

# Filtermaterial aus Glaskugeln

## Eine Alternative zu Filtersanden? Teil 1

Dipl.-Phys. Walter Markiel und Dipl.-Ing. Eberhard Wistuba, ETC engineering & technology consulting GmbH, Burgau

Glaskugeln, mundartlich auch Murmeln genannt, als Filtermaterial einzusetzen, klingt sehr exotisch, ist es aber nicht. Denn seit geraumer Zeit werden Glaskugeln im modernen Brunnenbau als Stützmaterial von Bohrlöchern bei der Trinkwassergewinnung eingesetzt. 2007 wurde damit der erste Brunnen, ein „Festgesteinsbrunnen“ in Roßtal, Landkreis Fürth, ausgestattet.<sup>1)</sup> Mittlerweile haben sich auf diesem Sektor Glaskugeln als Ersatz für Filtersande und -kiese etabliert, weil aufgrund der homogenen Form und der Durchmesser-Verteilung von Glaskugeln der sog. Regenerieraufwand bei Brunnen erheblich reduziert werden konnte.

Vorteile wie die wesentlich höhere Abriebsfestigkeit und somit der Wegfall lungengefährdenden Silikatstaubes bei der Befüllung und kaum vorhandenes Setzungsverhalten nach der Befüllung sprechen bei dieser Anwendung auch für Glaskugeln.

Einige weitere positive Eigenschaften, wie z. B. das homogene Porenvolumen der Schüttung, die ideale Kugelform und die glatte Oberfläche, könnten aber auch für eine ganz andere Nutzung Vorteile mit sich bringen. Wenn sich das Glasmaterial sehr gut in den Brunnen

bohrlöchern eignet, dann ist anzunehmen, dass es sich auch als Filtermaterial für Schnellfilter in der Wasseraufbereitung eignen könnte.

Dem hier veröffentlichten ersten – theoretischen – Teil wird in einer der nächsten Ausgaben von AB Archiv des Badewesens ein zweiter – praktischer – Teil folgen, der die Praxis-Versuche mit Glaskugeln in einem öffentlichen Bad dokumentieren wird (siehe auch das Kapitel „Aussichten“).

### Theoretische Überlegungen

Festbettfilter zur Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, aber auch solche zur Trinkwasseraufbereitung, sind nach DIN EN 12 904 mit Filtersanden und -kiesen auf Quarzbasis zu bestücken. Handelsübliche, zugelassene Filtermaterialien sind von Natur aus nicht ideal gleichförmig in ihrer Gestalt und somit strömungstechnisch nicht optimal. Sie müssen der Kugelform nur „möglichst nahekommend“ geformt sein; ein Ungleichförmigkeitsgrad von 1,5 % ist zulässig. Auch ist bei den jeweiligen



■ Glaskugeln

Fractionen ein Unterkornanteil zugelassen, der durch Schichtung sowohl in der Verpackung als auch im Filterbetrieb selbst zu Schwierigkeiten führen kann.

Nun ist aus theoretischen Betrachtungen nach Kozeny-Carman<sup>2)</sup> bekannt, dass bei Material uneinheitlicher Korngrößenverteilung eine niedrigere Permeabilität und somit ein höherer Druckverlust als bei Material mit einheitlicher Verteilung gegeben ist.

Für die Permeabilität nach Kozeny-Carman gilt:

$$k = \frac{\phi^3}{5(1-\phi^2)S_m^2}$$

Dabei ist  $\phi$  die Porosität, die üblicherweise gemessen wird,  $S_m$  die spezifische Oberfläche.

Für Packungen aus Kugeln oder kugelförmigen Körnern lässt sich  $S_m$  berechnen, wenn die Korngrößenverteilung bekannt ist.

$$S_m = q \cdot s, \quad s = \sum_i \frac{P_i}{r_i}$$

$P_i$  ist der Volumenanteil aller Körner mit Radius  $r_i$ .  
 $q$  ist das Verhältnis von der Oberfläche eines Teilchens zu dessen Volumen multipliziert mit dem Radius.

Bei Kugelform ergibt sich:  $q = \frac{4\pi r^2}{\frac{4\pi}{3}r^3} \cdot r = 3$

Da bei einer Kugel das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche am geringsten ist, ergibt sich bei Abweichung von der Kugelform immer ein Wert  $q > 3$ .

An losen Sanden bekannter Korngrößenverteilung wurden die obigen Gleichungen bestätigt. Als Mittelwert für  $q$  ergab sich bei diesen Sanden ein Wert von ca. 3,5.<sup>3)</sup>

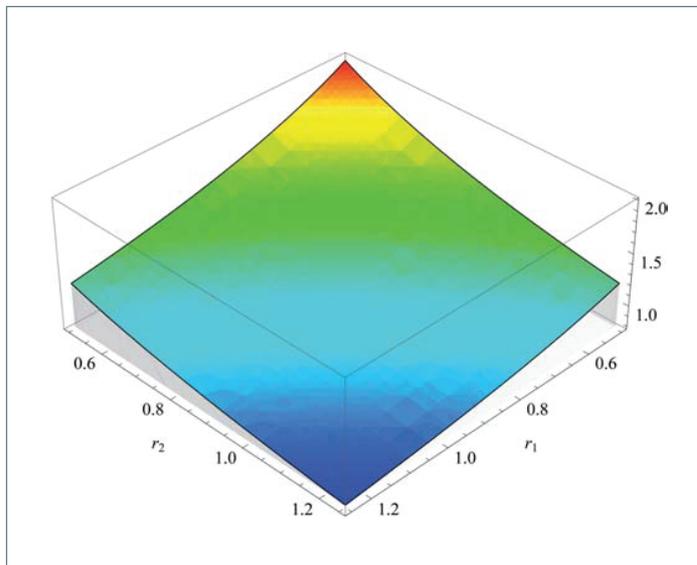


Abbildung 1: S-Verteilung

Als Fazit gilt: Je runder das Korn, umso kleiner ist das spezifische Volumen und umso größer ist die Permeabilität. Nur mit Kugeln lässt sich die höchste Permeabilität und somit der geringste Druckverlust erreichen.

Da die Permeabilität nach der Kozeny-Carman-Gleichung indirekt proportional zum Quadrat der spezifischen Oberfläche ist, ist die Permeabilität einer Schüttung von Kugeln immer um den Faktor  $\frac{3,5^2}{3^2} = 1,36$  größer als die einer Schüttung aus Sand gleicher Kornverteilung.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Permeabilität ist die Verteilung der Korngrößen. So gilt, dass diese umso größer ist, je schärfer die Kornverteilung um einen gewünschten Sollwert ist.

Dies lässt sich anschaulich durch Auswertung der Summe  $s$  zeigen. Nimmt man eine einheitliche Verteilung der Körner von einem unteren Radius  $r_1$  bis zu

einem oberen Radius  $r_2$  an, so lässt sich die Summe in ein Integral umwandeln.

$$s = q \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r(r_2 - r_1)} dr = q \frac{\text{Log}(r_2) - \text{Log}(r_1)}{r_2 - r_1}$$

In der Abbildung 1 wird deutlich, dass bei zunehmendem Abstand der beiden Radien, also einer unschärferen Verteilung, die spezifische Oberfläche größer und somit die Permeabilität kleiner wird.

Bei einer einheitlichen Korngröße, also wenn  $r_2 - r_1$  gegen Null geht, nähert sich die Summe gegen den theoretisch größtmöglichen Wert:  $\frac{1}{r_2}$

$$\lim_{r_1 \rightarrow r_2} \frac{\text{Log}(r_2) - \text{Log}(r_1)}{r_2 - r_1} = \lim_{r_1 \rightarrow r_2}$$

$$\frac{\partial_{r_1}(\text{Log}(r_2) - \text{Log}(r_1))}{\partial_{r_1}(r_2 - r_1)} = \frac{1}{r_2}$$

Anzeige



**ADSORBA®**

Aktivkohlen  
Entchlorungsanlagen  
Luftfilter  
Schwimmbadsauger



ETC - GmbH, Industriestrasse 18, 89331 Burgau, Tel.: 08222/9682-0, Fax: 08222/9682-28, www.adsorba.de, info@adsorba.de

Somit ergibt sich folgendes Gesamtbild: Aufgrund der kleineren spezifischen Oberfläche einer Schüttung aus Glaskugeln im Vergleich zu Filtersanden gleicher Körnung und den eben erwähnten schärferen Verteilungen erhöht sich die Permeabilität um circa 36 %. Die Druckverluste einer solchen Schüttung sind natürlich geringer, was den Energieverbrauch der Pumpen erheblich reduziert. Dazu kommt noch, dass der Strömungswiderstand bei rauen Oberflächen sicherlich größer ist als bei glatten Strukturen. Auch hierdurch wird sich der Energieverbrauch reduzieren lassen.

Aber auch bei der Spülung der Filter werden Vorteile erwartet: So bietet Filtersand im Gegensatz zu Glaskugeln aufgrund seiner extrem rauen Oberfläche ideale Bedingungen für ansiedlungs- und vermehrungsfreudige Biofilme und deren (Er-)Halt am Quarzkorn. Die glatte

Oberfläche von Glaskugeln hingegen bietet wesentlich weniger Halt für Mikroorganismen und dürfte somit einfacher zu reinigen sein.

Glaskugeln bestehen aus Siliziumdioxid, geben keine Bestandteile ab, welche die Beschaffenheit des Wassers beeinträchtigen können, und sind vor allem mechanisch erheblich stabiler als Filtersand.<sup>5)</sup>

### Ausblick

Aufgrund der geschilderten Vorbetrachtungen kann man erwarten, dass beim Einsatz von Glaskugeln als Ersatz für Filtersand und -kies erhebliche Mengen an Energie und Wasser eingespart werden können. Vor einer Überprüfung dieser Annahmen in der Praxis wurden Laborversuche<sup>3), 4)</sup> durchgeführt.

Die großtechnischen Versuche in einem Schulbad bei Schwäbisch Hall laufen z. Zt. noch. Die Ergebnisse sind – wie bereits erwähnt – Inhalt des zweiten Teils des Artikels.

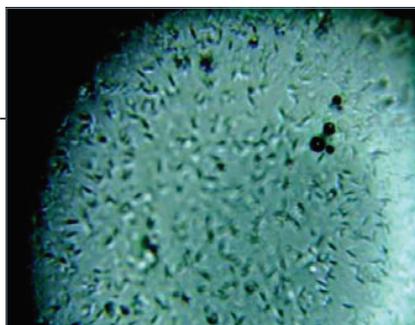


■ Versuchsaufbau der Firma ETC, Burgau

### Laborversuche

Zuerst wurde überprüft, ob sich das Glasmaterial überhaupt für das chemische Umfeld der Wasseraufbereitung eignet. Dazu wurde ein wasserdurchlässiger Filterbeutel für drei Monate in einen Schwallwasserbehälter platziert (mit freundlicher Genehmigung des Gartenhallenbads Leipheim). Vor und nach diesem einfachen Materialtest wurden die Glaskugeloberflächen mittels Mikroskop untersucht (siehe dazu die beiden Mikroskop-Aufnahmen auf dieser Seite).

Bei den Glaskugeln zeigten sich vor und nach dem Einsatz im chlorhaltigen Schwallwasser keine Unterschiede. Die Oberfläche hatte sich im Laufe der drei Monate nicht verändert, was darauf



■ Glaskugel 0,70 mm, Neuware, ungechlort; Fotos: ETC, Burgau

bei längerem und vor allem härterem Einsatz im tatsächlichen Filtrationsbetrieb geeignet sind.

