



Abb. 1: Versuchsanordnung zur Bestimmung des austragsfähigen Korns glaziofluviatiler Sedimente über einer Mono-Glaskugelschüttung (hier: 5 mm Kugeldurchmesser)

Quelle: Autoren

## Vergleich ausgewählter Materialcharakteristiken von Glaskugeln und Filterkiesen für den Einsatz in Trinkwasserbrunnen

Im Rahmen eines aktuell laufenden F&E-Vorhabens, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, wurden ausgewählte brunnenbauspezifische Materialcharakteristiken von Glaskugeln und Filterkiesen ermittelt. Die ersten Ergebnisse dieser aktuell bei den Vorhabensträgern durchgeführten Labortests werden nachfolgend vorgestellt.

**G**laskugeln aus säurebeständigem Kalk-Natronglas werden seit 2007 als Schüttgüter zur „Verkiesung“ von Brunnenfiltern angewendet. Erste Erfahrungen mit Glaskugeln als Filterschüttungen wurden beim Bau von Festgesteinsbrunnen in Franken gesammelt und durch Stiegler & Herrmann (2008) für die Fachwelt zugänglich gemacht. Auslöser der ersten Einsätze von Glaskugeln in Brunnen waren Erkenntnisse

bei der Entwicklung und Regenerierung von stark verockerungsanfälligen Brunnen sowie ein autochthoner Eintrag hoher Feinkornanteile und Feinpartikel mit den DIN-Filterkiesen verschiedener Lagerstätten. Diese Feinkornanteile wurden neben den Feinpartikeln aus dem Grundwasserleiter für die Unterkornkolmation an Brunnen verantwortlich gemacht (DeZwart 2007, Treskatis 2007). Gleichzeitig wurde erkannt, dass die „rau-

he“ Oberfläche und Primärminerale auf den Kieskörnern die Anlagerungen von Inkrustationen fördern. Zum Anlagerungsverhalten von Eisenmineralien an Glaskugeln im Vergleich zu DIN-Filterkiesen wurden erste quantitative Erkenntnisse von Treskatis et al. (2009) publiziert. Für die Brunnenbaupraxis konnte mit diesen Untersuchungen bestätigt werden, dass bei der Verwendung von Glaskugeln im Brunnenringraum sowohl mecha-

nisch bedingte Feinkorn- und Bruchstückbildungen vermieden werden können als auch eine deutlich geringere Inkrustationsneigung zu erwarten ist.

Für den Brunnenbau sind neben dem Anlagerungsverhalten gegenüber Inkrustationen vor allem die für die hydraulische Ergiebigkeit eines Brunnens wichtigen Kenngrößen mechanische Stabilität, die Abriebfestigkeit, die Rundheit der Schüttkörner und die chemische Beständigkeit (z. B. gegenüber Regeneriermitteln nach DVGW-Arbeitsblatt W 130) von Bedeutung.

### Untersuchungsgegenstand und Methodik

Als Prüfmaterialien wurden vier handelsübliche Filterkiese für den Brunnenbau in den Korngrößenstufen nach DIN 4924 (1 bis 2 mm bis 8 bis 12 mm) und Glaskugeln (säurepoliert und matt) in den Körnungsspektren 1,25 bis 1,65 mm und bis maximal 12 mm untersucht. Dabei wurden folgende physikalischen Eigenschaften im Labormaßstab untersucht:

- Rundheit,
- spezifisches Gewicht,
- Schüttgewicht,
- Kornverteilung,
- Bruchlast bei statischer Beanspruchung,
- Bruchverhalten bei statischer Beanspruchung,
- Bruchverhalten bei dynamischer Beanspruchung,
- Abriebfestigkeit,
- Oberflächengestalt,
- Oberflächenprofil,
- Rauhtiefen,

- spezifische Oberfläche,
- chemische Beständigkeit gegenüber pH-gesteuerten Regeneriermitteln.

Die Methoden und Randbedingungen, die zur Bestimmung dieser Materialeigenschaften angewendet wurden, sind in **Tabelle 1** zusammengefasst worden. Bisher liegen die ersten Ergebnisse von Vergleichsmessungen dieser physikalischen Kenngrößen für folgende Kies- und Glaskugelfractionen vor:

- **Filterkies:** 1 bis 2 mm und 1,4 bis 2,2 mm als Hauptvergleichsprodukte sowie für ausgewählte Tests 2,0 bis 3,15 mm, 5,6 bis 8,0 mm und 8,0 bis 12,0 mm
- **Glaskugeln:** 1,25 bis 1,65 mm als Vergleichsprodukte zu den o. g. Filterkiesen und für ausgewählte Tests 1,50 mm, 2,85 bis 3,45 mm, 3,00 mm, 5,00 bis 6,00 mm und 12 mm

Die Kenngrößen Nr. 5 bis 7 beeinflussen das Kolmationsverhalten des Schüttkörpers und zusammen mit der Kenngröße Nr. 4 die Größe des entsandungsfähigen oder kolmationsfördernden Unterkorns aus dem Grundwasserleiter oder aus dem Schüttgut selbst. Die Bildung von Unterkorn innerhalb der Schüttgüter war einer der Ursachen, Alternativen für bruchstückbildende und kolmationsfördernde Filterkiese zu suchen.

Die Kenngrößen Nr. 9 bis 12 beeinflussen das mikrobiologische und chemische Inkrustationsverhalten einer Schüttung im Brunnen.

