

Einsatz von Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen

Ringraumverfüllung ■ Für die Abstützung von Bohrlöchern zur Wassergewinnung wurden als Ringraumverfüllung zwischen Bohrlochwand und Ausbaurohr bisher ausschließlich Sand und Kies gemäß DIN 4924 verwendet. Dieses natürlich vorkommende Material wird immer knapper, die gelieferte Qualität genügt oft nicht den Mindestanforderungen für den Ausbau von Brunnen. Auf der Suche nach Alternativen ist die Firma Ochs Bohr GmbH überzeugt, mit Kugeln aus Glas das ideale Verfüll- bzw. Stützmaterial für den modernen Brunnenbau gefunden zu haben. Seit September 2007 werden deshalb überwiegend Glaskugeln anstelle von Sand oder Kies in Bohrungen zur Wassergewinnung eingebaut.

Für die Gewinnung von Grundwasser oder für die Messung von Grundwasserspiegeln ist es notwendig, vertikale Bohrungen in den Grundwasserleiter abzuteufen. Je nach Anforderung werden genormte Ausbaurohre aus Stahl oder PVC in das Bohrloch gehängt. Anschließend wird der Ringraum zwischen Filterrohr und Bohrlochwand mit genormten Sanden oder Kiesen verfüllt. Der gemäß DVGW-Merkblatt W 113 ermittelte Kies/Sand, manchmal auch sinngemäß falsch als Filterkies/-sand bezeichnet, soll Folgendes gewährleisten:

- optimale hydraulische Erweiterung der Filtereintrittsfläche bis zur Bohrlochwand,
- Zurückhalten des anstehenden Grobkornanteils,
- Durchlassen des Feinstkornanteils beim Entwickeln oder Entsandern,
- Bildung eines Stützkornes zwischen Brunnenrohr und Bohrlochwand, aber keinesfalls
- Filtern von Unterkorn oder Trübstoffen.

Der in einen Brunnen eingebaute Sand oder Kies soll stützen, nicht filtern. Das Filtern ist den Sanden und Kiesen gemäß DIN EN 12904 (ehemals DIN 19623) vorbehalten.

Sande und Kiese laut DIN 4924 sind ungebrochene natürliche Quarzsande und -kiese, keine gequetschten oder gebrochenen Mineralstoffe (Abb. 1). Die Anforderungen im Einzelnen sind:

- stetiger Aufbau der Korngrößenverteilung innerhalb der einzelnen Korngruppen,
- mindestens 96 Prozent SiO₂-Massenanteil,
- maximal 1 Prozent Massenanteil abschlämmbare Bestandteile,
- keine organischen Stoffe,
- keine Abgabe von Geschmack, Geruch, Farbe oder gesundheitsschädlichen Stoffen in hygienisch bedenklichen Mengen an das Grundwasser,
- in den Korngruppen bis 5,6 Millimeter sollte die Form der einzelnen Körner mindestens kantengerundet sein,
- höchstzulässiger Massenanteil an Unterkorn 12 Prozent, an Überkorn bis 15 Prozent.

Obwohl gerade die zwei letztgenannten Punkte die optimale Eignung für den Brunnenbau stark einschränken, muss der Brunnenbauer mit dem laut DIN 4924 gelieferten Produkt zurechtkommen. Häufig hat der Brunnenbauer als Lieferant



Abb. 1 Quarkies, Körnung 5,6 bis 8,0 Millimeter gemäß DIN 4924



Abb. 2 Beispiel für verstopfte Filterschlitzöffnungen ohne Verockerung

des Brunnenkieses Ärger und Diskussionen mit Auftraggebern, da die Form der einzelnen Kieskörner, die für das Brunnenbauwerk vorgesehen sind, nicht einmal annähernd als kugelig bezeichnet werden kann. Es ist offensichtlich, dass die gelieferten Kiese manchmal wie gebrochen aussehen, obwohl dies laut DIN 4924 nicht sein sollte.