Die weiteren Tests wurden im Labormaßstab durchgeführt. So dienten beispielsweise DN-100-PVC-Klar-Rohre als Simulationsfilter



■ Glaskugel 0,70 mm, 3 Monate gechlort

## Flockungsfiltration

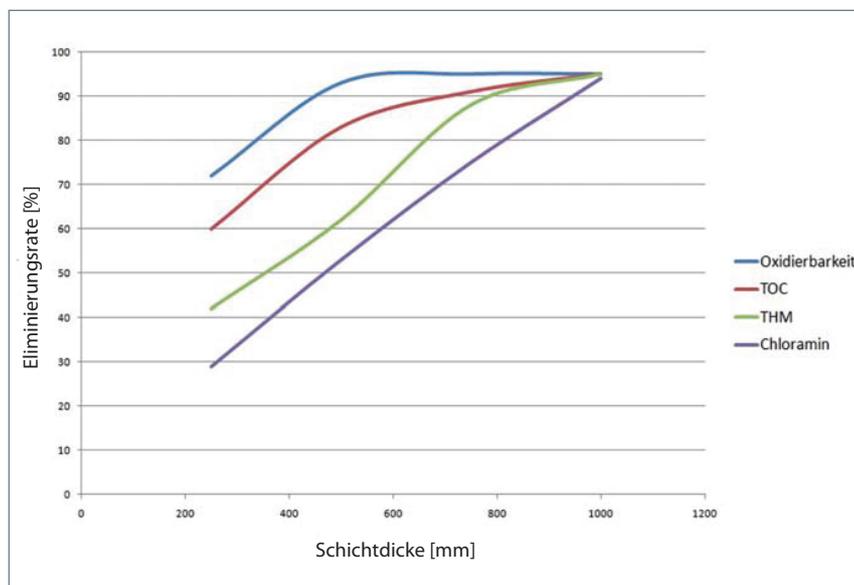
hö

Vorab galt es die Filtrationsleistung von Glaskugeln typischer Körnung (0,71-1,25) zu überprüfen. Um zu testen, ob das Material für die Flockungsfiltration geeignet ist, oder aufgrund der glatten Oberfläche der Glaskugeln die Filtrationsleistung nicht gegeben ist, wurden diese mit verschiedenen Schütthöhen gemessen.

Die Werte der Tabelle 1 / Fig. 2 wurden unter folgenden Versuchsbedingungen erhalten ( 10 Messungen):

Parameter/Schichtdicke	250 mm	500 mm	750 mm	1000 mm
Oxidierbarkeit / Kaliumpermanganatindex	72 %	93 %	95 %	> 95 %
Total organic carbon (TOC) / dissolved organic carbon (DOC)	60 %	83 %	91 %	> 95 %
Trihalogenmethane	42 %	62 %	88 %	> 95 %
Chloramine	29 %	53 %	75 %	94 %

■ Tabelle 1: Messdaten der Laborversuche



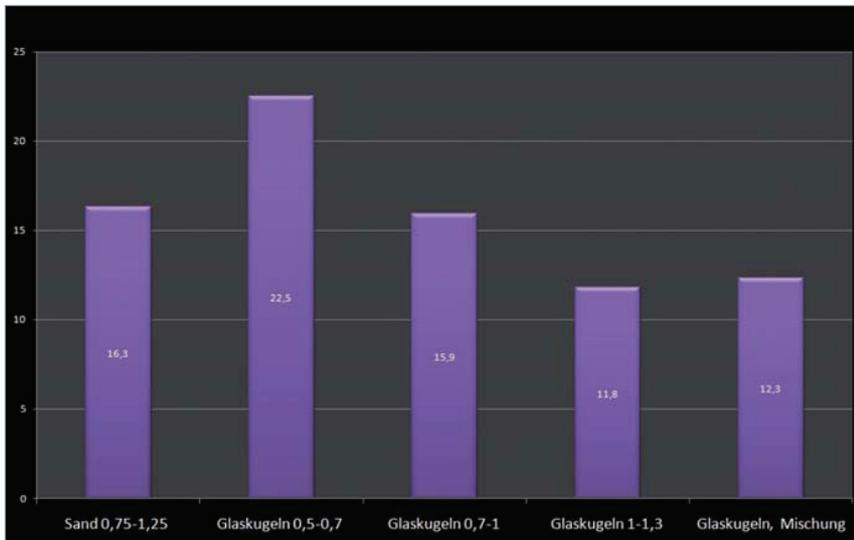
■ Abbildung 2: Eliminierungsraten

- Temperatur des Wassermediums (konstant): 32 °C
- Ausgangskonzentration an freiem Chlor (mg/l): variabel
- lineare Durchströmungsgeschwindigkeit (konstant): 0,7 cm/s
- Schichtdicke (mm): siehe Tabelle 1
- Kontaktzeit (Optimum) bei 1000 mm: 143 s

Schon bei 500 mm Schütthöhe ergaben sich sehr zufriedenstellende Eliminierungsraten.

### Filtrationsdruckverluste

Zur Bestimmung der Druckverluste der verschiedenen Filtermaterialien mit verschiedenen Korngrößen diente folgender einfacher Aufbau: Es wurde jeweils 300 mm Filtermaterial in eine Versuchsröhre gegeben und die Ablaufzeit einer 370 mm hohen Wassersäule (Trinkwasser 20 °C) auf 70 mm über der jeweiligen Filteroberfläche gemessen. Wie zu erwarten war, ist die gemessene Ablaufzeit bei Filtersand etwa 1,33-mal so groß wie bei Glaskugeln gleicher Körnung. ( Sand: 16,3 sec, Glas, 12,3 sec)



■ Abbildung 3: Ablaufzeit bei 30 cm Schütthöhe

nung (Sand: 16,3 s, Glas: 12,3 s) (siehe Abbildung 3).

Aus den Ablaufzeiten ließen sich durch numerische Simulation (finite Elemente) die Permeabilitäten<sup>9)</sup> bestimmen. Das Wasser, in Abbildung 4 als blaue Fläche

dargestellt, läuft unter dem Einfluss der Schwerkraft durch eine (in Abbildung 4 gelbe) Schicht definierter Permeabilität und Porosität (Beispiel: Permeabilität 1,1 E-9, Porosität 40%) (siehe Abbildung 4).

Filtersand und Glaskugeln weisen die gleiche Porosität von 40 % auf, wie durch Wiegeversuche (Füllmittel ist Wasser) ermittelt wurde.

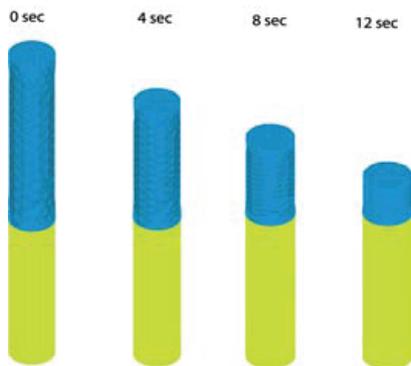
Die Berechnung erfolgt mittels der Darcy-Gleichung:

$$Q = k \frac{\rho g}{\eta} A \frac{dh}{dx}$$

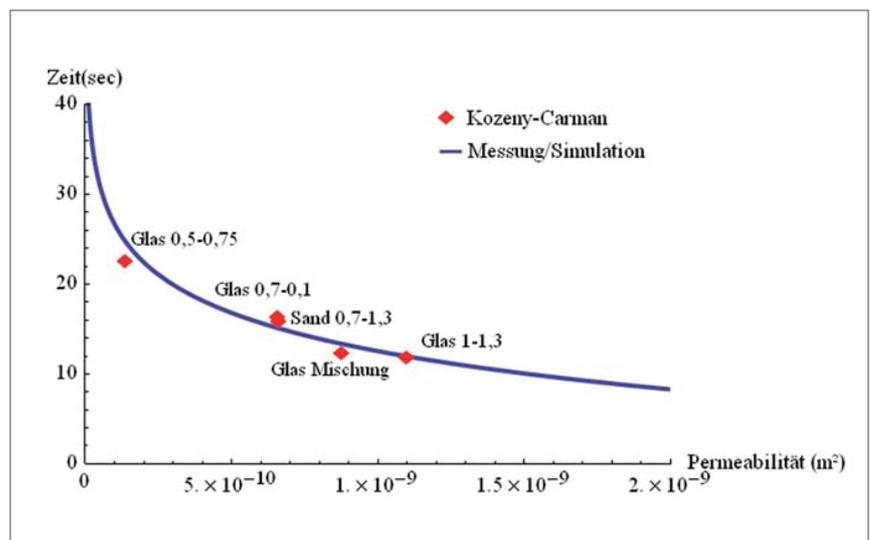
Q ist die Durchflussmenge, k die Permeabilität,  $\rho$  die Dichte, g die Erdbeschleunigung,  $\eta$  die Viskosität und  $\frac{dh}{dx}$  der hydraulische Gradient.

Abbildung 5 stellt die Ablaufzeit in Abhängigkeit von der Permeabilität dar. Anhand dieser Kurve lassen sich bei bekannten Ablaufzeiten die Permeabilitäten bestimmen.

Die aus der Kozeny-Carman-Gleichung berechneten Werte für die Permeabilität liegen in etwa auf der Ablaufkurve. Es bestätigt sich, dass die Permeabilität von Glaskugeln höher ist als bei körnigem Material gleicher Korngrößen wie Quarzsand.



■ Abbildung 4: Ablaufzeiten bei einer Permeabilität 1,1 E-9, Porosität 40 %  
blau: Wassersäule; gelb: Filtermaterial



■ Abbildung 5: Ablaufzeit gegen Permeabilität nach Kozeny-Carman

Die Permeabilität von Sand, Körnung 0,71 - 1,25 mm, beträgt mit ca.  $6,67 \cdot 10^{-10}$  sogar etwas mehr als die von feineren Glaskugeln mit einer Körnung von 0,7 - 1,0 mm ( $6,62 \cdot 10^{-10}$ ).

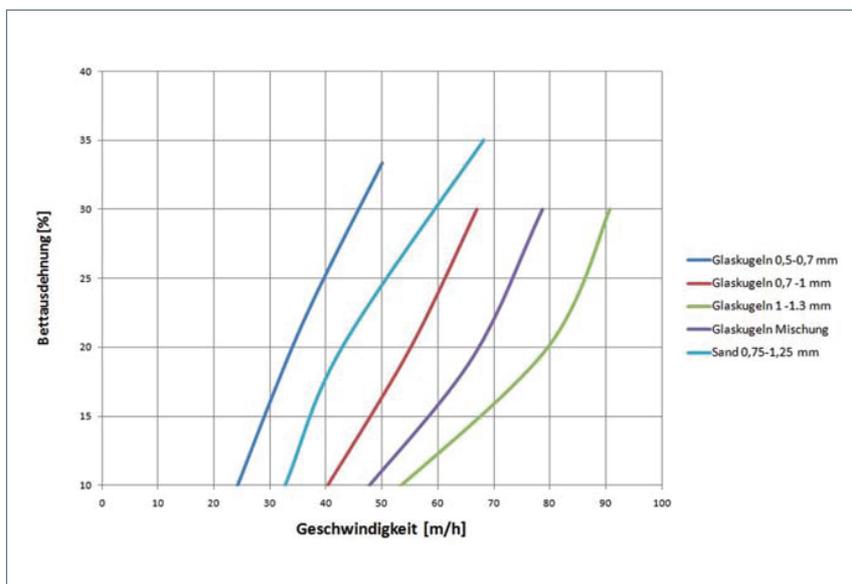
Dass der Druckverlust bei Sand signifikant höher als bei Glaskugeln ist, wird bestätigt. Aus den Ablaufzeiten und den anderen Größen ergibt sich ein um ca. 33 % größerer Druckverlust für Filtersand bei Schüttungen gleicher Körnung.

