



Einsatz von Glaskugeln in Brunnen, anstelle von Filterkies

Dipl.-Ing. (FH) Frank Herrmann
öffentl. best. und vereid. SV für das Brunnenbauerhandwerk
Ochs Bohr GmbH, Nürnberg
Tel.: 0911/ 324300
e-mail: herrmann@ochs-bau.de

Zusammenfassung

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 Kugel aus Glas das ideale Verfüll- bzw. Stützmaterial für den modernen Brunnenbau gefunden zu haben. Seit September 2007 werden deshalb überwiegend Glaskugeln anstelle Sand oder Kies in Bohrungen zur Wassergewinnung eingebaut.

1. Sande und Kiese für den Brunnenbau gemäß DIN 4924

Für die Gewinnung von Grundwasser oder der 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- Regelwerk 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 Entsanden
- Bildung eines Stützkornes zwischen Filter 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. Die Anforderungen im einzelnen sind:

- Stetiger Aufbau der Korngrößenverteilung innerhalb der einzelnen Korngruppen
- Mindestens 96 % SiO₂ – Massenanteil

- Maximal 1 % 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 mm sollte die Form der einzelnen Körner mindestens kantengerundet sein
- Höchstzulässiger Massenanteil an Unterkorn 12 %, an Überkorn bis 15 %

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 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 Polster aus Unterkorn innerhalb der Kiesschüttung bilden.

Nachteilig für den Brunnenbau ist deshalb vor allem das Unterkorn und die (nie auch nur annähernd runde) Form der einzelnen Sand- oder Kieskörner.



Bild 1: Quarzkies, Körnung 5,6 – 8,0 mm gemäß DIN 4924

Bei Brunnensanierungen konnten wir feststellen, dass Unterkornanteile der Kiesschüttung fest in den Schlitzbrücken der Filterrohre eingekleimt waren und diese annähernd vollständig verschlossen.



Bild 2: Durch Unterkorn kolmatierter Schlitzbrückenfilter nach dem Rückbau

Ebenso konnte man, vor allem bei Einsatz von Wasserhochdruck, nach Regenerierarbeiten ein verstärktes Absanden des Kiesmaterials beobachten.

Gerade im Verlauf von intensiven Brunnenregenerierarbeiten konnte festgestellt werden, dass die Brunnenkiese der mechanischen Belastung nicht immer standhalten. Die dadurch verursachte und vom Regenerierer nicht zu vermeidende Filterschlitzkolmation, kann eine stärkere Absenkung des Wasserspiegels, als vor Durchführung der Regenerierung verursachen.

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 mit Kies wird ein starker Überdruck im Bohrloch gegenüber dem des vorhandenen Aquifers aufgebaut. Bei einem Ruhewasserspiegel unter 50 m ist es normal, dass die Wassersäule im Bohrloch bis Übertage ansteigt. Die Feinststoffe im Kies werden somit in solchen Fällen mit Überdrücken von 5 bar, dies entspricht 50 t/m^2 , in die Bohrlochwand gepresst. Nicht selten konnten deshalb nach dem Brunnenausbau nicht mehr dieselben Wassermengen wie vor der Ringraumverfüllung 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 aufwändig und nicht immer erfolgreich.

Zusammenfassend sind die Nachteile des natürlichen Materials Sand oder Kies:

- Keine kugelige Form
- Hoher Unter- und Überkornanteil
- Hoher Anteil an Staub oder abschlämmbaren Stoffen
- Sauberpumpen und Desinfektion nötig
- Keine zufrieden stellende Festigkeit
- Setzungskolben ist notwendig

2. Glaskugeln

Als alternatives Stützmaterial bietet sich der Einsatz von Glaskugeln an. 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 für die 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 im Ringraum sehr gut erkennbar.