In der Praxis wird der Kies in Big-Packs oder Säcken angeliefert. Das Unterkorn liegt meist, vor dem Einbau nicht zu erkennen, im unteren Bereich der Verpackungen. Werden z. B. beim Schütten des Kieses etwas längere Pausen gemacht, können sich wasserdichte Sedimentschichten aus Unterkorn innerhalb der Kiesschüttung bilden.

Die in den Ringraum zwischen Brunnenrohr und Bohrlochwand geschütteten Unterkornmengen im Zuge des Ver Kiesens sind beachtlich. Nimmt man häufig verwendete Größenwerte an, Ausbau DN 400/Bohrdurchmesser 700 Millimeter oder Ausbau DN 300/Bohrdurchmesser 600 Millimeter, dann werden je laufendem Meter Brunnenverfüllung ca. 0,25 Kubikmeter Sand oder Kies benötigt. Bei einem nur zehnpromzentigen Unterkornanteil befinden sich 25 Liter davon, das sind 2 1/2 Bau-Eimer voll, in jedem Meter Brunnentiefe. Diese müssen mühselig und kostenintensiv aus dem Ringraum im Zuge der Brunnenentwicklung ausgespült werden. Man muss davon ausgehen, dass Filterschlitzöffnungen schon bei der Entwicklung mit dem Kies-/Unterkornkonglomerat verschlossen werden (Abb. 2 + 3). Nachteilig für den Brunnenbau ist deshalb vor allem das Unterkorn und die (nie auch nur annähernd runde) Form der einzelnen Sand- oder Kieskörner, die keine ausreichend großen Porenräume zwischen den einzelnen Körnern zur Folge hat.

Bei Brunnenanierungen konnte häufig festgestellt werden, dass Unterkornanteile der Kiesschüttung fest in den Schlitzbrücken der Filterrohre eingeklebt waren und diese annähernd vollständig verschlossen (Abb. 4). Ebenso konnte man, vor allem bei Einsatz von Druckwellenimpulsverfahren, nach Regenerierarbeiten ein verstärktes Absanden des Kiesmaterials beobachten. Gerade im Verlauf von intensiven Brunnenregenerierarbeiten zeigt sich, dass die



Abb. 3 Rückgebauter Schlitzbrückenfilter mit starker Manganverockerung

Brunnenkiese der mechanischen Belastung nicht immer standhalten, da vereinzelt abweichend von der DIN 4924 gebrochenes und nachgerundetes Material auf dem Markt ist. Die dadurch verursachte und vom Regenerierer nicht zu vermeidende Filterschlitzkolmation kann eine stärkere Absenkung des Wasserspiegels verursachen als vor Durchführung der Arbeiten.

Nicht zu unterschätzen ist auch der oft erhebliche Staubanteil in den Brunnenkiesen und -sanden. Silikatstaub kann gefährliche Lungenschäden verursachen. Entsprechende Sicherheitsvorkehrungen, wie das Tragen von Staubmasken, sind einzuhalten. In der Brunnenbohrung können diese feinen Schlämme durchaus kleinere Porenräume dauerhaft verschließen. Im Zuge der Ringraumverfüllung muss das vorhandene Wasser verdrängt werden. Dadurch wird ein starker Überdruck im Bohrloch gegenüber dem vorhandenen Akquifer aufgebaut und durch den Druckausgleich das Unterkorn in die Wasserwege gedrückt. So kann es selbst bei sehr tief liegenden Wasserspiegeln unter 50 Meter vorkommen, dass die Wassersäule ansteigt und der Brunnen vorübergehend überläuft. Die Feinstoffe im Kies werden somit in solchen Fällen mit Überdrücken von 5 bar, dies entspricht 50 to/m², in die Bohrlochwand gepresst. Nicht selten konnten deshalb nach dem Brunnenausbau nicht mehr dieselben Wassermengen wie aus dem offenen Bohrloch abgepumpt werden. In solchen Fällen ist dem Brunnenbauer kein Vorwurf zu machen, da er, den allgemein anerkannten Regeln entsprechend, Quarzkies gemäß DIN 4924 eingebaut hat. Einmal abgedichtete Wasserwegsamkeiten innerhalb des Aquifers wieder freizuspülen ist aufwendig und nicht immer erfolgreich. Zusammenfassend haben die natürlichen Materialien Sand oder Kies folgende Nachteile:

- keine kugelige Form,
- hoher Unter- und Überkornanteil,
- hoher Anteil an Staub oder abschlämmbaren Stoffen,
- Sauberpumpen und Desinfektion nötig,
- keine zufriedenstellende Festigkeit,
- kostenintensive Entwicklungsarbeiten erforderlich,
- Kolmation der Filterschlitze möglich.



Abb. 4 Durch Unterkorn kolmatierter Schlitzbrückenfilter (aus aufgelassenem Brunnen)

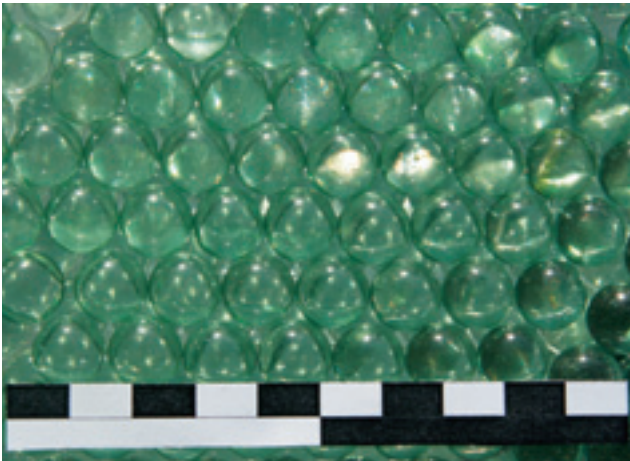


Abb. 5 Glaskugeln mit einem Durchmesser von 12 Millimeter

Glaskugeln

Als alternatives Stützmaterial bietet sich der Einsatz von Glaskugeln an (Abb. 5). Diese haben folgende Vorteile:

- höchstmöglicher wirksamer Porenraum durch exakt gleiche Korngröße und ideale Kugelform,
- Schlitzweite der Filterrohre kann optimal angepasst werden, da eine Einkornschüttung möglich ist,
- kein Sauberpumpen bzw. Reinigen des Glasmaterials notwendig,
- keine Desinfektion vor dem Einbau notwendig,
- geringstmögliche und glatte Oberfläche, dadurch Verzögerung von Eisen- und Manganverockerungen,
- optimale Regenerierbarkeit durch große Porenräume,
- keine nachträglichen Setzungen,
- dank geringer Materialreibung ist das Einbringen des Glasmaterials auch in enge Ringräume ohne Gefahr einer Brückenbildung möglich,
- höhere Materialfestigkeit der Glaskugeln im Vergleich zum Quarzkies,
- bei Kamerauntersuchungen innerhalb von Wickeldrahtfilterrohren sind Verockerungen oder Fremdmaterial bzw. -körper im Ringraum sehr gut erkennbar.

Matereialeigenschaften der Glaskugeln

Die chemische Zusammensetzung der Glaskugeln aus Kalxnatronglas ist im Wesentlichen:

SiO ₂ :	MA.-%	72,50
Na ₂ O:	MA.-%	13,00
CaO:	MA.-%	9,06
MgO	MA.-%	4,22
Sonstige:	MA.-%	1,22

Die Glaskugeln werden je nach Durchmesser mit verschiedenen Verfahren gefertigt (Abb. 6). Alle Inhaltsstoffe des Glases sind nicht eluierbar und werden deshalb nicht freigesetzt. Aus Sicherheitsgründen wurden trotzdem vor dem erstmaligen Einbau des Materials entsprechende Auswaschversuche im Labor AIR Nürnberg durchgeführt. Das Ergebnis war, wie erwartet, dass keinerlei Fremdstoffe durch das Glas an das Wasser abgegeben werden.