## Spülung

Zur Bestimmung der Spülwassermengen für verschiedene Filtermaterialien mit verschiedenen Korngrößen diente wieder folgender Aufbau: Es wurde jeweils 300 mm Filtermaterial in die Versuchsröhre gegeben sowie die Betaausdehnung und die Durchmischungscharakteristik in Abhängigkeit von der Spülgeschwindigkeit (Trinkwasser 20 °C) bestimmt (siehe Abbildung 6).

Sehr interessant, aber zu erwarten, war die Tatsache, dass zur 10%igen Betaausdehnung von Filtersand (0,71 - 1,25 mm) weniger Spülgeschwindigkeit (ca. 34 m/h) als bei den gleich großen Glaskugeln mit ca. 41 m/h notwendig war. Das ist einfach durch den geringeren Strömungswiderstand bei Kugeln zu erklären. Dadurch muss eine höhere Anströmgeschwindigkeit zum Heben der Glaskugel eingesetzt werden als beim Sandkorn mit höherem Strömungswiderstand.

Allerdings war es bei den Spülversuchen mit Sand zur vollständigen Durchmischung des Filterbetts immer nötig, mind. 10 % Betaausdehnung zu erreichen. Dies war bei allen Glaskugeln nicht der Fall. Hier reichten bereits 5 % Betaausdehnung, um das komplette Filterbett kräftig zu durchmischen. Die Spülgeschwindig-



■ Abbildung 6: Rückspülkurven

keit liegt im Vergleich zum Filtersand wesentlich niedriger und kann, je feiner die Körnung der Glaskugeln gewählt wird, noch weiter reduziert werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse entsteht ein großes Einsparpotenzial an Wasser, Abwasser, Energie und Betriebsmitteln.

## Aussichten

Im Teil 2 wird darüber berichtet werden, wie sich das Glaskugel-Filtermaterial in den Praxisversuchen in einem öffentlichen Bad bei Schwäbisch Hall tatsächlich verhalten hat. Mit einem Aufbereitungs-kreislauf mit zwei identischen Schnell-filtern bot das Bad ideale Bedingungen für einen Vergleichstest.

Ein Filter verblieb dazu im „Urzustand“, das andere Filter wurde zum direkten Vergleich mit Glasfilterkugeln gleicher Schütthöhen und gleicher Körnung vom Anlagenbauer<sup>5)</sup> und von uns bestückt sowie für die umfangreichen Messungen vorbereitet.

Der Versuch, beaufsichtigt vom örtlichen Gesundheitsamt und den Stadtwerken Schwäbisch Hall als Betreiber, ist noch nicht beendet. Er läuft insgesamt über vier Wochen und wird natürlich auch wissenschaftlich begleitet.

## Literatur

- 1) Fachbericht „Einsatz von Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen“. Sonderdruck aus Heft 5/2008 BBR Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, Autoren: Dipl.-Ing. (FH) Frank Hermann und Xaver Stiegler, Firma Ochs Bohr, Nürnberg
- 2) Prof. Dr. Nikolai Bagdassarov, Kreislauf von Fluiden, Vorlesungsskript WS 2008/09, Geophysikalisches Institut der Universität Frankfurt am Main
- 3) Labormessungen in der Lehr- und Versuchsgesellschaft für innovative Hygienetechnik, Institut für angewandte Bau- und Bäderhygiene (LVHT), Mülheim an der Ruhr, und in der OEBA Agentur für Technologie und Hygiene, Dresden
- 4) Versuchsbericht „Filtertest“ vom 3. Juni 2010, ETC engineering & technology consulting, Burgau
- 5) R+I-Schema / Revisionsplan eines Hallenbades in der Nähe von Schwäbisch Hall, Wassertechnik Wertheim, Wertheim

nung und die Durchmischungscharakteristik in Abhängigkeit von der Spülgeschwindigkeit (Trinkwasser 20 °C) bestimmt (siehe Abbildung 6).

Sehr interessant, aber zu erwarten, war die Tatsache, dass zur 10%igen Betausdehnung von Filtersand (0,71 - 1,25 mm) weniger Spülgeschwindigkeit (ca. 34 m/h) als bei den gleich großen Glaskugeln mit ca. 41 m/h notwendig war. Das ist einfach durch den geringeren Strömungswiderstand bei Kugeln zu erklären. Dadurch muss eine höhere Anströmgeschwindigkeit zum Heben der Glaskugel eingesetzt werden als beim Sandkorn mit höherem Strömungswiderstand.

Allerdings war es bei den Spülversuchen mit Sand zur vollständigen Durchmischung des Filterbetts immer nötig, mind. 10 % Betausdehnung zu erreichen. Dies war bei allen Glaskugeln nicht der Fall. Hier reichten bereits 5 % Betausdehnung, um das komplette Filterbett kräftig zu durchmischen. Die Spülgeschwindig-

keit liegt im Vergleich zum Filtersand wesentlich niedriger und kann, je feiner die Körnung der Glaskugeln gewählt wird, noch weiter reduziert werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse entsteht ein großes Einsparpotenzial an Wasser, Abwasser, Energie und Betriebsmitteln.

### Aussichten

Im Teil 2 wird darüber berichtet werden, wie sich das Glaskugel-Filtermaterial in den Praxisversuchen in einem öffentlichen Bad bei Schwäbisch Hall tatsächlich verhalten hat. Mit einem Aufbereitungskreislauf mit zwei identischen Schnellfiltern bot das Bad ideale Bedingungen für einen Vergleichstest.

Ein Filter verblieb dazu im „Urzustand“, das andere Filter wurde zum direkten Vergleich mit Glasfilterkugeln gleicher Schütthöhen und gleicher Körnung vom Anlagenbauer<sup>5)</sup> und von uns bestückt sowie für die umfangreichen Messungen vorbereitet.

Der Versuch, beaufsichtigt vom örtlichen Gesundheitsamt und den Stadtwerken Schwäbisch Hall als Betreiber, ist noch nicht beendet. Er läuft insgesamt über vier Wochen und wird natürlich auch wissenschaftlich begleitet.

### Literatur

- 1) Fachbericht „Einsatz von Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen“. Sonderdruck aus Heft 5/2008 BBR Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, Autoren: Dipl.-Ing. (FH) Frank Hermann und Xaver Stiegler, Firma Ochs Bohr, Nürnberg
- 2) Prof. Dr. Nikolai Bagdassarov, Kreislauf von Fluiden, Vorlesungsskript WS 2008/09, Geophysikalisches Institut der Universität Frankfurt am Main
- 3) Labormessungen in der Lehr- und Versuchsgesellschaft für innovative Hygienetechnik, Institut für angewandte Bau- und Bäderhygiene (LVHT), Mülheim an der Ruhr, und in der OEBA Agentur für Technologie und Hygiene, Dresden
- 4) Versuchsbericht „Filtertest“ vom 3. Juni 2010, ETC engineering & technology consulting, Burgau
- 5) R+I-Schema / Revisionsplan eines Hallenbades in der Nähe von Schwäbisch Hall, Wassertechnik Wertheim, Wertheim

# Filtermaterial aus Glaskugeln

## Eine Alternative zu Filtersanden? Teil 2

Dipl.-Phys. Walter Markiel und Dipl.-Ing. Eberhard Wistuba, ETC engineering & technology consulting GmbH, Burgau

Im ersten Teil unseres Artikels berichteten wir über die theoretischen Überlegungen, erste Laborversuche und die möglichen Aussichten beim Einsatz von Glaskugeln in der Praxis (siehe AB 03/11 S. 164 ff.). Dieser zweite und abschließende Teil befasst sich damit, wie sich das Glaskugel-Filtermaterial in den Praxisversuchen in einem öffentlichen Bad bei Schwäbisch Hall tatsächlich verhalten hat.

Dieses von den Stadtwerken Schwäbisch Hall betriebene kommunale Bad mit einem Aufbereitungskreislauf mit zwei identischen Schnellfiltern bot ideale Bedingungen für einen Vergleichstest.

### Hydraulik

Ein Filter verblieb dabei im „Urzustand“, das andere Filter sollte zum direkten Vergleich mit Glasfilterkugeln gleicher Schütthöhen und gleicher Körnung bestückt und für die umfangreichen Messungen vorbereitet werden. Leider ist uns allen hier ein Fehler unterlaufen, den wir aber erst nach Versuchsende und Auswertung aller Daten erkannt haben:

Laut Original-Schüttplan des Anlagenbauers<sup>3)</sup> sollte die oberste, feine Sand-schicht eine Größe von 0,5 bis 0,7 mm aufweisen, tatsächlich war aber eine gröbere Korngröße (0,71 - 1,25 mm) eingebaut, da nachträglich einmal das Filtermaterial gewechselt wurde. Dies galt es natürlich bei der Auswertung und Interpretation der Messergebnisse zu berücksichtigen.

Ein Filter ist mit herkömmlichem Filtersand, das andere mit Glaskugeln nach folgendem Schüttplan gefüllt:



■ Filteranlage in Michelbach; Fotos (ohne weitere Quellenangabe): Eberhard Wistuba, Burgau



■ Trockeneinbringen der Glaskugeln, absolut staubfrei

Glasfilter		Sandfilter	
Körnung [mm]	Schichtdicke [m]	Körnung [mm]	Schichtdicke [m]
1,25 - 2,1	0,15	1 - 2,2	0,3
0,75 - 1,3	0,17	0,7 - 1,25	0,5
0,5 - 0,75	0,4	-	-
Anthrazit, 1,4 - 2,5 mm	0,5	Anthrazit, 1,4 - 2,5 mm	0,5

Hydraulisch sind aufgrund der unterschiedlichen Körnungen demnach auch Korrekturen der Ergebnisse vorzunehmen.

Zur Erinnerung: Nach der Kozeny-Carman-Gleichung gilt für die Permeabilität (Durchlässigkeit):

$$k = \frac{\phi^3}{5(1-\phi^2)S_m^2}$$

Dabei ist  $\phi$  die Porosität, die üblicherweise gemessen wird,  $S_m$  die spezifische Oberfläche.

Die Permeabilität des Filters hängt indirekt proportional vom Quadrat der Oberfläche ab.

Berechnet man nun aus den Schichtdicken, den Körnungen und unter Berücksichtigung des Formfaktors in der spezifischen Oberfläche (3,5 für Sand und 3 für Kugeln, siehe Teil 1 des Artikels) die Oberflächen der Filter, so ergibt sich für das „gröbere“ Sandfilter eine Oberfläche von 6340 m<sup>2</sup> und für das „feinere“ Glasfilter eine mit 6106 m<sup>2</sup> um ca. 4 % kleinere Oberfläche. Die beiden Filter sollten also energetisch und hydraulisch annähernd gleiche Daten aufweisen, was die Messungen der Firma Wassertechnik Wertheim bestätigten. Damit ist auch zu erklären, dass keine niedrigeren Druckverluste respektive auch energetische Einsparungen auftraten. Wäre die Schüttung die gleiche gewesen, so hätte das „Glasfilter“ eine Ober-

fläche von 5300 m<sup>2</sup> aufgewiesen. Die hydraulisch-energetischen Werte hätten dann wesentlich besser sein sollen, wie im Teil 1 theoretisch berechnet.