Die Kenngröße Nr. 12 ist auch für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Wahl der

Schüttgüter in Trinkwasserbrunnen von Bedeutung. Geringe innere Oberflächen auf den Schüttgütern reduzieren nach Houben & Treskatis (2003) Primäranlage der Inkrustationsprodukte und verzögern somit die „Verockerung“ von Brunnen. Daneben beeinflusst diese Kenngröße das Regenerierergebnis und dessen Nachhaltigkeit bzgl. des Lösevorgangs und der Wiederverockerung.

### Ergebnisse

Die Labortests ergaben beim Vergleich der beiden Materialtypen und unterschiedlichen Korngrößen folgende Ergebnisse:

- **Kenngröße Nr. 1:** Das spezifische Gewicht der handelsüblichen Quarzfilterkiese beträgt zwischen 2,615 und 2,655 kg/dm<sup>3</sup>, je nach Quarzgehalt. Bei den Glaskugeln werden spezifische Gewichte von 2,503 kg/dm<sup>3</sup> gemessen.
- **Kenngröße Nr. 2:** Das Schüttgewicht beträgt beim Quarzfilterkies einer Körnung von 2 mm 1,599 bis 1,615 kg/dm<sup>3</sup> und bei einer Glaskugel vergleichbarer Größe 1,585 kg/dm<sup>3</sup>.
- **Kenngröße Nr. 3:** Die Rundheit der Glaskugeln wurde nach der in Tabelle 1 genannten Formel zu 0,97 ermittelt. Der Quotient  $b/(l \cdot 3)$  erreicht bei den Quarzkiesen im optimalen Fall 0,73 bis 0,78.
- **Kenngröße Nr. 4:** Mit Hilfe der digitalen Bildanalyse wurden für verschiedene glaziofluviale Sedimente aus dem Bodenseeraum Kornverteilungen bestimmt, um die Korngröße zu bestimmen, die bei dichtester Lagerung eines Filterkieses und einer Glaskugelpackung den Schüttkörper passieren kann. Damit wird ►

# SiLibeads® – lassen Brunnen länger sprudeln

## INNOVATIONS

### Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen

- SiLibeads Glaskugeln entsprechen den Anforderungen des § 31 LFGB und Artikel 3 der Verordnung (EG) Nr. 1935/2004, somit entfällt die Desinfektion vor der Befüllung
- Einkornschüttung ermöglicht optimale Anpassung der Filterschlitzöffnungen
- Kein Materialbruch beim Befüllen des Ringraumes, somit bleiben Filterschlitzöffnungen frei
- Harmonische Kugelform und einheitliche Kugelgröße verhindern Brückenbildung beim Befüllen des Ringraumes
- Klar- bzw. Entsandungspumpen nach dem Befüllen entfällt
- Höchstmöglicher Wasserdurchfluss auf Grund exakt gleicher Korngröße und Kugelform
- Eisen- und Manganverockerung reduziert sich um bis zu 40%, dadurch lassen sich Kosten für Brunnenregenerierarbeiten einsparen

**SIGMUND LINDNER GmbH** • Oberwarnesteinacher Str. 38 • D-95485 Warnesteinach  
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)

Gefördert vom  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und  
Technologie auf Grund  
eines Beschlusses  
des Deutschen  
Bundestages

**Si Li**  
SIGMUND LINDNER

die Anpassung der Korngröße der Schüttung und die Entsandungsfähigkeit des Brunnens verbessert und das passierfähige Korn aus dem Grundwasserleiter direkt bestimmbar. Hierzu werden derzeit weitere Experimente im Labor-

maßstab durchgeführt. **Abbildung 1** zeigt eine Versuchsanordnung zur quantitativen Bestimmung des passierfähigen Kornes aus dem Sediment über eine Glaskugelschüttung mit definiertem Kugeldurchmesser.