Festigkeit

Die Festigkeit der Glaskugeln ist abhängig vom Kugeldurchmesser. Grundsätzlich gilt die gleiche Faustformel wie bei Sanden oder Kiesen: je größer der Kugeldurchmesser, desto höher die Festigkeit.

Im Labor des Glaskugelherstellers Sigmund Lindner GmbH wurden Festigkeitsuntersuchungen an Glaskugeln und im Vergleich dazu an Quarzkieskörnern durchgeführt. Die dafür verwendete Druckapparatur übte einen axialen Druck auf die Glaskugeln bzw. Kieskörner aus (Abb. 7). Getestet wurden Quarzkieskörner der Körnung 5,6 bis 8,0 Millimeter von zwei verschiedenen Lieferanten. Im Vergleich dazu auch Glaskugeln mit dem Durchmesser 2,5, 9,0 und 12,0 Millimeter. Untersucht wurden von allen Kategorien jeweils fünf einzelne Probestücke. Dabei ergaben sich die Werte gemäß Tabelle 1 (kN). Das Bruchverhalten der Kieskörner war ein im Verlauf des Druckversuches immer stärker werdendes „Zerbröseln“, während die Glaskugeln nach Erreichen der Bruchlast schlagartig in kleinste Stücke zerbrachen.

Chemische Beständigkeit

Es existieren Untersuchungen von Glas gemäß DIN 12116 Beständigkeit gegen eine siedende wässrige Salzsäurelösung sowie DIN ISO 695 Beständigkeit gegen eine siedende wässrige Mischlauge. Dabei werden die Glasproben in kochende Säuren bzw. Laugen gegeben. Die Untersuchungsergebnisse ergaben eine Säurebeständigkeitsklasse S2 (schwach säurelöslich) und A2 (mäßiger Angriff durch Laugen). Setzt man die Verhältnisse in Brunnen voraus, ist von keinerlei Gefährdung des Materials, auch bei temporären Einsätzen von Säuren (Regenerierung) oder Laugen (Desinfektion) auszugehen.

Größe und Gewicht

Die Glaskugeln sind in den Größen von ca. 0,25 bis 18 Millimeter lieferbar. Eine Kugel mit einem Durchmesser von 12 Millimeter hat ein Gewicht von etwa 2,26 Gramm. Je Kilogramm werden ca. 442 Kugeln benötigt. Anhand des Schüttgewichtes können die Oberflächen und freien Porenräume der Glaskugelschüttung berechnet werden.

Wirtschaftlichkeit

Die Beschaffungskosten der Glaskugeln sind von der Größe abhängig. Kleinere Durchmesser bis 4,5 Millimeter sind etwas günstiger als große Durchmesser bis 16 Millimeter. Die

Material	Mittelwert	Min. Wert	Max. Wert
Kies 1, 5, 6 – 8,0 mm	0,738	0,439	1,182
Kies 2, 5, 6 – 8,0 mm	0,870	0,384	1,128
Glaskugel D = 2,5 mm	1,141	0,885	1,334
Glaskugel D = 9 mm	11,105	8,051	14,573
Glaskugel D = 12 mm	14,201	11,616	15,951

Tabelle 1 Festigkeitswerte Glaskugel/Quarzkies (kN)

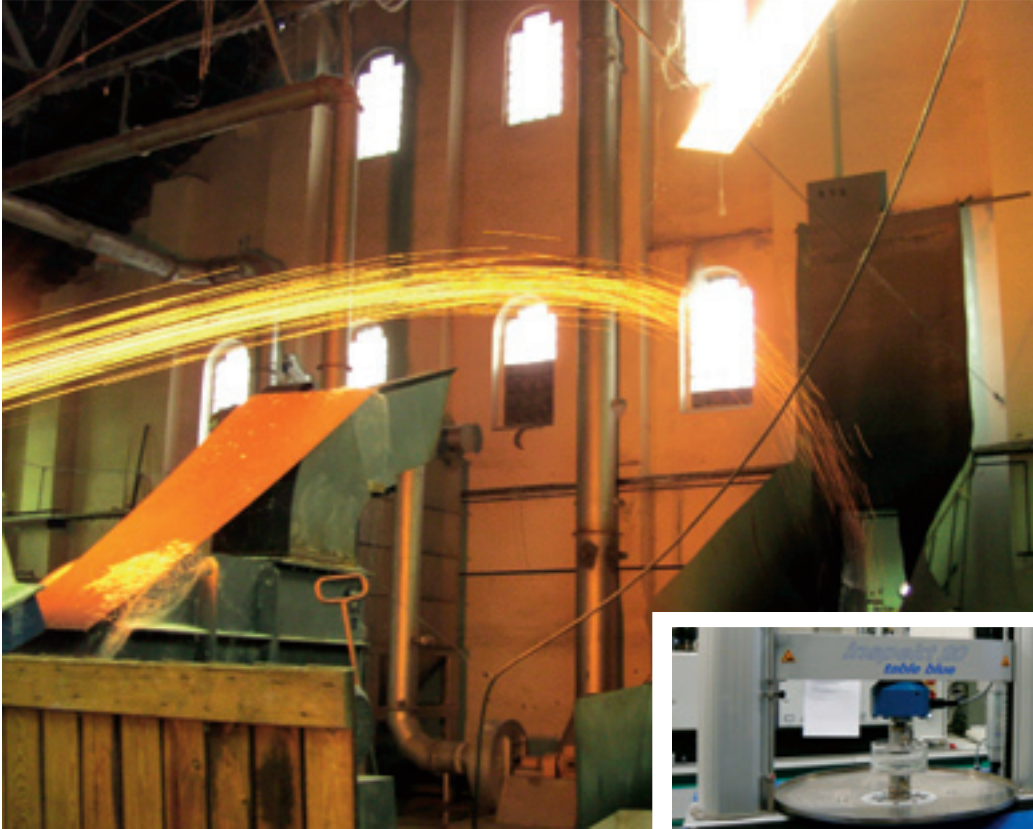


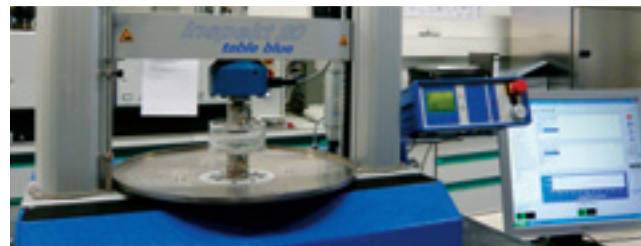
Abb. 6 Abkühlen der Kugelschmelze im Flug

Kubikmeterpreise für das Liefern, Transportieren und Einbauen mit Schüttrohren liegen zwischen 900 und 1.300 Euro je Kubikmeter. Die Preise für Quarzkies-/sand bewegen sich normalerweise zwischen 150 und 200 Euro je Kubikmeter. Man muss deshalb beim Einsatz von Glaskugeln mit Mehrkosten von bis zu 1.100 Euro je Kubikmeter Stützmaterial rechnen. Nimmt man beispielsweise einen Flachbrunnen mit 20 Meter Tiefe, Ausbau DN 400 und einem Bohrdurchmesser von 800 Millimeter an, werden insgesamt ca. 7,5 Kubikmeter Stützmaterial benötigt. Bei Einsatz von Glaskugeln kleinerer Größe bedeutet dies Mehrkosten von ca. 5.625 Euro (6.750 € für das Glas abzüglich der Kieskosten von 1.125 €).