Dies wird anhand der Aufzeichnungen von Wassertechnik Wertheim deutlich. In den Diagrammen 1 und 2 sind die energetischen Daten von Glasfilter und Sandfiltern fast identisch. Bei gleicher Körnung von Sand und Glaskugeln ist somit ein geringerer Druckverlust für Glaskugeln indirekt bestätigt worden.

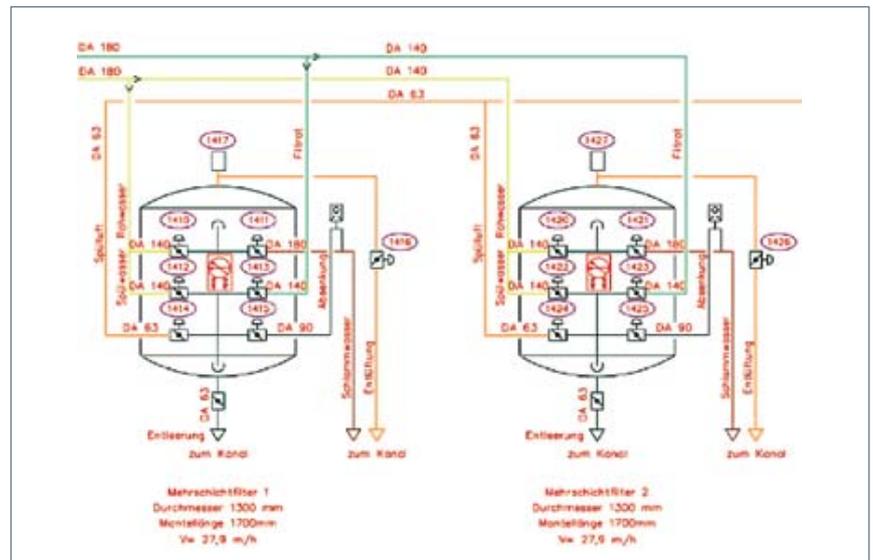
### Partikelzählung

Die Partikelzählung wurde im Rohwasser und im Filtrat jeweils aus dem Sandfilter und Glaskugelfilter vorgenommen. Zusätzlich wurde noch eine Partikelzählung im Beckenwasser durchgeführt. Ins-

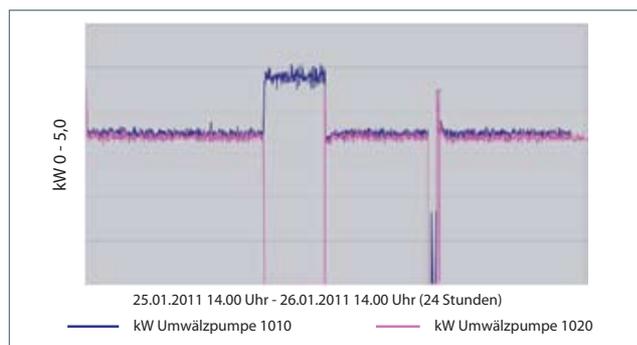


■ Versuchsaufbau der Firma Wassertechnik Wertheim. Kontinuierlich wurden gemessen und aufgezeichnet bzw. per Remote Access abgerufen: Mengendurchfluss, Energieverbrauch an beiden Frequenzumformern, per Hand Druckmessungen

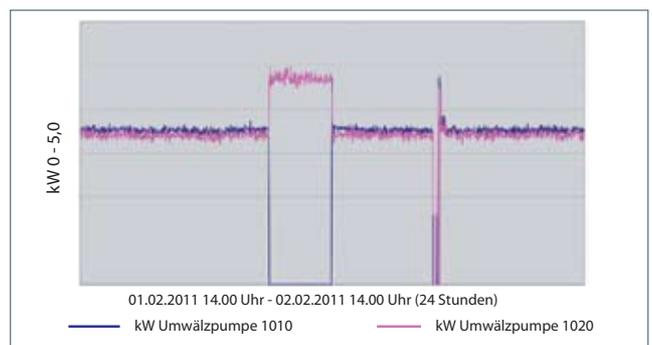
gesamt wurden also fünf Messkanäle des acht Kanal-Messgeräts des Ingenieurbüros für innovative Wassertechnik (IWT), Hannover, genutzt, um während des vier-



■ R+I-Schema<sup>4)</sup>; Quelle: Wassertechnik Wertheim, Wertheim



■ Diagramm 1: Pumpenleistung in kW ohne Glaskugelfilter – kW-Stromaufnahmen vor dem Versuch, 25. - 26.01.2011; Quelle (beide Diagramme): Wassertechnik Wertheim, Wertheim



■ Diagramm 2: Pumpenleistung in kW mit Glaskugelfilter – kW-Stromaufnahmen während des Versuchs, 01. - 02.02.2011

wöchigen Versuchs die Daten quasi kontinuierlich zu bestimmen. „Quasi kontinuierlich“ deswegen, weil das Messgerät jeweils nur einen Kanal, also eine Messstelle, erfassen kann und jede Messung inkl. Umschaltung auf den nächsten Kanal etwa 1 min in Anspruch nimmt. Bei fünf Messkanälen bedeutet dies folgende Messzyklen: 1 min Messung und 4 min Messpause.



■ Versuchsaufbau des Ingenieurbüros für innovative Wassertechnik (IWT), Hannover. Kontinuierlich wurden gemessen und auf gezeichnet bzw. per Remote Access abgerufen: Partikelanzahl, Partikelgröße, Mengendurchfluss; im Bild zu sehen: acht Membranventile zur Umschaltung der Kanäle

Die Messungen wergaben, dass das Glaskugelfilter eine höhere Abscheileistung als das Sandfilter hat. (Diagramm 3 und 4)

Die Befürchtung einiger, dass aufgrund der glatten Oberfläche die Glaskugeln nicht ausreichend filtern würden, hat sich nicht bestätigt.

Untersuchungen, die von Dr.-Ing. Rudi Winzenbacher vom Zweckverband Landeswasserversorgung Langenau im Wasserwerk Langenau durchgeführt wurden<sup>1)</sup>, ergaben, dass sich die Filtratqualität bei einer Verkleinerung der Filtersandkorn-

Hallenbad Michelbach  
Partikelzahlen Rohwasser und Filtrat im Mittel  
vor der Sanierung

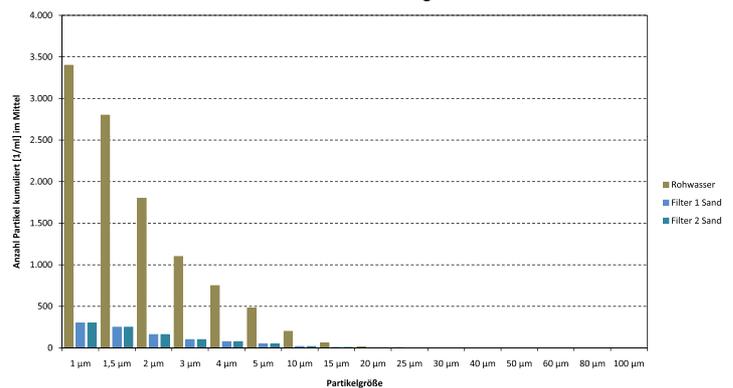


Diagramm 3

Hallenbad Michelbach  
Partikelzahlen Rohwasser und Filtrat im Mittel  
nach der Sanierung

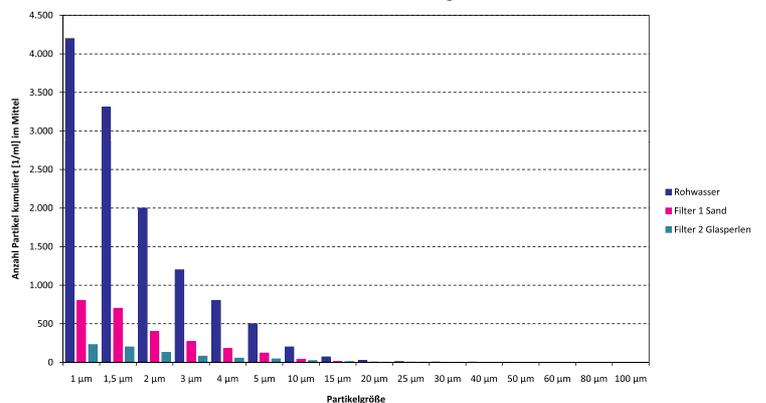


Diagramm 4

Datum	28.01.		31.01.		02.02.		04.02.		07.02.		09.02.		11.02.		14.02.		16.02.		18.02.+)		
	Bw	Rw	Bw	Rw																	
Temperatur	°C	29,1	29,1	29,3	29,1	29,4	29,3	29,3	29,4	29,5	29,6	29,2	29,3	29,0	29,2	29,5	29,6	29,3	29,4	29,1	29,0
freies Chlor	mg/l	0,64	0,75	0,58	0,64	0,60	0,67	0,62	0,65	0,57	0,64	0,56	0,67	0,60	0,62	0,58	0,70	0,61	0,64	0,56	0,61
geb. Chlor Chloramin	mg/l	0,11	0,07	0,08	0,05	0,08	0,04	0,07	0,03	0,07	0,03	0,06	0,04	0,05	0,03	0,09	0,03	0,07	0,03	0,06	0,03
pH-Wert	___	7,11	7,09	7,12	7,09	7,12	7,10	7,14	7,10	7,12	7,10	7,12	7,10	7,15	7,12	7,12	7,11	7,12	7,12	7,13	7,11
Redox-*) Spannung	mV	785	___	799	___	802	___	807	___	810	___	812	___	818	___	815	___	816	___	817	___
Besucher- zahl	1/d	21		80		58		32		34		45		62		43		51		0+)	
Volumen- strom	m³/h	89		90		89		91		90		91		90		89		90		89	

■ Tabelle 1: Überprüfung der Verfahrenskombination „Flockung – Filterung – Chlorung“ im Hallenbad Michelbach, Zeitraum: 28.01. - 18.02.2011; Parameter: freies Chlor, gebundenes Chlor, pH-Wert, Redox-Spannung, Temperatur

Bw: Beckenwasser Rw: Reinwasser \*) : stationäre Anzeige +): Entnahme vor dem Badebetrieb

Quelle (alle drei Tabellen): LVHT, Mülheim an der Ruhr, und OEBA, Dresden <sup>3)</sup>

Parameter	E	Füllwasser	Reinwasser	Richtwert	Beckenwasser	Richtwert	Filtrat 1	Filtrat 2	Richtwert
Koloniezahl bei 20 ± 2°C	[1/ml]	0	0	≤ 20	0	≤ 100	—	—	—
Koloniezahl bei 36 ± 1°C	[1/ml]	0	0	≤ 20	0	≤ 100	—	—	—
E-coli	[1/100ml]	neg	neg	neg	neg	neg	—	—	—
coliforme Keime	[1/100ml]	neg	neg	neg	neg	neg	—	—	—
Ps. a.	[1/100ml]	neg	neg	neg	neg	neg	neg	neg	—
Lg. Spezies	[1/ml]	neg	—	—	neg	neg	—	—	—
Lg. Spezies	[1/100ml]	—	—	—	—	—	neg	neg	neg

■ Tabelle 2: Überprüfung der Verfahrenskombination „Flockung – Filterung – Chlorung“ im Hallenbad Michelbach, Zeitraum: 28.01. - 18.02.2011; Parameter: KBE bei 20 ± 2°C, 36 ± 1°C, E-coli, coliforme Keime, Pseudomonas aeruginosa, Legionella Spezies