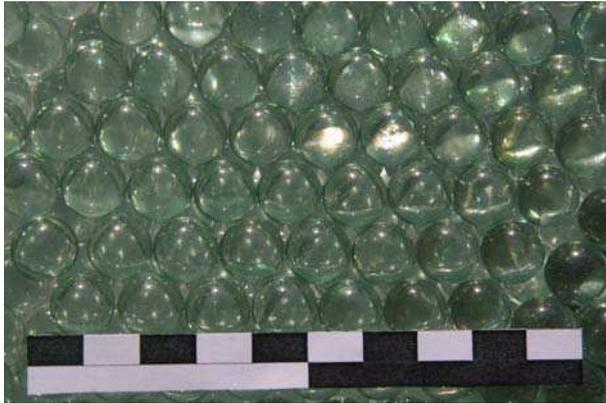


Bild 3: Glaskugeln mit einem Durchmesser von 12 mm

2.1 Materialeigenschaften der Glaskugeln

2.1.1 Materialzusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung der Glaskugeln aus Kalknatronglas 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.



Bild 4: Abkühlen der Kugelschmelze im Flug

Alle Inhaltsstoffe des Glases sind nicht eluierbar, und werden deshalb nicht freigesetzt. Aus Sicherheitsgründen wurden trotzdem entsprechende Eluatversuche vor dem erstmaligen Einbau des Materials im Labor AIR Nürnberg durchgeführt. Das Ergebnis war, wie erwartet, dass keinerlei Eluate durch das Glas an das Wasser abgegeben werden.

2.1.2 Festigkeit

Die Festigkeit der Glaskugeln ist abhängig vom Kugeldurchmesser. Grundsätzlich gilt die gleiche Faustformel wie bei Sanden oder Kiesen: Die Festigkeit nimmt mit der Größe ab.

Im Labor des Glaskugelherstellers Sigmund Lindner GmbH wurden Festigkeitsuntersuchungen an Glaskugeln und im Vergleich dazu an Quarzkieskörnern durchgeführt.



Bild 5: Festigkeitsprüfung mittels Druckapparat

Die dafür verwendete Druckapparatur übte einen axialen Druck auf die Glaskugeln bzw. Kieskörner aus. Untersucht wurden Quarzkieskörner der Körnung 5,6 – 8,0 mm von zwei verschiedenen Lieferanten, im Vergleich zu den von uns dafür alternativ verwendeten Glaskugeln mit Durchmesser 2,5, 9 und 12 mm. Untersucht wurden von allen Materialien jeweils 5 einzelne Probestücke

Die Resultate in kN waren wie folgt:

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=2,5mm	1,141	0,885	1,334
Glaskugel D= 9mm	11,105	8,051	14,573
Glaskugel D= 12mm	14,201	11,616	15,951

Tab. 1: Festigkeitswerte Glaskugeln/ Quarzkies

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 zersprangen.

2.1.3 Chemische Beständigkeit

Es existieren Untersuchungen von Glas gemäß DIN 12116 Beständigkeit gegen eine siedende wässrige Salz-



säurelösung sowie DIN ISO 695 Beständigkeit gegen eine siedende wässrige Mischlauge.

Die Untersuchungsergebnisse ergaben eine Säurebeständigkeitsklasse S2- schwach säurelöslich und A2-mäßiger Angriff von Laugen.

Bei den vorgenannten Untersuchungen werden die Glasproben in kochende Säure- oder Laugenflüssigkeiten gegeben.

Setzt man die Verhältnisse in Brunnen voraus, ist von keinerlei Gefährdung des Materials bei temporären Einsätzen von Säuren (Regenerierung) oder Laugen (Desinfektion) auszugehen.

2.1.4 Größe und Gewicht

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

3. Wirtschaftlichkeit

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

Die m³-Preise für das Liefern, Transportieren und Einbauen mit Schüttrohren liegen zwischen 900,00 € und 1.300,00 € je m³. Quarzkies oder –sandpreise bewegen sich normalerweise zwischen 150,00 € und 200,00 € je m³ für Kiefern, Fracht und Einbau.

Man muss deshalb beim Einsatz von Glaskugeln mit Mehrkosten von bis zu 1.100,00 € je m³ Stützmaterial rechnen.