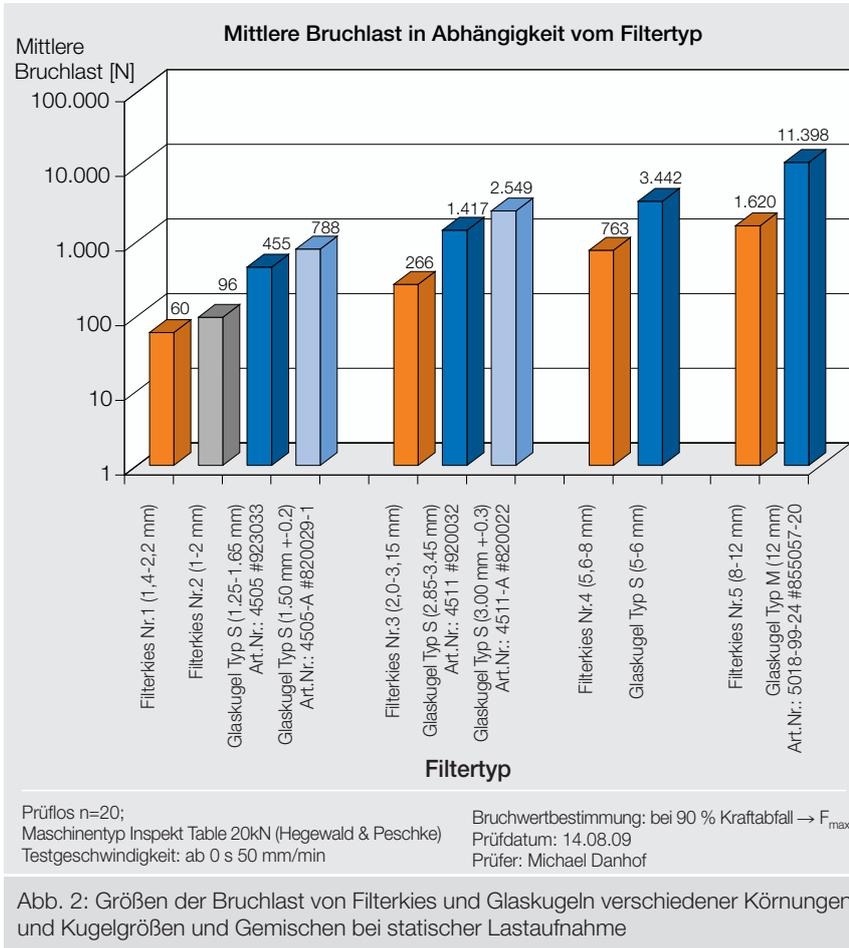


Abb. 2: Größen der Bruchlast von Filterkies und Glaskugeln verschiedener Körnungen und Kugelgrößen und Gemischen bei statischer Lastaufnahme

- **Kenngroße Nr. 5:** Die Bruchlast bei statischer Beanspruchung ergab für die Filterkiese eine Zunahme der Lastaufnahme von ca. 60 N bis maximal 1.620 N parallel mit der Zunahme der Korngröße (Abb. 2). Glaskugeln zeigten eine analoge Zunahme der Lastaufnahme mit der Kugelgröße. Die Bruchlast steigt hier von 455 N auf > 11.000 N an.
- **Kenngroße Nr. 6:** Die Bruchcharakteristiken von Filterkies und Glaskugeln unterscheiden sich deutlich. Filterkies zerbricht schon bei geringen Lasten in kleinere Fraktionen, die dann bei weiterer Belastung in wiederum kleinere Stücke zerbrechen. Die Lastkurven für Filterkies (hier: 5,6 bis 8 mm) und Glaskugeln (hier: 5,6 bis 8 mm) in Funktion der Wegstrecke des Teststempels (= Verformungslänge) zeigt **Abbildung 3**. Die Kurve für den Filterkies zeigt Lastaufnahmen bis ca. 700 N. Das Korn zerbricht und die Last wird auf mehrere Körner verteilt, bis diese wiederum nach Überschreitung der Bruchgrenze zerbersten. Dadurch entsteht eine Sägezahnkurve der Lastaufnahme-Verformungslängen-Relation. Die Lastkurve einer Glaskugel zeigt dagegen das Verhalten eines amorphen Körpers (Abb. 4), der die Last bis zur Bruchgrenze (hier: ca. 4.800 N) aufnimmt und dann in feinste Partikel zerbricht, die keine weiteren Lasten aufnehmen können.

- **Kenngroße Nr. 7:** Die dynamische Bruchcharakteristik wird zurzeit noch bestimmt. Ergebnisse liegen Ende 2009 vor.
- **Kenngroße Nr. 8:** Die Abriebfestigkeit wurde in einer Mühle mit Accelerator ermittelt. Der Abrieb der Glaskugeln und Filterkieskörner < 0,2 mm wurde nach 9 Stunden aus der Mühle geschwemmt. Dessen Masse wurde danach der Masse der Testkörper gegenübergestellt. Die Glaskugeln erlitten einen Abriebverlust (Massenverlust) von ca. 0,5 Prozent je Stunde Mahldauer, die Filterkiese um bis zu ca. 6 Prozent je Stunde (Abb. 5). Insgesamt war der Massenverlust bei den Glaskugeln mit ca. 4 Prozent für den gesamten Testzeitraum um den Faktor 13 geringer als beim Filterkies (bis zu 53 Prozent Massenverlust).

- **Kenngroßen Nr. 9 und 10:** Die Oberflächengestalt und das Oberflächenprofil von Glaskugeln und Filterkies wurden mittels Rasterelektronenmikroskop bestimmt (Abb. 4). Die Oberflächen unterscheiden sich erwartungsgemäß signifikant. Die Kieskornoberfläche weist eine ausgesprochen unregelmäßige Struktur mit Hochpunkten und Vertiefungen auf, die in der Glaskugeloberfläche nur punktuell zu finden sind. Das Oberflächenprofil einer Glaskugel 1,5 mm +/- 0,2 mm