Entnahmestelle	Beckenwasser		Filtrat herkömmlich		Filtrat herkömmlich		Reinwasser		Füllwasser		
	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	
28.01.2011	8,97	0,011	8,91	0,011	9,02	0,011	8,77	0,011	9,27	0,001	
Status Änderung	—		Glas		herkömmlich		—		—		
Parameter	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	Ox [mg/l]	THM [mg/l]	
31.01.2011	7,55	0,010	7,43	0,007	8,83	0,010	7,26	0,008	9,26	0,001	
02.02.2011	7,45	0,011	6,89	0,008	7,90	0,009	7,14	0,008	7,58	0,001	
04.02.2011	7,87	0,010	7,12	0,007	7,64	0,008	7,05	0,008	8,12	0,001	
07.02.2011	7,56	0,011	6,81	0,007	7,81	0,008	6,56	0,007	7,85	0,001	
09.02.2011	7,74	0,011	7,00	0,006	7,50	0,008	7,18	0,008	7,98	0,001	
11.02.2011	7,39	0,009	5,85	0,006	7,09	0,008	5,97	0,008	8,89	0,001	
14.02.2011	7,48	0,010	5,15	0,006	5,99	0,007	5,44	0,008	9,39	0,001	
16.02.2011	7,87	0,010	4,80	0,005	5,92	0,008	6,09	0,008	,87	0,001	
18.02.2011	7,57	0,011	4,57	0,006	5,98	0,008	5,57	0,008	7,94	0,001	
Erklärung: Ø Eliminierungsrate im jeweiligen Filterbett...	Ox...Oxidierbarkeit		THM...Trihalogenmethane								
	7,61	0,0103	6,18	0,0064	7,18	0,0082	6,47	0,0078	8,43	0,001	
			18,8%	37,9%	5,6%	20,3%					

■ Tabelle 3: Überprüfung der Verfahrenskombination „Flockung – Filterung – Chlorung“ im Hallenbad Michelbach, Zeitraum: 28.01. - 18.02.2011; Parameter: KMnO –Verbrauch (Oxidierbarkeit), Trihalogenmethane

größe von 0,7 bis 1 mm auf 0,4 bis 0,8 mm nicht mit einer „damit einhergehender“ verbesserten „Hoffnung“. Auch hier wurde eine Partikelzählung vorgenommen. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass ab einer gewissen Grenze eine Verkleinerung der Korngröße keine Verbesserungen bringt, vor allem wenn man den wesentlich höheren Druckverlust in Relation setzt.

Auch scheint die Rauigkeit des Filtersandes gegenüber den Glaskugeln keine signifikante Rolle zu spielen.

### Überprüfung der Verfahrenskombination Flockung – Filterung – Chlorung im Hallenbad Michelbach

Nach der im Zeitraum vom 28. Januar bis zum 18. Februar 2011 festgestellten mikrobiologischen Beschaffenheit bestehen gegen eine Verwendung des gechlorten und mittels Filtermaterials auf Glasbasis aufbereiteten Schwimm- und Badebeckenwassers zu Bade- und Schwimmzwecken keine gesundheitlichen Bedenken.<sup>3)</sup>

Des Weiteren ergibt sich eine höhere Eliminierungsrate für AOX und THM für Glas als bei Sand (siehe Tabellen 1-3). Das kann nicht an der kleineren Körnung des Glaskugelfilters liegen, denn die Partikelzählung hat gezeigt, dass beide Filter hier gleichwertig sind. Es bleiben also beim Glaskugelfilter nicht mehr THM enthaltende Flocken hängen als beim Sandfilter.

Da bei den Glaskugeln offensichtlich die Eliminierungsrate besser als beim Sand ist, stellt sich die Frage: Warum?

$$h = \frac{2 \sigma \cos(\Theta)}{\rho g r}$$

H: Steighöhe,  $\sigma$ : Oberflächenspannung,  $\Theta$ : Kontaktwinkel,  $\rho$ : Dichte, g: Erdschwere, r: Radius der Kapillare

Oberflächenspannung des Wassers bei 20 °C: 72,75 mN/m, g = 9,81 m/s<sup>2</sup>, h: ca. 20 mm



■ Kapillarer Aufstieg – links: Sand, rechts: Glaskugeln

Wir sind der Ansicht, dass von der Benetzbarkeit unter Umständen das Filtervermögen eines typischen Filtermaterials abhängt. Dabei ist der Kontaktwinkel ein direktes Maß für die Benetzbarkeit und kann durch den kapillaren Aufstieg gemessen werden.

Obgleich Quarz mit seinen amorphen (gestaltlosen, nicht regelmäßigen), mit OH-Gruppen bedeckten Oberflächen vollständig hydrophil (wasserliebend; was bedeutet, dass ein Stoff stark mit Wasser wechselwirkt) ist, ist der Benetzungswinkel mit Wasser  $> 0^\circ$ . Natürliche Sande adsorbieren offenbar hydrophobe Substanzen aus der Luft oder dem Wasser.

Im Bild auf Seite 631 ist der kapillare Aufstieg in Sand und Glaskugeln gleicher Korngröße dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass sich bei den Glaskugeln (auf dem Foto die rechte Säule) ein homogeneres Bild ergibt als beim Sand. Der Sand ist offenbar nicht vollständig benetzt.

Aussagen über den Kontaktwinkel, der ein Maß für die Benetzbarkeit ist, können aus diesem Versuch leider nicht gemacht werden.

Bei den Glaskugeln stimmt die in unserem Versuch und einer im Rahmen einer Bachelor-Arbeit<sup>6)</sup> gemessenen Steighöhe (20 mm) in etwa mit der Formel für den kapillaren Aufstieg überein, siehe links unten.

Für den durchschnittlichen Porenradius kann 0,5 mm angenommen werden, was sich aus geometrischen Betrachtungen ergibt.

Diese unterschiedliche Benetzbarkeit könnte mit ein Grund für die erhöhten Eliminierungsraten von Glaskugeln gegenüber Filtersand sein. Andere Effekte sind uns zurzeit nicht bekannt. Sowohl bei der Partikelzählung als auch bei den chemischen Parametern ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem aufzubereitenden Schwimmbeckenwasser nicht um Prozesswasser, sondern eher um schwach belastetes Wasser handelt. Bei Prozesswasser könnten die Verhältnisse anders liegen, da ganz andere Belastungen vorliegen.

## Abriebversuche

Unabhängig von den Versuchen in Michelbach haben wir im Labormaßstab Abriebversuche durchgeführt.

Um die Abriebeffekte bei Sand und Glaskugeln möglichst praxisnah zu testen, haben wir eine durchschnittliche „Spüldauer“ der reinen Wasserspülung von 10 min pro Woche angenommen. Im Jahr ergeben sich dann ca. 500 min. Spüldauer, ohne die Luft- bzw. Luft-/Wasserspülung zu berücksichtigen. Demnach kann, wenn wir 8,33 h Dauerspülung simulieren, der Abrieb während eines Betriebsjahres – oder an einem Tag Simulation ein Dreijahresbetrieb – grob abgeschätzt werden.

Es wurden jeweils 100 g Einwaage (tro-cken) von Glaskugeln 0,7 - 1,25 (Mischung) und Sand 0,71 - 1,25 in ein Rührbehältnis zusammen mit 150 ml Wasser gegeben. Mit einem Magnetrührer wur-

den beide Proben unter den gleichen Bedingungen jeweils einen Tag gerührt.

Danach wurde die getrocknete Filtermasse durch ein 380-µm-Sieb und dann noch durch ein 100-µm-Sieb gerüttelt und der Siebdurchgang bestimmt (Wiegegenauigkeit 1/10 g).

Die Ergebnisse:

- Sand: Es ergab sich bei < 100 µm ein Abrieb von 7 % und bei > 100 µm und < 380 µm ein Abrieb von 8,4 %, in der Summe also 15,4 %.
- Glas: Es ergab sich bei < 100 µm ein Abrieb von 0,6 % und bei > 100 µm und < 380 µm ein Abrieb von 2,5 %, in der Summe nur 3,1 %.

Pro Jahr verschleiben demnach beim Glas etwa 3 %; beim Sand sind es bis zu 15 %. Oder aber: Nach etwa 18 Jahren kann Sand komplett verschleiben, Glas erst nach 33 Jahren.

Der jeweils sehr hohe Abrieb ist wohl darauf zurückzuführen, dass wir als Rührer einen Stahlrundmagnet verwendet haben. Der Magnet hat einen Durchmesser von 27 mm und eine Höhe von 8 mm und erzeugt natürlich an sich schon einen mechanischen Schleif-Abrieb, der sicherlich bei einer Agitation durch Wasser nicht auftreten wird. Aber in der Relation dürften die Ergebnisse stimmen.

## Zusammenfassung

Die praktischen Versuche im Hallenbad Michelbach haben die Laborversuche bestätigt: Glaskugeln eignen sich ausgezeichnet für den Einsatz in der Schwimm- und Badebeckenwasseraufbereitung. Dabei ist dieses Material als mindestens gleichwertiger, eher besserer Ersatz für Filtersand zu sehen.

Dass aufgrund der homogeneren Eigenschaften von Glaskugeln geringere Druckverluste auftreten und somit z. B. Ener-



■ Sand beim Rühren (links) und Sand nach dem Rühren

gie und Spülwasser eingespart werden können, hat dieser Versuch nicht bestätigen können, weil leider nicht das identische Material eingesetzt wurde.

Dazu sind weitere praktische Untersuchungen notwendig, die in den nächsten Monaten nachgeholt werden. Anlagen von Interessenten im In- und Ausland wollen Glaskugel-Filtermaterial einsetzen

und selbst hinsichtlich dieser Einsparpotenziale auf Herz und Nieren testen.

Sollten, wie bereits bei der Trinkwasseraufbereitung, auch hier rauere Oberflächen notwendig sein, um so noch bessere Filtrations- und vor allem Adsorptionseigenschaften zu erzielen, sind bereits beim Hersteller aufgeraute Glaskugeln in der Entwicklung bzw. in der Erprobung. <sup>7)</sup>

## Literatur

- <sup>1)</sup> Untersuchungen zur Effektivität verschiedener Filterschüttungen bei der Trinkwasseraufbereitung im Wasserwerk Langenau, *gwf Wasser/Abwasser*, Januar 2011, S. 84-92/89
- <sup>2)</sup> M. Tschapek, C. Wasowski, S. Falasca, Character and change in the hydrophilic properties of quartz sand, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 1983, volume 146, issue 3, pages 295 - 301
- <sup>3)</sup> Labormessung der Lehr- und Versuchsgesellschaft für innovative Hygienetechnik (LVHT), Mülheim an der Ruhr, und der OEBA-Agentur für Technologie und Hygiene, Dresden
- <sup>4)</sup> R+I-Schema / Revisionsplan eines Hallenbades in der Nähe von Schwäbisch Hall, Wassertechnik Wertheim GmbH, Wertheim
- <sup>5)</sup> Ingenieurbüro für innovative Wassertechnik GmbH (IWT), Hannover
- <sup>6)</sup> Christopher McHardy, „Glaskugeln in Schnellfiltern bei der Trinkwasseraufbereitung“, Entwurf der Bachelor-Arbeit am CPW Weißenstephan (TU Weißenstephan), im Auftrag der Sigmund Lindner GmbH, Warmensteinach
- <sup>7)</sup> Laboruntersuchungen der Sigmund Lindner GmbH im Rahmen der Bachelor-Arbeit (vgl. 6)

# Quo vadis „Glas“?

Die Wirksamkeit von Glaskugeln als Filtermaterial wurde bestätigt – die Zulassung in die DIN 19 6 ist beantragt

Dipl.-Geol. MBA Reinhard Klaus, Sigmund Lindner GmbH, Warmensteinach, Dipl.-Ing Gerhard Willert, Ingenieurbüro für Wassertechnik GmbH, Empelde, und Dipl.-Ing-Eberhard Wistuba, ETC engineering & technology consulting GmbH, Burgau

Über das Thema „Filtermaterial Glaskugeln“ wurde im Jahr 2011 hier bereits umfangreich berichtet (siehe AB 03/11 S. 164 ff. (Teil 1) und 10/11 S. 627 ff. (Teil 2)).