Der Einspareffekt bei den Entsandungsarbeiten beträgt nach den bisherigen praktischen Erfahrungen bei einem Brunnen dieser Größenordnung ca. 1.500 Euro. Der finanzielle Mehraufwand beläuft sich dann noch auf 4.125 Euro. Bei Gesamtbaukosten von ca. 45.000 Euro für den Flachbrunnen entspricht dies ca. 9 Prozent der Bausumme. Wirtschaftlich wird der Einbau des Glasmaterials in diesem Beispielfall, wenn im Laufe der Betriebszeit des Brunnens auch nur eine einzige Brunnenregenerierung mit allen damit zusammenhängenden Nebenarbeiten eingespart werden kann.

Bei einem Tiefbrunnen mit 100 Metern Tiefe, einem Ausbau DN 400 und einem Bohrdurchmesser von 700 Millimeter werden ca. 26 Kubikmeter Stützkies benötigt. Der finanzielle Mehraufwand beträgt bei diesem Brunnen ca. 23.800 Euro (29.000 € für das Glas abzüglich der Kieskosten 5.200 €). Der Einspareffekt des Klar- bzw. Entsandungspumpens bei Brunnen dieser Größenordnung liegt bei ca. 8.000 Euro. Der finanzielle Mehraufwand beträgt somit ca. 15.800 Euro. Bei Gesamtbaukosten des Brunnens von 250.000 Euro entspricht dies ca. 6 Prozent der Bau-

Abb. 7 Festigkeitsprüfung mittels Druckapparat



summe. Auch in diesem Fall werden die Mehrkosten bereits durch die Einsparung von Brunnenregenerierarbeiten in einer finanziellen Größenordnung von 15.800 Euro kompensiert. ▶

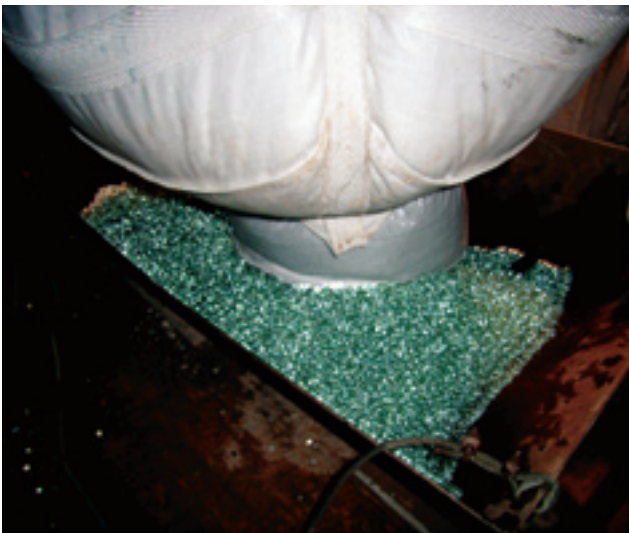
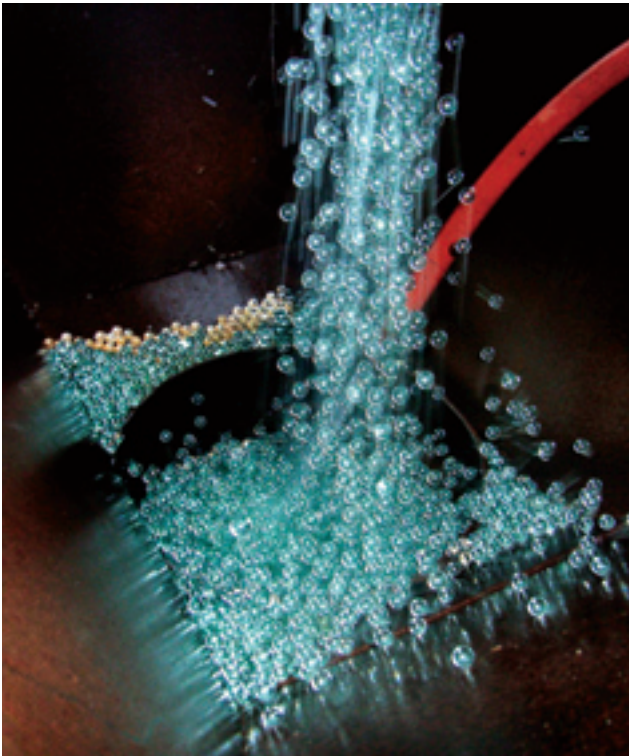