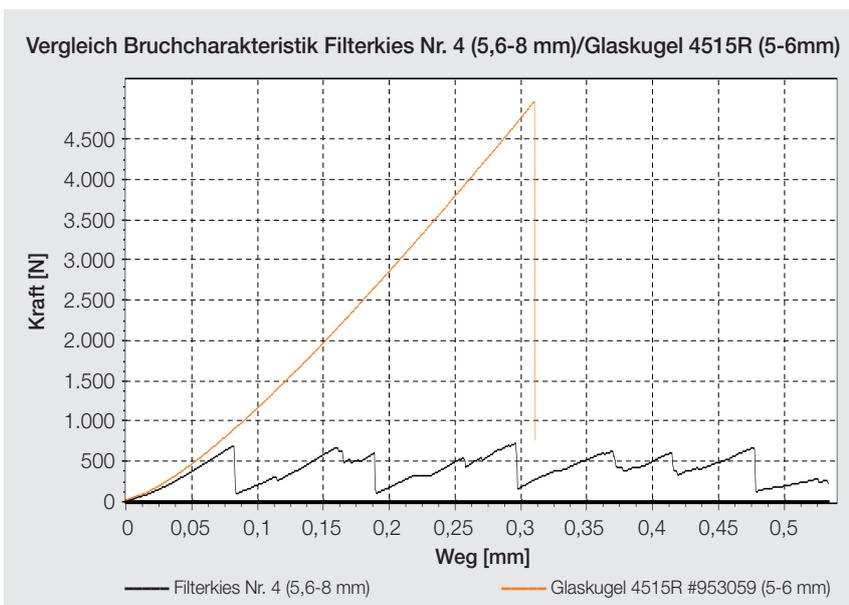


Abb. 3: Lastkurven für Filterkies (hier: 5,6 bis 8 mm) und Glaskugeln (hier: 5,6 bis 8 mm) in Funktion der Wegstrecke des Teststempels. Die Glaskugel kann im hier dargestellten Fall um 0,3 mm verformt werden, das gleich große Kieskorn nur 0,09 mm, bevor es das erste Mal in kleinere Stücke zerbricht.

**Tabelle 1: Methoden und Randbedingungen der Materialprüfungen an Glaskugeln und Filterkiesen unterschiedlicher Korngrößen**

Nr.	Kenngröße	Messmethode	Randbedingung	Anzahl der Tests je Körnung/Material	Geräte-einsatz
1	Spezifisches Gewicht	Verdrängungsmethode		n = 20	Pyknometer
2	Schüttgewicht	Volumenbezogene Gewichtsermittlung der Schüttung	Ein 1-dm <sup>3</sup> -Messbecher wird mit dem Schüttgut befüllt und dann die Gewichtszunahme ermittelt.	n = 20	1-dm <sup>3</sup> -Messbecher
3	Rundheit	Vergleich der Breite b zur Länge l	Rundheitsquotient = $b/(l \cdot 3)$ ; bei einem Quotienten von 1 handelt es sich um eine ideale Kugel		digitale Bildanalyse mittels Camsizer®
4	Kornverteilung	digitale Bildanalysen und Siebanalysen von realen Inlinerbohrproben glazio-fluviatiler Sedimente Süddeutschlands	Lockergesteine selektiert bis 10 mm Korngröße; Glaskugeln bis 12 mm Kugelgröße; Prüfmenge: 100 g	n = 1	digitale Bildanalyse mittels Camsizer®
5	Bruchlast bei statischer Beanspruchung	Ermittlung der mittleren Bruchlast in Anhängigkeit vom Material und der Körnung/Kugeldurchmesser	Ermittlung der mittleren Bruchlast bei 90 % Kraftabfall; Testgeschwindigkeit 50 mm/min	n = 20	Inspekt Table 20 kN nach Hegewald & Heschke
6	Bruchverhalten bei statischer Beanspruchung	Vergleich der Bruchcharakteristiken von Filterkies und Glaskugeln unterschiedlicher Durchmesser	Ermittlung der Bruchlast in Funktion der Weglänge und der Verformung	n = 1	Inspekt Table 20 kN nach Hegewald & Heschke
7	Bruchverhalten bei dynamischer Beanspruchung	Beschuss einer Stahlplatte zur Simulation des Aufpralls der Körner/Kugeln auf die Brunnenbauverrohrung und auf Glaskugeln sowie Filterkies (unter Bohrlochrandbedingungen)	Geschwindigkeit von 66,2 km/h (freier Fall) für Filterkies (12 mm) und 64,3 km/h für Glaskugeln (12 mm)	Tests laufen zurzeit	
8	Abriebfestigkeit	Simulation des Massenverlustes durch Abrieb bei der mechanische Regenerierung, z. B. bei Impulsverfahren nach DVGW W 130	Bestimmung des Massenverlustes durch Abrieb der Körner/Kugeln; Prüfmenge 330 ml	n = 1	Willy A. Bachofen „WAB Multilab“
9	Oberflächen-gestalt	digitale Oberflächenaufnahmen mit REM		n = 1	Rasterelektronenmikroskop (REM)
10	Oberflächen-profil	Bestimmung des Oberflächenprofils über eine definierte Taststrecke; Abtasten der Oberfläche von Kieskörnern und Glaskugeln zur Bestimmung des externen Reliefs		n = 1	Tastschnittgerät
11	Rauheit	Bestimmung der Rauhtiefen als Höhendifferenz auf einer Taststrecke von 0,5 mm		n = 1	Pertometer
12	spezifische Oberfläche	Bestimmung der Gesamtoberfläche (äußere Oberfläche + Oberfläche der nach außen geöffneten Poren) der Kugeln und Kieskörner mittels Gasadsorption		n = 1	BET
13	chemische Beständigkeit	Analyse der gelösten Elemente aus den Glaskugeln und Kieskörnern nach Einlage in verschiedene pH-gesteuerte Regeneriertestlösungen	Synthetische Testlösungen wurden nach handelsüblichen Produkten (Säuren) hergestellt, da diese durch Spurenelemente verunreinigt waren. Insgesamt 15 h Behandlungszeit; Kugeln und Körner vollständig eingetaucht bei T = 20 °C	n = 1	ICP

Quelle: Autoren

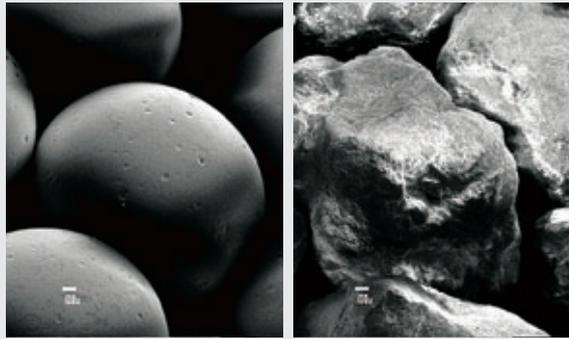


Abb. 4.1 und 4.2: REM-Aufnahme einer Glaskugel im Vergleich zu einem Filterkieskorn gleicher Korngröße. Die „glatte“ Oberfläche der Glaskugel verhindert die Bildung von Zugspannungen bei Lastaufgabe und mindert die Anlagerung von Inkrustationen.

Quelle: Autoren

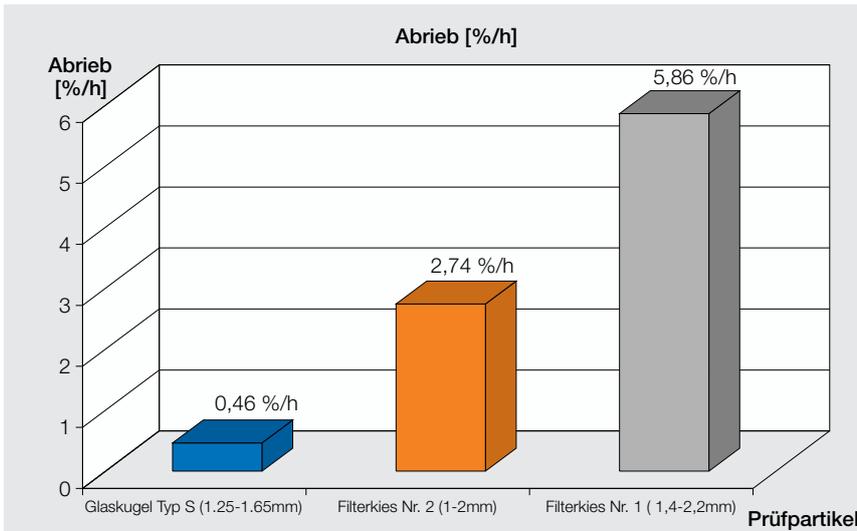


Abb. 5: Massenverlust durch mechanischen Abrieb von Glaskugel (1,25 bis 1,65 mm) und von zwei ähnlich gestuften, handelsüblichen Filterkiesen (1 bis 2 mm und 1,4 bis 2,2 mm)

Quelle: Autoren

und eines Kornes aus der Fraktion 1-2 mm zeigt die Abbildung 6.

- **Kenngroße Nr. 11:** Die Rauhtiefen, bestimmt als Höhendifferenz zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt auf einer Taststrecke von 0,5 mm, belaufen sich beim Quarzkies auf bis zu 1,21 µm, bei den Glaskugeln dagegen auf bis zu 0,58 µm.
- **Kenngroße Nr. 12:** Die spezifische Oberfläche einer Glaskugel mit einer Größe von 1,25 mm und 1,5 mm (+/- 0,2 mm) beträgt weniger als 0,01 m<sup>2</sup>/g Masse. Dagegen erreicht der Filterkies eine spezifische Oberfläche von bis zu 0,95 m<sup>2</sup>/g Masse (bei einer Körnung 1,4 bis 2,2 mm).
- **Kenngroße Nr. 13:** Die chemische Beständigkeit der Glaskugeln und des Filterkieses gegenüber pH-gesteuerten Regeneriermitteln wurde prinzipiell über die in üblichen Mengen eingesetzten Testlösungen bestätigt. Es ergaben sich jedoch materialabhängige Unterschiede bei der Lösung von Elementen aus den Schüttgütern bei verschiedenen Säurekonzentrationen. **Abbildung 7** zeigt beispielhaft die Elementkonzentrationen bei einer 15-stündigen Behandlung mit einer

synthetisch hergestellten, elementfreien Salzsäure (1:5 verdünnt).

### Diskussion

Die Glaskugeln unterscheiden sich erwartungsgemäß von den Filterkiesen in den bisher durchgeführten Materialtests in allen untersuchten Kenngroßen. Gesteuert werden diese Unterschiede einerseits durch die Festigkeitsunterschiede amorpher (Glas) und kristalliner (Kieskorn) Strukturen und andererseits durch das Vorhandensein von Oberflächenspannungen und Anisotropien im Materialaufbau. Daneben spielen die stofflichen Eigenschaften erwartungsgemäß eine Rolle bei der Exposition der Materialien gegenüber Chemikalien. Im Einzelnen wurden folgende physikalischen und chemischen Charakteristika festgestellt.

- **Kenngroße Nr. 3 (Rundheit):** Glaskugeln erreichen herstellungsbedingt nahezu die Idealform einer Kugel, während Quarzfilterkies auf Grund ihrer Genese meist ovale Formen aufweisen.
- **Kenngroße 4 (Kornverteilung):** Die nahezu ideale Rundheit von Glaskugeln ermög-

licht die Bildung der dichtesten Kugelpackung, deren tetraederförmigen Hohlräume ein definiertes Kennkorn aus dem Grundwasserleiter passieren lassen. Dieses Kennkorn erster Ordnung ergibt sich aus der Multiplikation des Wendepunktes einer konventionellen Siebanalyse nach DVGW-Arbeitsblatt W 113 multipliziert mit dem Ungleichförmigkeitsfaktor. Es kann aber auch durch das Kornspektrum in größerer Trennschärfe mittels digitaler Bildanalyse, z. B. in 10tel Millimeterkorngrößen, bestimmt und die jeweilige Fraktion mit ihrer Masse quantifiziert werden. Die Wahl des passierfähigen Kornes, das entfernt werden soll, kann auch durch die Division eines vorab nach W 113 gewählten Glaskugeldurchmessers durch den Faktor 6,7 bestimmt werden. Im Vergleich dieser Berechnung mit dem sehr fein abstuftbaren Kornspektrum einer digitalen Bildanalyse eines Lockersedimentes kann der Gewichtsanteil des entfernbaren Kornes bei der Entsandung ermittelt werden und somit der Suffosion des Bodens in den Brunnen und einer dauerhaften Sandführung im Brunnen vorgebeugt werden (Abb. 1).