Nimmt man beispielsweise einen Flachbrunnen mit 20 m Tiefe, Ausbau DN 400 und einem Bohrdurchmesser von 800 mm werden insgesamt ca. 7,5 m³ Stützmaterial benötigt. Bei Einsatz von Glaskugeln kleinerer Größe bedeutet dies Mehrkosten von (6.750,00 € für das Glas abzüglich der Kieskosten von 1.125,00 €) ca. 5.625,00 €.

Der Einspareffekt bei den Entsandungsarbeiten beträgt nach den bisherigen praktischen Erfahrungen bei einem Brunnen dieser Größenordnung ca. 1.500,00 €. Der finanzielle Mehraufwand beträgt dann noch 4.125,00 €. Bei Gesamtbaukosten von ca. 45.000,00 € des Flachbrunnens entsprechen dies ca. 9 % der Bausumme.

Wirtschaftlich wird der Einbau des Glasmaterials in obigen 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 m Tiefe, einem Ausbau DN 400 und einem Bohrdurchmesser von 700 mm werden ca. 26 m³ Stützkies benötigt. Der finanzielle Mehraufwand beträgt bei diesem Brunnen (29.000,00 € für das Glas abzüglich der Kieskosten 5.200,00 €) ca. 23.800,00 €.

Der Einspareffekt des Klar- bzw. Entsandungspumpens bei Brunnen dieser Größenordnung liegt bei ca. 8.000,00 €. Der finanzielle Mehraufwand beträgt somit ca. 15.800,00 €. Bei Gesamtbaukosten des Brunnens von 250.000,00€ entsprechen dies ca. 6 % der Bausumme.

Auch in diesem Fall setzt die Wirtschaftlichkeit die Einsparung von Brunnenregenerierarbeiten in einer finanziellen Größenordnung von 15.800,00 € voraus.

Bei der obigen Rechnung bleiben die steigenden Kosten für Regenerierarbeiten unberücksichtigt. So kann es durchaus sein, dass eine Regenerierung, die heute 10.000,00 € kostet, in 10 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 eingebaut werden.

Als Fazit gilt:

Alleine der etwa 10% höhere 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 nicht zu empfehlen sein.

Bei allen anderen Brunnen, bei denen ein gewisser Regenerieraufwand zu erwarten sein wird, ist die Wirtschaftlichkeit schon bei Einsparung einer einzigen Regenerierung, bei Berücksichtigung der Inflation einer halben Regenerierung, über die Betriebsdauer eines Brunnens gegeben.

Die durchschnittliche Betriebsdauer von heute gebauten Brunnen mit Edelstahlausbaurohren kann mit etwa 70 Jahren angenommen werden. Die durchschnittlichen Regenerierintervalle liegen zwischen 5 und 10 Jahren. D.h., je Brunnen sind zwischen 7 und 14 Regenerierungen im Verlauf seiner Betriebszeit zu erwarten.

4. Einbaubeispiele und dabei gemachte Erfahrungen

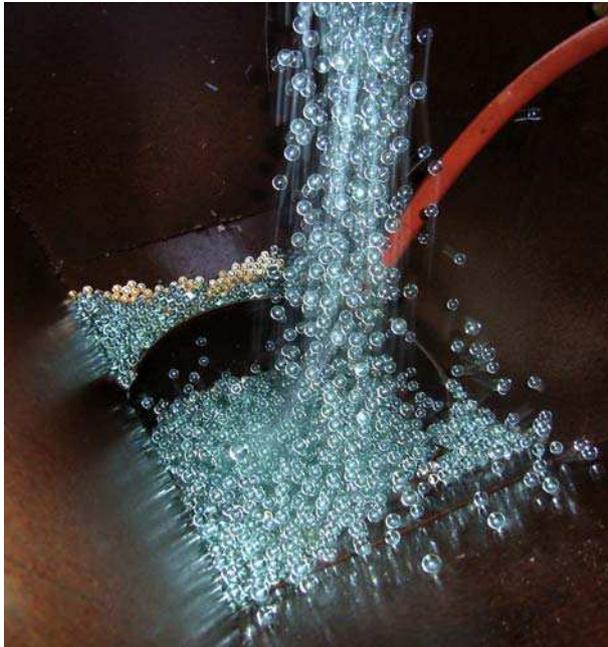


Bild 6 und 7: Einbau von Glaskugeln mit Einfülltrichter

Zur Zeit der Erstellung des Manuskriptes wurden durch unsere Firma seit September 2007 drei Tiefbrunnen mit Ausbautiefen bis 130 m im Festgestein und ein Flachbrunnen mit einer Ausbautiefe von 16 m im Lockergestein mit Glaskugeln ausgebaut.