Abb. 8 und 9 Einbau von Glaskugeln mit Einfülltrichter

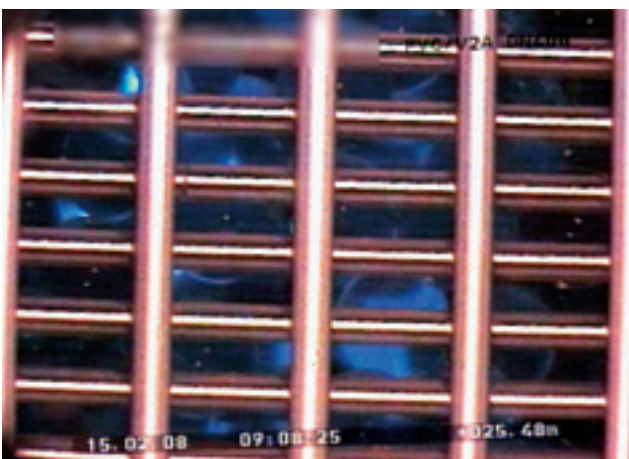


Abb. 10 Kamerabefahrung, Radialsicht mit Blick auf das PVC-Peilrohr

Bei dieser Rechnung bleiben die steigenden Kosten für Regenerierarbeiten unberücksichtigt. So kann es durchaus sein, dass eine Regenerierung, die heute 10.000 Euro kostet, in zehn Jahren durch gestiegene Lohn- und Energiekosten doppelt so teuer ist. Die aktuelle Situation von Lohn- und Preissteigerungen deutet darauf hin. Die Wirtschaftlichkeit lässt sich noch steigern, wenn die Glaskugeln nur im Bereich der Wassersäule im Brunnen eingebaut werden. In den Trockenbereichen oder innerhalb von Sperrrohren kann alternativ der herkömmliche Kies verwendet werden.

Fazit

Allein der etwa 10 Prozent größere Porenraum der Glaskugeln im Vergleich zum Kies würde den nicht unerheblichen finanziellen Mehraufwand keinesfalls rechtfertigen. Bei Brunnen, die zu keinerlei Verockerung neigen, wird aus reinen Wirtschaftlichkeitsgründen der Einbau der Glaskugeln ebenfalls nicht zu empfehlen sein. Bei allen Brunnen, die einen gewissen Regenerieraufwand erfordern, ist die Wirtschaftlichkeit schon bei der Einsparung einer einzigen Regenerierung über die Betriebsdauer eines Brunnens gegeben (bei Berücksichtigung der Inflation einer halben Regenerierung). Das durchschnittliche Lebensalter von heute gebauten Brunnen mit Edelstahlrohr kann mit etwa 70 Jahren angenommen werden. Die Regenerierintervalle liegen zwischen fünf und zehn Jahren, d. h. je Brunnen sind zwischen 7 und 14 Regenerierungen im Verlauf seiner Betriebszeit zu erwarten.

Einbaubeispiele und Erfahrungen

Ab September 2007 bis zur Erstellung dieses Manuskriptes wurden durch die Ochs Bohr GmbH drei Tiefbrunnen mit Ausbautiefen bis 130 Meter im Festgestein und ein Flachbrunnen mit einer Bohrtiefe von 16 Meter im Lockergestein mit Glaskugeln ausgerüstet (Abb. 8 + 9). Die Lieferung der Glaskugeln erfolgte in Big-Bags auf Paletten. Bisher wurde keine defekte Glaskugel gefunden.