- **Kenngroße Nr. 5 (Bruchlast, statisch):** Je größer die Korngröße des Schüttgutes desto größer ist die Lastaufnahme bei beiden Materialien. Jedoch steigt der Unterschied der Bruchlasten zwischen Glaskugel und Kieskorn gleicher Größe mit der Korngröße exponentiell an. Je größer die Glaskugel, desto größer ist die Lastaufnahmedifferenz im Vergleich zur gleichgroßen Kieskornfraktion (Abb. 2).
- **Kenngroße Nr. 6 (Bruchverhalten, statisch):** Glaskugeln können im Vergleich zum Filterkies sehr große statische Lasten > 4 kN bis zur Bruchgrenze aufnehmen, bevor sie in feine Partikel zerbersten. Säurepolierte Glaskugeln sind im Vergleich zu matten Kugeln statisch höher belastbar, da die Festigkeit eines amorphen Feststoffes von den Anisotropien an der Oberfläche gesteuert wird. Diese in der Regel geringen Anisotropien erzeugen Zugspannungen an der Kugeloberfläche und werden bei den polierten Kugeln weitestgehend entfernt (Abb. 4.1 und 4.2), sodass Zugkräfte an der Kugeloberfläche vermieden werden. Diese Art von Glaskugeln ist für Einbausituationen mit besonders hohen Beanspruchungen günstig. Filterkies bildet dagegen schon bei geringen Belastungen von ca. 0,5 bis 0,7 kN zahlreiche Bruchstücke, die sich in den Porenraum des Schüttkörpers drücken und dadurch die weitere Lastaufnahme des Kornverbandes erst ermöglichen. Es entstehen im Lastfall oberhalb der Bruchgrenze der Körner ungleichkörnige Gemische unterschiedlicher Korngröße.

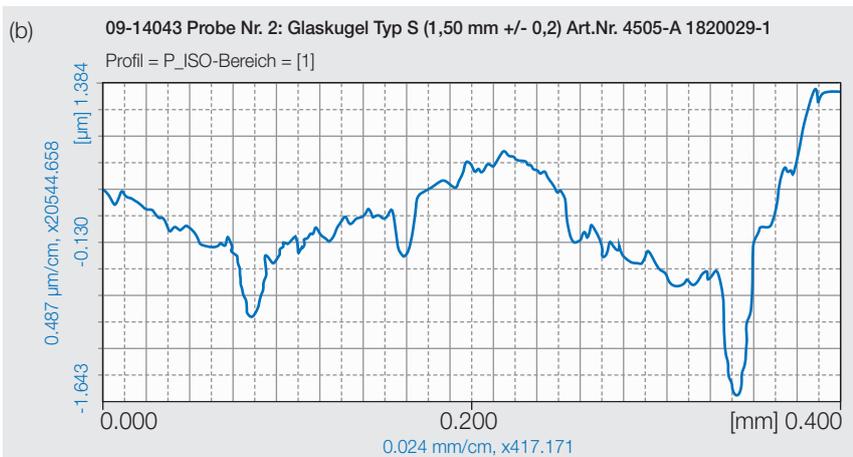
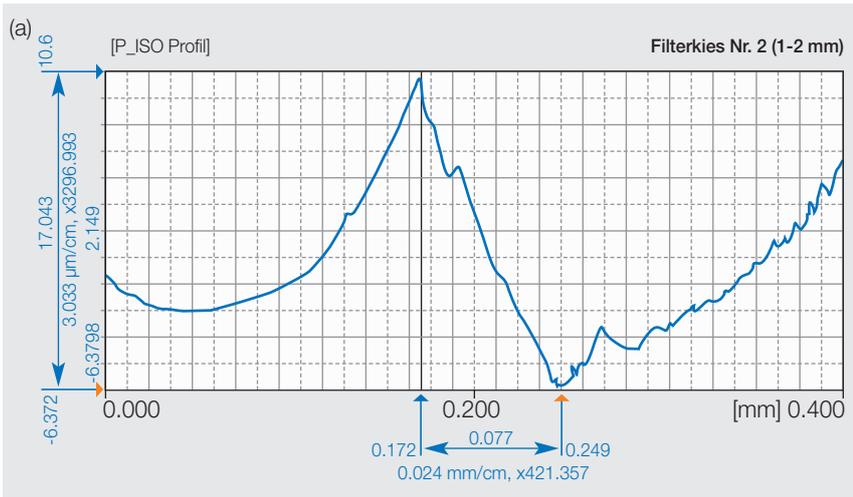


Abb. 6: Oberflächenprofil eines Kornes aus der Fraktion 1-2 mm (a) und einer Glaskugel 1,5 mm +/- 0,2 mm (b)