Die Lieferung der Glaskugeln erfolgte in Big-Packs auf Paletten. Bisher wurde keine defekte Glaskugel gefunden.

Der erste Einsatz von Glaskugeln erfolgte in einem Festgesteinsbrunnen der Marktgemeinde Roßtal im Landkreis Fürth, mit einem Durchmesser von 9,0 mm eingebaut.

In den darauf folgenden Tiefbrunnen im Festgestein wurden Kugeln mit einem Durchmesser von 12,0 mm eingebaut.

Die Kugeln wurden durch einen Feuerwehrschauch DN 100 (A- Schlauch) eingespült. Der Schlauch wurde immer bis zum Ruhewasserspiegel eingebaut. Teilweise war der Schlauch 50 m lang.

Je Big-Pack mit jeweils 1 to Gewicht wurden durchschnittlich 12 Minuten Einbauzeit benötigt. Für 10 to Glasmaterial betrug die Einbauzeit ca. 2 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 mm.

Es wurde eine Kugelgröße von 2,5 – 2,9 mm, die Schlitzweite der Wickeldrahtfilterrohre mit 2,0 mm gewählt.

Auch in diesem Fall konnte das Entsandungspumpen verkürzt werden.

Es gab keinerlei Probleme mit Sandführung oder Kolmation der Glaskugeln.

Auffallend war die geringe Mantelreibung der Glaskugeln im Vergleich zum Kies beim Ziehen der Bohrröhre während des Schüttvorganges. Die Gefahr, dass die Ausbaurohre durch das Ziehen der Bohrröhre mit herausgezogen werden, war stark minimiert.

Die abschließenden Kamerabefahrungen innerhalb der Wickeldrahtfilterrohre mit bis zu 3,0 mm Schlitzweite zeigten ganz neue Ansichten.

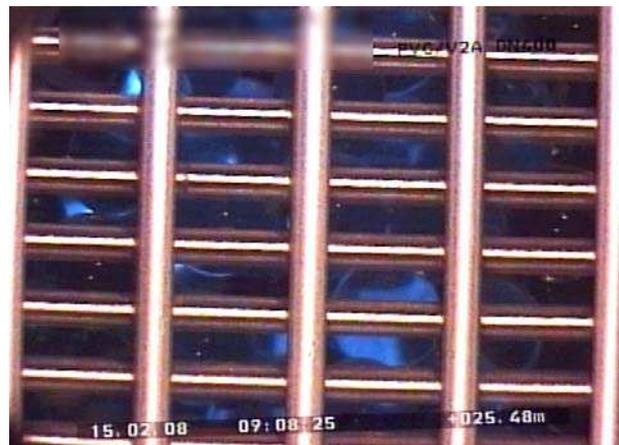


Bild 8: Kamerabefahrung, Radialsicht mit Blick auf das PVC-Peilrohr

Bei Radialansicht ist das bläulich schimmernde Peilrohr innerhalb der Glaskugelschüttung zu erkennen. Fremd-



körper oder Verockerungen können als Fremdkörper leicht erkannt werden.

5. Abschließende Betrachtung

Trotz der schon gemachten (guten) Erfahrungen mit den Glaskugeln, fehlen noch tiefer gehende wissenschaftliche Untersuchungen. Offene Fragen sind z.B. :

- Wie stark ist die Verzögerung der Verockerung
- Optimierung der Kugelgröße bei Lockergestein
- Regenerieverhalten von Glaskugeln

Als Brunnenbauer hoffen wir, dass die Glaskugeln möglichst schnell Einzug in das allgemein anerkannte technische Regelwerk finden, um eine Rechtssicherheit für Planer und Ausführende zu schaffen.

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, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn