Vermischung mit Wasser aus dem verfilterten Grundwasserleiter kommt es aufgrund der voneinander abweichenden physikochemischen Eigenschaften der Wässer (z. B. beim Sauerstoffgehalt) zu vermehrter Ockerbildung mit begleitender Akkumulation radioaktiver Spurenelemente. Die Brunnen 1 und 3, bei denen Ringraumabdichtungen innerhalb des Geschiebemergels nachgewiesen werden konnten, sind unter vergleichbaren Randbedingungen nicht im gleichen Ausmaß von Verockerung betroffen.

Auch wenn der betreffende Brunnen abgeschaltet ist, kommt es insbesondere bei laufender Förderung aus den Nachbarbrunnen aufgrund der Druckverhältnisse zu einem von oben nach unten gerichteten Fließen. In diesem Fall ist ein größerer Tiefeneinfluss des Wassers aus dem oberen Grundwasserleiter als bei Brunnenbetrieb zu erwarten.

Als mögliche Ursachen für die mit der Tiefe variierenden Intensitäten der Gammaeigenstrahlung (und damit der Verockerung) bei den Brunnen 2 und 4 kommen vertikal ungleichmäßige Ergiebigkeiten, eine unterschiedliche Effektivität der vorangegangenen Regenerierungen sowie eine entsprechende vertikale physikochemische

**EDELSTAHPUMPEN**  
für BRUNNEN-  
und ANLAGENBAU

**QUALITY**  
FROM A DIFFERENT  
POINT OF VIEW. YOURS.

**EBARA**

**EBARA Pumps Europe S.p.A.**  
Niederlassung Deutschland  
Philipp-Reis-Straße 15  
63128 Dietzenbach  
Tel.: 06074 82 79-0  
Fax: 06074 82 79-45  
email: info@ebara.de  
web: www.ebara.de

Halle 9.1  
Stand M7 - N8  
ACHEMA 2009  
September 14-18, 2009  
Frankfurt am Main

## Sondier- spitzen

- DPH (SRS 15)



## Boden- kappen

- von DN 50 – DN 200  
- Material PP



## Verschluss- kappen

- Material PA 6  
- versch. Größen  
- 2" – 6"



## Michael Colshorn

Neuffenstraße 78  
D 73240 Wendlingen  
Telefon:  
07024/929242  
Telefax:  
07024/929244  
www.m-colshorn.de



Zonierung des Wassers innerhalb der Filterkiesschüttung im Betriebs- und Ruhezustand der Brunnen infrage. Diese Ursachen können auch zusammen auftreten, was zum Beispiel für die Vollrohrbereiche direkt oberhalb der Filteroberkante beider Brunnen zutrifft. Hier können die Regeneriermaßnahmen nicht oder nur sehr eingeschränkt wirken und die Anströmgeschwindigkeiten sind durch Hinterrohrzirkulation, d. h. den zusätzlichen Zufluss aus Bereichen des Grundwasserleiters oberhalb der Filteroberkante über die Filterkiesschüttung, erhöht. Gleichzeitig ist hier der verockerungsverstärkende Einfluss des Wassers aus dem oberen, unbedeckten Grundwasserleiter unter Förderbedingungen am höchsten. Beim Brunnen 2 gibt es nach GG.D Hinweise, dass im mittleren Filterabschnitt ein abweichender Filterrohrtyp mit geringerer Schlitzweite und/oder Schlitzdichte und demzufolge geringerer hydraulischer Durchlässigkeit eingebaut wurde, sodass die vorangegangene Regenerierung hier vermutlich weniger wirksam gewesen ist.

Ein weiterer Messeffekt, der die obige Interpretation des Fließgeschehens unter Förderbedingungen bei beiden Brunnen bestätigt, ist die gemessene Erhöhung der Neutronenzählraten (geringere Neutronendämpfung) bei den Brunnen 2 und 4 zwischen dem Ruhewasserspiegel im Rohrstrang und etwa 10,5 Meter. Diese NN-Anomalie ist auf einen erhöhten Luftbläschenanteil im Porenraum der Ringraumverfüllung zurückzuführen, der bei Wiederanstieg des vormals abgesenkten Grundwasserspiegels aufgrund der körnungsabhängigen Hysterese zwischen Ent- und Bewässerung (pF-Kurve) zurückbleibt. In den Brunnen 1 und 3 ist ein solcher Entwässerungseffekt innerhalb des oberen Grundwasserleiters nicht sichtbar. Der Wasserspiegel im Ringraum innerhalb des

oberen, unbedeckten Grundwasserleiters senkt also bei Betrieb der Brunnen 2 und 4 mit ab, wobei zu erwarten ist, dass die entsprechende Absenkung im angrenzenden Gebirge deutlich geringer ist, da die Bohrlochwand dort nicht entwickelt werden konnte. Dahingegen wurde durch den Einbau der Tonsperren im Ringraum der Brunnen 1 und 3 eine hydraulische Trennung der beiden Grundwasserleiter erzielt und dementsprechend ist bei Förderung aus diesen Brunnen keine Reaktion des oberen Grundwasserleiters zu verzeichnen.

Ähnliche Beobachtungen, die den Zusammenhang zwischen der Verbindung zweier Grundwasserleiter über den Ringraum und verstärkter Verockerung aufzeigen, konnten auch noch bei den anderen untersuchten Brunnen der Brunnengalerie gemacht werden.

### Fazit

Es ist bekannt, dass die Vermischung von Wässern aus unterschiedlichen Grundwasserleitern die Brunnenverockerung und damit die Brunnenalterung erheblich verstärken und beschleunigen kann. Durch bohrlochgeophysikalische Untersuchungen von Brunnen, deren Standortbedingungen sowie Betriebs- und Regenerierungsgeschichte vergleichbar sind, sich aber hinsichtlich des Vorhandenseins von Ringraumabdichtungen unterscheiden, konnte dieser Effekt sichtbar gemacht werden. Es ist daher neben der Ausbaukontrolle von Neubaubrunnen gerade bei Altbrunnen in vielen Fällen sinnvoll, bohrlochgeophysikalische Untersuchungsmethoden zur Erkundung des tatsächlichen Brunnenausbaus einzusetzen, um damit die Ursachen für verstärkte Brunnenalterung aufzuklären und diese Erkenntnisse als Planungsgrundlage für eine effektive Brunnenregenerierung bzw. Brunnen-sanierung zu nutzen.

### Literatur

- [1] DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilung, Arbeitsblatt W 123: „Bau und Ausbau von Vertikalfilterbrunnen“, 09/2001.
- [2] DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilung, Arbeitsblatt W 110: „Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen - Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen“, 06/2005.
- [3] Houben G., Treskatis C.: „Regenerierung und Sanierung von Brunnen“, Oldenbourg Industrieverlag München, 2003.
- [4] Baumann K., Puchert W.: „Radioaktivität in Brunnen und im Förderwasser - ein Phänomen?“, in bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 06/2007.
- [5] Fricke S., Schön J.: „Praktische Bohrlochgeophysik“, Enke im Georg-Thiem Verlag Stuttgart, 1999.

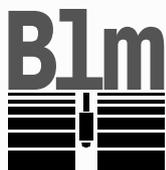
### Bezug der DVGW-Merk- und Arbeitsblätter:

wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH  
Josef-Wirmer-Str. 3  
53123 Bonn  
Tel.: 0228 9191-40  
Fax: 0228 9191-499  
E-Mail: info@wvgw.de  
Internet: www.wvgw.de

### Autoren:

Dipl.-Geol. Falk Triller  
Dipl.-Ing. Thomas Voß  
Dipl.-Geol. Karsten Baumann  
Bohrlochmessung-Storkow GmbH  
Schützenstr. 33  
15859 Storkow (Mark)  
Tel.: 033678 4363-4  
Fax: 033678 4363-1

E-Mail: triller@blm-storkow.de  
voss@blm-storkow.de  
baumann@blm-storkow.de



**BOHRLOCHMESSUNG - STORKOW GmbH**

D-15859 Storkow - Schützenstraße 33

Tel./Fax: +49 33678 436 30 / 436 31 - <http://www.blm-storkow.de>

**Geophysikalische Messungen und  
Kamerabefahrungen in Brunnen und Grundwassermessstellen**