Nachdem spezielle Glaskugeln, in der Fachterminologie häufig auch als „Glass beads“ bezeichnet (siehe Abbildung 1), bereits seit mehr als sechs Jahren in der Trinkwassergewinnung (Brunnenbau) als Filterschüttung Stand der Technik sind, wurden diese Anfang 2010 erst im Labormaßstab auf weitere Anwendungsmöglichkeiten im Wassersektor untersucht. Bei diesen Tests stellte sich heraus, dass eine potenzielle Eignung für die Schwimmbadwasseraufbereitung besteht.

Zum Jahreswechsel 2010/11 wurden daraufhin – laut Kenntnisstand der Autoren wohl erstmals in der Geschichte der

Badwasseraufbereitung – Glasbeads im Hallenbad Michelbach bei Schwäbisch Hall eingesetzt, um in einem gemeinsamen Forschungsprojekt<sup>1)</sup> auf Herz und Nieren in der Praxis getestet zu werden. Die ersten positiven Ergebnisse gab es dann auch bereits Ende 2011, dokumentiert im Teil 2 der o. g. Fachberichte. Damit waren die Voraussetzungen für einen langjährigen Praxistest geschaffen, um letztendlich auch den Wirksamkeitsnachweis erbringen zu können, der für eine offizielle Zulassung dieses neuen, „künstlichen“ Filtermaterials aus Glas für den Einsatz in der Aufbereitung des Schwimm- und Badebeckenwassers zwingend erforderlich ist.

## Status Quo „Zulassung“

Nachdem die Trinkwasserbeads fast vier Jahre ausgiebig in der Praxis untersucht worden sind, wurde nun in einem



■ Abbildung 1: Glaskugeln;

Gutachten der Technischen Universität (TU) Dresden<sup>2)</sup> bestätigt, dass die getesteten Glasbeads Typ S auch für die Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser geeignet sind. Hierzu der Hinweis, dass dieses Gutachten finanziell vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Technologie durch einen Innovationsgutschein im Rahmen des Forschungsprojekts „Homogenes Filterbett aus inertem Glaskugel-Filtermaterial“ unterstützt wurde. Mit diesem wis-

senschaftlichen Placet von unabhängiger Seite konnte nun nach langjähriger Vorarbeit der offizielle Antrag auf Zulassung nach DIN 19 643 in Angriff genommen werden.

Selbst wenn bereits mancher Anbieter mit angeblich zugelassenen „Filterkugeln“ wirbt, sind Glaskugeln derzeit noch nicht zugelassen – weder in der für Filtermaterial zuständigen DIN EN 12 904 noch in der für die Schwimmbadwasseraufbereitung vorgesehenen DIN 19 643. Die Aussagen der Anbieter sind also nicht richtig und werden leider – bewusst oder unbewusst – häufig verbrauchertäuschend verwendet. Darauf war bereits auf der Herbstsitzung des Technischen Ausschusses in Leipzig Ende 2012 hingewiesen worden (siehe den Bericht über die Sitzung in AB 04/13 S. 254 ff.).

Die Referenten/Autoren hatten deshalb darauf hingewiesen, da sie zu Beginn ihrer Untersuchungen diverse Glaskugel-Fabrikate mit gechlortem Schwimmbadenwasser getestet haben. Einige Typen stellten sich dabei als untauglich heraus, da sie z. T. große Mengen an Chlornebenprodukten (Trihalogenmethane, geb. Chlor) freisetzen. Das waren allesamt am Markt erhältliche Glaskugeln, die sich jedoch aufgrund der Materialzusammensetzungen und/oder Oberflächeneigenschaften als nicht verwendbar herausstellten. Denn Oberflächen sind bei der Produktion oder in der Nachbe-

handlung manipulierbar; z. B. konnte festgestellt werden, dass mit magnetischen Beads bestimmte Abscheideraten beeinflusst werden konnten, OH-Gruppen manipulierbar sind und oft auch chemisch instabile Beschichtungen aller Art, wie z. B. Silane bei Glasbeads für Straßenmarkierungsfarben, aufgebracht werden.

Es ist also dringend darauf zu achten, dass die einzusetzenden Beads für die Aufbereitung von Wasser geeignet sind.

Als geeignet hatten sich Glasbeads erwiesen, die für die „Wasserfiltration und Trinkwassergewinnung“ zugelassen sind und Zulassungen für „Lebensmittel oder Trinkwasser“ aufweisen (z. B. HACCP-Lebensmittelzulassung<sup>3</sup>), NSF-Zulassung<sup>4</sup>), Ausschluss von Silan, Glykol und Epoxidharz). Betreibern wird deshalb dringend empfohlen, sich vor der Anschaffung von Glaskugeln die entsprechenden Zertifikate vorlegen zu lassen.

### Antrag beim Deutschen Institut für Normung

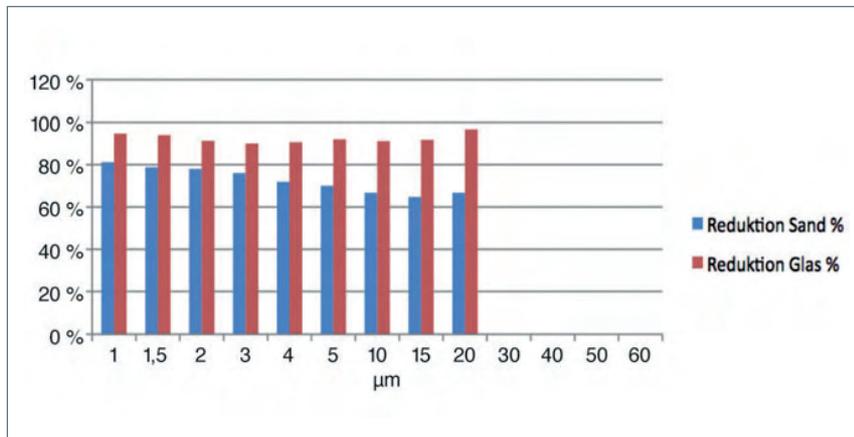
Dass Glaskugeln noch nicht zugelassen sind, kann bzw. wird sich wohl, zumindest für die getesteten Glasbeads, sehr bald ändern. Im letzten Herbst wurde dem Antrag „auf Erstellung einer Produktnorm für Glaskugeln zur Wasseraufbereitung“ vom zuständigen Normenausschuss NA 119-04-02 AA „Wasseraufbereitung“ des Deutschen Insti-

tuts für Normung (DIN) grundsätzlich zugestimmt, und selbiger Antrag nebst Normvorlage wird noch in diesem Jahr behandelt.

### Status Quo „weitere Pilotanlagen“

Nach Erscheinen der Fachberichte in AB Archiv des Badewesens war die positive Resonanz sowohl von Betreiber- als auch von Planerseite sehr hoch. Die Einsparungspotenziale hinsichtlich Energie und Frischwasser waren dafür der Hauptgrund. Aber auch die in Michelbach durchweg bessere Filtrationsleistung (Filterperformance) des Glasbead-Filters gegenüber der von Sandfiltern stieß auf großes Interesse. Natürlich gab es auch Skepsis, ob dies denn auch in anderen Bädern so reproduzierbar sei, was nicht unerwähnt bleiben soll.

Trotzdem war dieser Pilotversuch Initialzündung für die weiteren Anlagen, die im Laufe der letzten Jahre auf Glasbeads umstellten. Mittlerweile sind in Göteborg und Kungsbacka (beide Schweden), in Maribor (Slowenien) und auch in anderen europäischen Ländern Pilotanlagen mit Glasbeads im Dauereinsatz, ebenso beim Coca-Cola-Konzern. Aber nicht nur in Europa, sondern auch in den USA werden wohl noch in diesem Jahr weitere Anlagen umgerüstet, darunter auch Filteranlagen zur Trinkwasseraufbereitung.



■ Abbildung 2: Partikelabscheidung – Glaskugeln versus Quarzsand, untersucht im Hallenbad Michelbach, 01. - 07.03.2011 (gemittelte Werte); Quelle: Ingenieurbüro für Wassertechnik, Empelde

In Deutschland sind weitere Glasbead-Projekte in Planung, wie beispielsweise im Hallenbad Schöningen. Eine der größten Anlagen wird aber definitiv noch in diesem Halbjahr umgerüstet, nämlich das Freibad Dellwig in Essen, mit den wohl größten Filtern bis dato.

### Neueste Ergebnisse

Das neueste Projekt in einem öffentlichen Bad im Spreewald (Lübben) ging zwar erst vor ein paar Wochen in Betrieb; doch auch hier zeigten sich ähnliche Erfahrungen wie bei den meisten anderen Bädern:

- Die Filtrationsleistung/Filterperformance der Glasbeads war in der Regel besser als mit Filtersand.
- Die Spülgeschwindigkeit konnte von 50 bis 55 m/h auf 20 bis 25 m/h reduziert werden. Durch die „Halbierung“ der Spülwassergeschwindigkeit kann eine zusätzliche Pumpe (bzw. die höhere elektrische Leistung) eingespart werden.

- Die Spülwassermenge war um ein erhebliches Maß geringer als vor der Umrüstung. In dem o. g. Bad im Spreewald konnte die Spülwassermenge von 24 m<sup>3</sup> auf unter 10 m<sup>3</sup> pro Spülvorgang reduziert werden, was eine Einsparung von 60 % bedeutet.
- Die effektive Filteroberfläche kann mit Glasbeads um ca. 20 % reduziert werden. Dadurch lässt sich auch das Filtervolumen und somit Technikraum einsparen.

Mit Glasbeads wird bei der Filterauslegung Neuland betreten. Die Auslegung erfolgt zurzeit noch teilempirisch. Die bekannten und in der Praxis jahrzehntelang bewährten Auslegungskriterien sind aufgrund von Praxisversuchen an das neue Filtermaterial anzupassen. Denn durch die bessere Filterperformance ändert sich der Filteraufbau hinsichtlich Schütthöhen, Filtermaterial, Filtrations- und Rückspülgeschwindigkeit erheblich.

Das hört sich komplex an, ist aber relativ einfach zu verdeutlichen, wenn man die Gleichungen von Kozeny-Carman und die Erkenntnisse aus Michelbach betrachtet. Dort wurde trotz einer um ca. 10 % kleineren effektiven Oberfläche der Glasbeads im Vergleich zum Filtersand eine deutlich bessere Filtrationsleistung oder Filterperformance erreicht.

In Abbildung 2 lag diese in Abhängigkeit von den im Filter abgeschiedenen Partikelgrößen z. T. um 35 % höher als bei Filtersand. Vor allem nach der Spülung war beim Sandfilter zu beobachten, dass minutenlang hohe Partikelzahlen im Filtrat auftraten, was nach der Spülung der Beads nicht aufgetreten ist.

Mit Partikelabscheidungen zwischen 90 und 98 % liegt man qualitativ nicht sehr weit von denen der neuen Membranfilter entfernt.

Eine Erklärung für die bessere Filterleistung ist wohl im homogenen Porensystem in Kombination mit der Oberfläche von Glasbeads zu finden. Das bedarf sicherlich noch weitergehender Untersuchungen. Auch der Abschlussbericht der TU Dresden ist hier nicht viel weitergekommen als unsere Untersuchungen. In den nächsten Jahren werden hier noch von allen Seiten einige Forschungen und Entwicklungen durchgeführt werden müssen.

Fakt ist – was sich auch in den Folgeprojekten bestätigte –, dass bei Glasbeads kleinere Oberflächen ausreichen, um eine mindestens gleichwertige Filtrationsleistung zu erzielen.

x [mm] bei Q3 = 10,0 %	0,475		
x [mm] bei Q3 = 50,0 %	0,584		
x [mm] bei Q3 = 90,0 %	0,791		
Sm [cm <sup>2</sup> /g]	40,839		
p3 (0,4000 mm, 0,8000 mm) [%] =	90,44		
Mittelwert b/l3	0,947		
<b>Kornklasse [mm]</b>	<b>p3 [%]</b>	<b>Q3 [%]</b>	<b>b/l3</b>
0,000 - 0,315	0,04	0,04	0,528
0,315 - 0,355	0,15	0,19	0,609
0,355 - 0,400	0,75	0,94	0,773
0,400 - 0,500	15,84	16,78	0,947
0,500 - 0,600	38,69	55,47	0,947
0,600 - 0,700	19,47	74,94	0,947
0,700 - 0,800	16,44	91,38	0,953
0,800 - 0,850	5,88	97,26	0,964
0,850 - 0,900	2,07	99,33	0,961
0,900 - 1,000	0,67	100,00	0,946

■ Tabelle 1: Typische Camsizer®-Analyse am Beispiel von Glasbeads (0,4 - 0,8 mm Sortierung), Silibeads® Typ S 52 19-7, Lot # 1210004; Quelle: Firma Sigmund Lindner, Warmensteinach  
 Q3 = 90,0 % bedeutet, dass 90 % aller Glasbeads in dieser Probe kleiner als 0,791 mm sind.

Diese Oberflächen werden nun via Kozeny-Carman betrachtet:

$$k = \frac{\phi^3}{5(1-\phi^2)S_m^2}$$

Permeabilität Kozeny-Carman [m<sup>2</sup>]

$$S_m = q s; s = \sum \frac{P_i}{r_i}$$

$$s = q \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r(r_2-r_1)} dr = q \frac{\text{Log}(r_2) - \text{Log}(r_1)}{r_2 - r_1}$$

spezifische Oberfläche [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>]

Anhand dieser Gleichungen wird deutlich, dass die Beziehung zwischen Korngrößensortierung und Filteroberfläche umgekehrt proportional ist. D. h., je kleiner die Differenz zwischen unterem und oberem Maximum in der Körnung des Filtermaterials ist, desto größer ist die Filteroberfläche und somit die Filterleistung oder auch Performance.



■ Abbildungen 3 (links) und 4 (rechts): Manuelle Befüllung aus Kleingebinden, staubfrei; links: Michelbach, rechts: Lübben; Fotos: ETC, Burgau

Im „Idealfall“ identischer Körnung, also  $r_2 = r_1$ , ergibt sich ein Grenzwert von  $1/r_2 \cdot q$ .

Ein Beispiel zur Erläuterung: Die Beadgröße aller Kugeln beträgt exakt 0,75 mm bzw. der Radius 0,375 mm. Damit erhält man eine maximal mögliche spezifische Oberfläche von

$$1/0,375 * 3 * 1000 = 8000 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Erweitert man die Verteilung beispielsweise auf einen Bereich von 0,75 bis

1,00 mm, also eine handelsübliche Fraktion, so reduziert sich die spezifische Oberfläche bereits auf 6900 m<sup>2</sup>, also um ca. 15 %. Würde man das Spektrum noch weiter wählen, beispielsweise 0,75 - 1,2, wären das schon über 20 % weniger an spezifischer Oberfläche.

Oder anders ausgedrückt: In diesem Fall müsste die Schütthöhe um 20 % erhöht werden, um die gleiche Filtrationsleistung erzielen zu können. Auch das Filter muss um diese 20 % größer ausgelegt werden. Das sind erhebliche Mehrkosten für Technikraum und Filtervolumen.

Optimal wäre deshalb eine Fraktion mit identischen Durchmessern. Dies von den Herstellern produzieren zu lassen, wäre machbar; das Material würde sich aber deutlich verteuern. Deswegen wird man in der Praxis Kompromisse eingehen müssen und – soweit möglich – auf handelsübliche Glasbeads zurückgreifen.

Zurzeit werden Glasbeads in speziellen Fraktionen hergestellt, beispielsweise von ganz fein (0,1 - 0,2 mm) über mittel (0,5 - 0,7 mm oder 0,75 - 1,00 mm) bis hin zu ganz grob (> 2,5 mm). Das ist von der Größe (Durchmesser) passend und auch von der Verteilung hinreichend eng.

Anhand der Tabelle 1 wird deutlich, wie typische Verteilungen in der Praxis realisierbar sind und aussehen sollten.

Über 97 % der Glasbeads dieser Produktionscharge weisen Durchmesser zwischen 0,4 und 0,85 mm auf. Feinanteil wie beispielsweise bei Filtersanden, bei denen bis zu 5 % Abrieb erlaubt wäre, ist mit 0,04 % so gut wie nicht vorhanden – was man auch bei der Befüllung von Filtern mit Glasbeads feststellt, die so gut wie staubfrei verläuft (siehe Abbildungen 3 und 4).

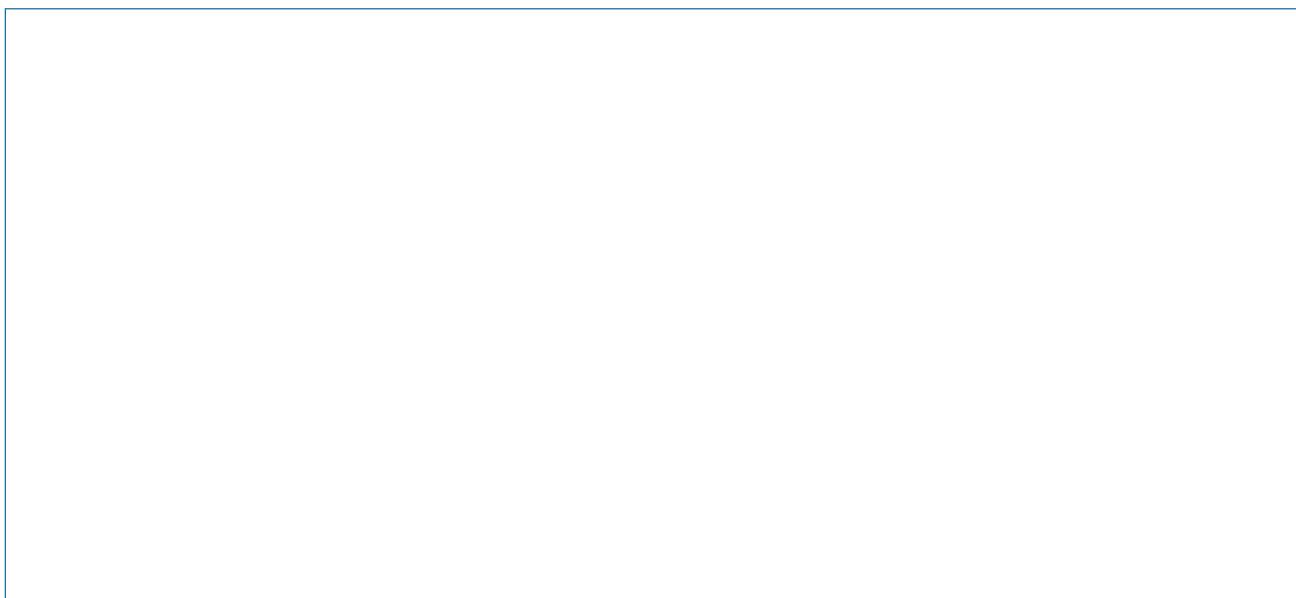
Anhand aller Daten ließe sich schlussfolgern, dass man logischerweise die feinstmöglichen Fraktionen einbauen sollte. Allerdings spielt dann der Effekt des wachsenden Widerstands die einschränkende Rolle. Denn je feiner die Kügelchen sind, desto höher steigt der Druckverlust und damit die Stromaufnahme bzw. der elektrische Verbrauch. Mit zunehmender Flockungsintensität geht die Filtration von der gewünschten Raumfiltration letztendlich dann zur Oberflächenfiltration über.

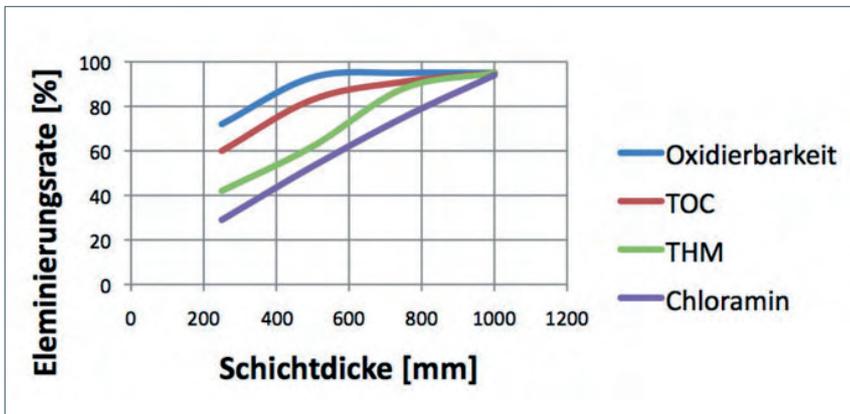
Zu fein brauchen die Kügelchen aber auch nicht ausgelegt werden, denn die Annahme, je feiner das Filtermaterial, desto besser die Filtrationsleistung, ist

ohnehin nur bis zu einer gewissen Größe gültig. Dies wurde bereits in den Berichten über Michelbach zu den Arbeiten von Dr.-Ing. Rudi Winzenbacher vom Zweckverband Landeswasserversorgung Langenau erläutert. Er stellte in seiner Forschungsarbeit fest, „dass sich die Filtratqualität bei einer Verkleinerung der Filtersandkorngröße“<sup>5)</sup> von 0,7 bis 1 mm auf 0,4 bis 0,8 mm nicht mit einer damit einhergehender Erwartung verbesserte.

Es liegt daher die Vermutung nahe, dass ab einer gewissen Grenze eine Verkleinerung der Korngröße keine Verbesserungen bringt, vor allem wenn man die daraus entstehenden Nachteile des wesentlich höheren Druckverlustes in Relation setzt. Das ist in der Tat auch korrekt, denn der relative Druckverlust steigt bei einer Verteilung von 0,4 bis 0,8 mm Beadgröße im Vergleich zu der gröberen mit 0,75 - 1,0 mm rein rechnerisch um über das Doppelte. Noch feinere Fraktionen wären zwar technisch realisierbar, aber praktisch Unsinn.