Quelle: Autoren

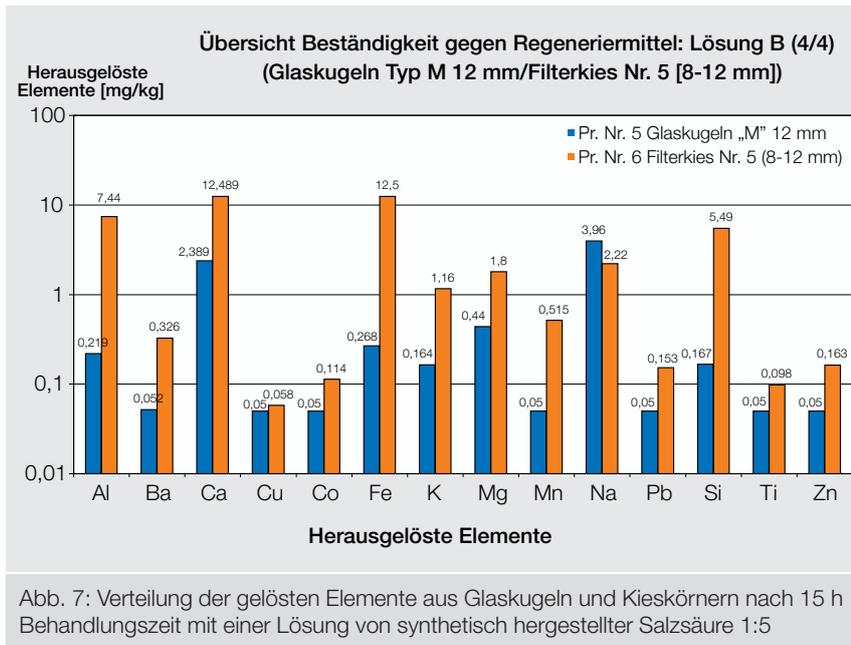
- **Kenngroße Nr. 8 (Abrieb):** Der Massenverlust beim Vermahlen von Filterkies simuliert den Prozess des Schützens mittels Schüttrohren in einen Brunnen. Dabei kann das einzelne Filterkieskorn um die Hälfte an Masse verlieren und somit weitere autochthone Unterkornanteile in der Schüttung bilden.
- **Kenngroßen Nr. 9 bis 11 (Oberflächen-gestalt, Oberflächenprofil, Rauhtiefen):**

Glaskugeln weisen eine nur gering profilierte Oberfläche auf, was die Ergebnisse zum Anlagerungsverhalten bei Treskatis et al. (2009) bestätigt. Dagegen können in den z. T. mehrerer Mikrometer großen Vertiefungen der Quarzkornoberflächen Ablagerungen dauerhaft anhaften und an Schichtstärke zunehmen (Abb. 6.1 und 6.2: bis 17,04 µm Gesamthöhenunterschied im gemessenen Oberflächenprofil

des Kieskorns im Vergleich zu 3,03 µm bei Glaskorn; gemessene Profillänge: 0,4 mm). Dadurch werden diese Anhaftungen bei der Regenerierung nur unzureichend entfernbar und vererzen mit der Zeit.

- **Kenngroße Nr. 12 (spezifische Oberfläche):** Der Unterschied in der spezifischen Oberfläche einer Glaskugel mit weniger als 0,01 m<sup>2</sup>/g im Vergleich zum Filterkies (bis zu 0,95 m<sup>2</sup>/g) erklärt die in der Praxis oft auftretende geringe Nachhaltigkeit von Brunnenregenerierungen in Kiesschüttungsbrunnen. Je größer die spezifische Oberfläche eines Schüttgutes, desto größer die potenzielle Anlagerungsfläche und Masse der Inkrustationsprodukte.
- **Kenngroße 13 (Beständigkeit gegenüber pH-gesteuerten Regeneriermitteln):** Die gelöste Menge und Art der Elemente hängt in erster Linie vom Primärmineralgehalt des Schüttgutes ab. Bei Glaskugeln aus Kalk-Natronglas werden die Elemente Ca, Na und Si gelöst (z. B. bis zu 12 mg/kg Na, s. Abb. 7), während bei Kies Al, Ca, und Si dominieren. Hinzu kommen beim Kies Beimengungen von Schwermetallen, wie z. B. Ba, Cu und Pb, die sich aus den Nebenbeimengungen des Filterkieses und den Ablagerungen von Eisensulfiden, wie z. B. Pyrit, ergeben. Insgesamt ist die mittels pH-gesteuerten Regeneriermitteln generierte Elementkonzentration in den Testlösungen beim Filterkies größer und vielfältiger als bei den Glaskugeln.

Die bisherigen Materialtests zeigten, dass die mineralisch amorphen Glaskugeln hydraulische Vorteile aufweisen und eine Minderung der Anlagerungen von Inkrustationen begünstigen, die bei den untersuchten DIN-Filterkiesen aus genetischen Gründen limitiert sind. Es deutet sich an, dass die für die Kennkornfestlegung recht ungenaue ►



Quelle: Autoren

Trennschärfe der DIN-Siebanalysen bei feinkörnigen, gleichkörnigen Sedimenten bei ungenauer Bestimmung der Schüttkugelgröße rasch zu Fehlbemessungen des Brunnens führen kann. Hier werden weitere Untersuchungen im Labormaßstab zurzeit im Rahmen des F&E-Vorhabens ausgeführt.