Der erste Einsatz von Glaskugeln mit einem Durchmesser von 9,0 Millimeter erfolgte in einem Festgesteinsbrunnen der Marktgemeinde Roßtal im Landkreis Fürth. In den darauf folgenden Festgesteinsbrunnen wurden Kugeln mit einem Durchmesser von 12,0 Millimeter eingebracht. Die Kugeln wurden durch einen Gewebeschlauch DN 100 (A-Schlauch) eingespült. Dieser wurde immer bis zum Ruhewasserspiegel eingelassen und im Zuge der Verfüllung wieder entfernt. Teilweise waren bis zu 50 Meter Schlauch erforderlich. Je Big-Bag mit jeweils ca. 1 Tonne Gewicht wurden durchschnittlich zwölf Minuten Einbauzeit benötigt. Für 10 Tonnen Glasmaterial betrug die Einbauzeit ca. zwei Stunden. Eine Desinfektion des Materials vor dem Einbau war nicht nötig. Die Entsandungs- und Entwicklungszeiten der Brunnen haben sich im Vergleich zu Kiesbrunnen ähnlicher Größe in etwa halbiert.

Beim Lockergesteinsbrunnen ergab die Ermittlung der erforderlichen Korngröße gemäß DVGW-Regelwerk 2,5 Millimeter. Es wurde eine Kugelgröße von 2,5 bis 2,9 Milli-

meter, die Schlitzweite der Wickeldrahtfilterrohre mit 2,0 Millimeter gewählt. Auch in diesem Fall konnte das Entsandungspumpen verkürzt werden. Es gab keinerlei Probleme mit Sandführung oder Kolmation der Glaskugeln und Filterschlitzte. Auffallend war die geringe Mantelreibung der Glaskugeln im Vergleich zum Kies beim Ziehen der Bohrröhre während des Schüttvorganges. Die Gefahr, dass die Brunnenrohre beim Entfernen der Hilfsverrohrung mit hochgezogen werden, war stark minimiert. Die abschließenden Kamerabefahrungen innerhalb der Wickeldrahtfilterrohre mit bis zu 3,0 Millimeter Schlitzweite zeigten ganz neue Ansichten. Bei Radialansicht ist das bläulich schimmernde Peilrohr innerhalb der Glaskugelschüttung zu erkennen (**Abb. 10**). Fremdkörper oder Verockungen können bei guter Kameratechnik leicht erkannt werden.

Abschließende Betrachtung

Glaskugeln sind die ideale Verbindung vom Filterrohr zum erbohrten Erdreich. Die damit gemachten Erfahrungen lassen erwarten, dass sich dieses innovative, für den Brunnenbau neue Material, genauso wie der Wickeldrahtfilter durchsetzen wird.

Literatur

DIN 4924, Ausgabe 1998, Beuth Verlag.

DIN 12116, Ausgabe März 2001, Beuth GmbH, Berlin.

DIN ISO 695, Ausgabe Februar 1994, Beuth GmbH, Berlin.

DVGW-Merkblatt W 113, Bestimmung des Schüttkorndurchmessers und hydrogeologischer Parameter aus der Korngrößenverteilung für den Bau von Brunnen, Ausgabe März 2001, wvgw mbH, Bonn.

Alle Abbildungen: Ochs Bohr GmbH

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Frank Herrmann
 Öffentl. best. und vereid. SV für das Brunnenbauerhandwerk
 Ochs Bohr GmbH
 Schieräckerstr. 32
 90431 Nürnberg
 Tel.: 0911 324-300
 Fax: 0911 324-302

E-Mail: herrmann@ochs-bau.de
 Internet: www.ochs-bau.de

Dipl.-Ing. Xaver Stiegler

Ochs Bohr GmbH
 Fuhrmannstr. 11
 95030 Hof
 Tel.: 09281 540-730
 Fax: 09281 540-7322

E-Mail: stiegler@ochs-bau.de
 Internet: www.ochs-bau.de