Nicht zu vergessen ist dabei und insbesondere auch die DIN 19 643 hinsichtlich der Anforderungen an Filter bei Dosierung von Pulver-Aktivkohle. Damit scheiden für sehr viele Anwendungen





■ Abbildung 5: Eliminierungsraten in Abhängigkeit der Filterschichtstärke, Glasbeads SiLibeads® Typ S 0,75 - 1,0 mm; Quelle: ETC, Burgau



■ Abbildung 6: 80 mm Stützschrift, Glasbeads 0,75 - 1,0 mm; Foto: ETC, Burgau

die ganz feinen Fraktionen ohnehin aus, da hier als oberste Schicht nur Filtermaterial mit Korngrößen ab 0,7 mm einzusetzen sind.

Je nach Beadgröße wird nun anhand der Kozeny-Carman-Gleichung über die spezifische Oberfläche die notwendige Füllmenge der Glasbeads errechnet.

Die Schichtdicken sollten dabei möglichst 400 mm nicht unterschreiten (siehe Abbildung 5); über 1000 mm Stärke ist für eine bessere Performance aber auch nicht notwendig.

Analog erfolgt die Auslegung der untersten Schicht oder Stützschrift. War diese im Pilotfilter in Michelbach „dreilagig“ wie beim Sandfilter in den be-

höhen (3 x 100 mm) ausgeführt worden, hat sich in den Folgeprojekten ein Aufbau mit nur noch einer „Stützschrift“ besser bewährt: 70 - 100 mm (siehe Abbildung 6) mit Glasbeads, Körnung ab 0,75 mm, gewährleisten eine ausreichende Überdeckung der Filterdüsen und sorgen für optimale Verteilung des Wassers sowohl im Filter- als auch im Spülbetrieb.

Die Schlitzweite der Düsen (siehe Abbildung 7) mit 0,5 mm lässt dies problemlos zu, was 200 mm Filterhöhe spart. Auch ist diese Schicht bei der Spülung wesentlich effektiver zu reinigen.

Auch in Kombination mit Anthrazit ändert sich die Auslegung nach Kozeny-Carman nur in dem Punkt, dass die spezifische Oberfläche des Anthrazit zu be-

rücksichtigen ist. In diesem Fall sind die Glasbeadmengen entsprechend geringer.

## Die Spülung

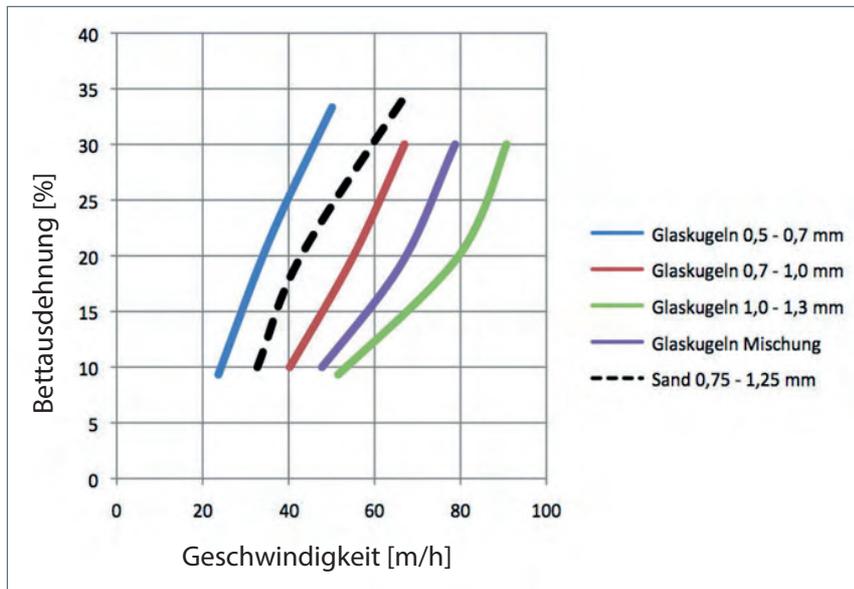
Weiter oben war schon auf die wesentlich geringeren Spülgeschwindigkeiten bei Glasbeads hingewiesen worden. In Michelbach wurde dies nicht umgestellt, obwohl dies auch dort möglich gewesen wäre. Aber es sollten die gleichen Strömungs- und Betriebsbedingungen wie beim Sandfilter vorherrschen, um direkt vergleichen zu können.

Bei den aktuellen Projekten wurden aber durch Handmessungen (Lot-Test) die Spülgeschwindigkeiten soweit wie möglich reduziert. Als Randbedingung diente der Nachweis des widerstandslosen Absinkens eines Lots auf den Düsenboden an einigen Stellen des Filters. Damit ist gewährleistet, dass das komplette Filterbett in Bewegung ist und somit eine gute Entfernung der abgeschiedenen Partikel von den Filterkugeln gewährleistet ist.

Denn in den Vorversuchen war festgestellt worden, dass zu einer kompletten Filterbettdurchmischung bereits Bettausdehnungen von weit unter 5 % ausreichen. Die genauen Werte, die natürlich analog zur Spülung von Sand im Wesentlichen von der Spülwassertemperatur und der Korngröße abhängen, wurden in der Praxis direkt an den jeweiligen Filtern ermittelt.



■ Abbildung 7: Typische Filterdüsen mit Schlitzweiten von 0,5 mm; Foto: ETC, Burgau



■ Abbildung 8: Spülkurven Glasbeads/Filter sand bei einer Wassertemperatur von 283 K; Quelle: ETC, Burgau

Dass die Spülgeschwindigkeiten kleiner als bei Sandfiltern sein werden, war bereits klar. Aber dass bereits Spülgeschwindigkeiten von 20 bis 28 m/h (siehe Abbildung 8) mit Betausdehnungen von über 10 % vollkommen ausreichen, war für alle Beteiligten eine Überraschung.

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass dies in der Praxis von Anlage zu Anlage schwanken kann und deshalb vor Ort eingestellt werden muss, also empirisch ermittelt wird.

Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass die Spülgeschwindigkeit nicht zu klein sein darf, da sonst der freigespülte Schmutz nicht ordentlich ausgetragen wird – vor allem bei Sanierungen bestehender Filterkessel. Dort ist im Normalfall die Freibordhöhe nach dem Materialwechsel wesentlich höher, da weniger Glasbead-Material nötig ist. Das kann bei der Spü-

lung dazu führen, dass schwerere Partikel nicht ausgespült werden.

Ein guter Median liegt nach den bisherigen Erfahrungen bei 25 m/h Spülgeschwindigkeit.

Damit tritt jetzt ein weiterer großer Vorteil auf: Da die Spülgeschwindigkeit mit Beads nicht mehr wie bei Filtersand annähernd doppelt so hoch sein muss, kann die zweite Pumpe komplett wegfallen. Das spart Platz, Verrohrung und Investitionskosten.

### Resümee

Glaskugeln oder Glasbeads bieten erhebliche Vorteile in Bezug auf die Filtrationsleistung, den Wasser- und insbesondere den Energieverbrauch, sind jedoch noch nicht genormt.

Die Anwendung nicht genormter Verfahren – also Verfahren, die nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen – stellen vertragsrechtliche Probleme und Haftungsrisiken für den Planer, Anlagenbauer und Betreiber dar. Eine Aufnahme in die Regelwerke der Technik (DIN 19 643 und eine Produktnorm für Glaskugeln) ist beabsichtigt und wird voraussichtlich in naher Zukunft erfolgen.

Bis dahin muss bei der Verwendung von Glaskugeln als Filtermaterial jedoch darauf geachtet werden, dass keine vertrags- oder haftungsrechtlichen Risiken bestehen. So sollten insbesondere die Betreiber und Auftraggeber schriftlich darauf hingewiesen werden, dass die Normung beantragt, jedoch noch nicht erfolgt ist. Dies ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da für die Auswahl der Sortierungen, der Schütthöhe und Filter- bzw. Spülgeschwindigkeiten zunächst empirische Werte zu Grunde gelegt werden.

Es sollten daher nur in der Wasseraufbereitung von Schwimmbädern erfahrene Planer, Anlagenbauer und Lieferanten beauftragt werden. Zusätzlich sollte die Qualität der eingebrachten Glasbeads durch unabhängige Zertifikate bestätigt werden.

### Ausblick

Einige Verbesserungen, die sich mit künstlichem Filtermaterial wie Glasbeads eröffnen, sind bereits untersucht. Aber es müssen noch weitere Anstrengungen unternommen werden, um alle Möglichkeiten zu ermitteln, damit die Erkenntnisse für die Wasseraufbereitung optimal genutzt werden können.

Anzeige



## - Glaskugeln - Filterbeads -

von den Experten reinsten Wassers

### Filterlayout & Engineering



ETC - GmbH, Haldenwangerstr. 27, 89331 Burgau, Tel.: 08222/9682-0, Fax: 08222/9682-28.

Denn Filter sind „das Kernelement in jeder Aufbereitungsanlage für Schwimm- und Badebeckenwasser“, und damit kommt auch und vor allem den Filtermaterialien höchste Bedeutung zu. Momentan herrscht hier definitiv Nachholbedarf. In der Fachliteratur ist nur wenig an Erfahrungshorizont zu finden, weshalb daran in Zukunft verstärkt gearbeitet werden muss.

Zum Schluss sei aber noch ein kleiner Schwenk in die Trinkwassergewinnung erlaubt: Dort stand mehr oder weniger seit Beginn des Brunnenbaus nur ein Material zur Verfügung. Nicht erstaunlich ist also, dass die Glaskügelchen von den Filtersand-Experten anfangs auch belächelt wurden. Schaut man jetzt in diesen Bereich, stellt man jedoch fest, dass Glasbeads dort nicht mehr wegzudenken sind. Im Hinblick auf die aktuelle Anforderung der Verbesserung der

Energieeffizienz und der Ressourcenschonung sind Glasbeads weiter einzusetzen und intensiv im praktischen Betrieb zu untersuchen.

### Anmerkungen/Literatur

- 1) Protagonisten des gemeinsamen Forschungsprojekts:
  - Dr. Renate Lorenz-Lauermann und Ursula Bräuer, Gesundheitsamt Schwäbisch Hall (Überwachung)
  - Peter Busch, Stadtwerke Schwäbisch Hall (Betreiber des Hallenbades Michelbach)
  - Dr. Daniel Pacik, OEBA-Institut, Dresden, und L.V.H.T.-Institut, Mülheim an der Ruhr (Analytik)
  - Jürgen Elgg und Jürgen Väh, Wassertechnik Wertheim GmbH, Wertheim (Hersteller der Aufbereitungsanlage und der Filter in Michelbach)
  - Gerhard Willert, Ingenieurbüro für Wassertechnik GmbH, Empelde (Partikelmessung)
- 2) „Beurteilung von Glaskugeln hinsichtlich ihrer Eignung als Filtermaterial zur Aufbereitung von Schwimmbeckenwasser“, Abschlussbericht von Dr.-Ing. Irene Slavic und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Uhl, 20.05.2013, TU Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrieresourcennutzung, Professur Wasserversorgung
- 3) HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Points
- 4) NSF: National Science Foundation
- 5) Rudi Winzenbacher, Untersuchungen zur Effektivität verschiedener Filterschüttungen bei der Trinkwasseraufbereitung im Wasserwerk Langenau, gwf Wasser/Abwasser, Januar 2011, S. 84 - 92/89

- Sigmund Lindner GmbH, Warmensteinach (Hersteller der SiLibeads® Typ S, Glasbeads)
- Dipl.-Phys. Walter Markiel und Dipl.-Ing. Eberhard Wistuba, ETC engineering & technology consulting GmbH, Burgau (Projektleitung und Auswertung)