**Zusammenfassung**

Die physikalischen Eigenschaften von Glaskugeln und Filterkiesen unterschiedlicher Kornspektren und Provenienz wurden in Labortests unter brunntechischen Einsatzaspekten systematisch untersucht. Dazu wurden Glaskugeln und handelsübliche Filterkiese verschiedener Lagerstätten verglichen. Gravierende Unterschiede ergeben sich in der mechanischen Festigkeit, in der Morphologie der Korn-/Kugeloberfläche und bei der Rundheit, die für das Anlagerungsverhalten von Inkrustationen verantwortlich sind. Bei Glaskugeln wurde bei nahezu idealer Rundheit eine sehr geringe spezifische, innere Oberfläche bei geringen Rauheiten und Rauhtiefen festgestellt. Filterkiese haben genetisch bedingt dagegen stark strukturierte, raue Oberflächen mit großem Anlagerungspotenzial. Daraus wird abgeleitet, dass dadurch die Regenerierhäufigkeit und die Nachhaltigkeit von Regenerierungen beeinflusst werden.

Für die Ergiebigkeit und das Kolmationsverhalten sind vor allem die Bruchlasten und die Bruchcharakteristik von Bedeutung. Beim Filterkies ist eine geringe Bruchlast von weniger als 0,7 kN gegenüber mehr als 4 kN bei Glaskugeln zu erwarten. Unter den beim Brunnenbau zu erwartenden Einbaubedingungen sind Brüche von Glaskugeln und Splitterbildungen

nicht zu erwarten. Der Abrieb einer Glaskugel ist um den Faktor 13 geringer als bei gleich großem Filterkies. Glaskugel tragen somit nicht zur Bildung von Unterkorn oder Kolmationspartikeln bei.

Mit Hilfe digitaler Bildanalysen konnte die Kornverteilung natürlicher Sedimente beispielhaft in hoher Auflösung der Kornstufen bestimmt werden. Dadurch soll im Rahmen weiterer Tests die Kugelgröße genauer an das mobilisierbare (Unter-)korn des Grundwasserleiters angepasst werden. Ziel ist eine Verbesserung der Entsandungs- und Regenerierfähigkeit des Brunnens.

Filtersande und Filterkiese sind genetisch bedingt von verschiedenen Primärmineralien verunreinigt und bestehen nicht nur aus reinem SiO<sub>2</sub>. Dadurch werden bei einer Exposition dieser Schüttgüter gegenüber Säuren neben dem Quarzindikator Si als Hauptelement vor allem Al, Ba, Cu, Fe, Mn und Pb gelöst. Bei Glaskugeln werden keine toxikologisch bedenklichen Elementkonzentrationen nachgewiesen, da primär Ca, Na und untergeordnet Si, Mg und K gelöst werden.

Glaskugeln haben mechanische und physikalische Vorteile gegenüber natürlichen Filterkiesen und können bei geeigneten Lockersedimenten und Festgesteinen einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung von Kolmationen und zur Reduzierung von Inkrustationen und somit zu insgesamt geringeren Entsandungs- und Regenerieraufwendungen leisten.

**Danksagung**

Das F&E-Vorhaben wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und

Technologie auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen: KU2027701BN8: „Abstützung von Bohrlöchern zur Wassergewinnung – Glaskugeln als Verfüll-, Stütz- und Filtermaterial für den modernen Brunnenbau; Untersuchung des Sandrückhalteverhaltens (Filterwirkung) der Glaskugeln im Vergleich zu Kies, Verockerungsneigung der Glaskugeln in Brunnen und unter Laborbedingungen, Einbauverhalten der Glaskugeln in gebohrten Brunnen“ vom 12.03.2009)

**Literatur:**

DeZwart, B.-R. (2007): Investigation of Clogging Process in Unconsolidated Aquifers near Water Supply Wells. – 200 S., Dissertation TU Delft.

Herrmann, F & Stiegler, X. (2008): Einsatz von Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen. – in: bbr 05/2008: S. 48-53; Bonn (wvgw).

Houben, G. & Treskatis, C. (2003): Regenerierung und Sanierung von Brunnen - 280 S., 111 Abb., 32 Tab., Anhang und CD-ROM; München (Oldenbourg) (ISBN: 3-486-26545-8).

Treskatis, C. (2007): Partikelinduzierte Kolmation von Brunnen – Identifikation und Lösungsansätze. In: Drenstedt, C. & Struzina, M. (Hrsg.): Grundlagen und Erfahrungen der Übertragbarkeit von Modellversuchen auf großindustrielle Anwendungen, S. 59 – 71, Freiberg, ISBN 978-3-86012-330-0

Treskatis, C., Hein, C., Peiffer, S. & Herrmann, F. (2009): Brunnenalterung: Sind Glaskugeln eine Alternative zum Filterkies nach DIN 4924?.- in: bbr 04/2009: S. 36-44; Bonn (wvgw).

**Autoren:**

Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis  
Bieske und Partner  
Beratende Ingenieure GmbH  
Im Pesch 79  
53797 Lohmar  
Tel.: 02246 9212-22  
Fax: 02246 9212-99  
E-Mail: c.treskatis@bup-gup.de  
Internet: www.bieske.de

Dipl.-Ing. Michael Danhof  
Dipl.-Ing. Michael Dressler  
Sigmund Lindner GmbH  
Oberwarmensteinacher Str. 38  
95485 Warmensteinach  
Tel.: 09277 994-0  
Fax: 09277 994-99  
E-Mail: danhof@sigmund-lindner.com  
dressler@sigmund-lindner.com  
Internet: www.sigmund-lindner.de

Dipl.-Ing. Frank Herrmann  
Ochs Brunnenbau  
Schieräckerstr. 32  
90431 Nürnberg  
Tel.: 0911 32430-30  
Fax: 0911 3143-52  
E-Mail: herrmann@ochs-bau.de  
Internet: www.ochs-bau.de