



Hydraulische Merkmale von Filterkies- und Glaskugelschüttungen im Brunnenbau – Teil 1

Im Bau-Ausbildungszentrum Rostrup wurden Versuche zu den hydraulischen Eigenschaften von Glaskugeln und Filterkiesen durchgeführt. Im vorliegenden ersten Teil des Beitrags werden die Vorgehensweise und die Durchführung der Versuche beschrieben. In einem zweiten Teil des Beitrags in einer der Folgeausgaben der DVGW energie | wasser-praxis werden die Versuchsergebnisse dargelegt.

Filterkiese und -sande haben im Brunnenbau vor allem die Aufgabe, das Unterkorn der Filterkiesschüttung und die Feinanteile des Grundwasserleiters beim Entsanden durchzulassen. Hier sollte man betonen, dass der Name „Filterkies“ eigentlich eine falsche Bedeutung suggeriert. Die Ringraumschüttung eines Brunnens soll gegenüber dem genutzten Grundwasserleiter nämlich nicht wie ein Filter wirken, sondern wie ein Sieb. Wenn beim Entsanden der Filterkies wie ein „Filter“ wirken würde, wäre nach kurzer Zeit der äußere

Bereich der Schüttung verstopft (äußere Kolmation). Für diese Siebfunktion sind in der Brunnenbemessung die Korngröße des „Filters“ zu bestimmen und Materialien zu wählen, die den Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 113 und der DIN 4924 genügen. Aufgrund der in der Praxis immer wieder auftretenden Qualitätsprobleme bei den Filterkiesen einzelner Hersteller werden seit 2007 auch Glaskugeln zur Verfüllung der Brunnenringräume im Bereich der wasserführenden Schichten verwendet. Die physikalischen und hydrau-

lischen Eigenschaften von Glaskugeln und Filterkiesen wurden im Rahmen eines F&E-Vorhabens, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, untersucht [1]. Messbare Unterschiede zwischen den Materialien ergaben sich bei den Eigenschaften Rundheit, Bruchlast, Bruchcharakteristik, Abriebfestigkeit und beim Anlagerungsverhalten gegenüber Eisenhydroxiden [2, 3]. Glaskugeln haben bei nahezu idealer Rundheit eine sehr geringe spezifische innere



Quelle:

für Verockerungsprodukte. Geringe Bruchlasten der Filterkiesbestandteile fördern die Unterkornbildung. Daraus wird abgeleitet, dass diese Materialeigenschaften die Regenerierfähigkeit und die Nachhaltigkeit von Regenerierungen beeinflussen [2]. Im Rahmen des F&E-Vorhabens wurden die hydraulischen Merkmale und Kenngrößen der Ringraumschüttgüter quantifiziert. Zielstellung war die Schaffung von Bemessungsgrundlagen für Glaskugelschüttungen im Vergleich zu den herkömmlichen Kiesschüttungen aus natürlichen Medien.

Vergleichende Untersuchungen an Filterkiesen und Glaskugeln

Zur Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften wurden am Bau-Ausbildungszentrum in Rostrup Laborversuche und Versuche an einem Teststand der Firma Sigmund Lindner durchgeführt. Die Versuchsergebnisse sind in [4] dokumentiert. Die Versuche dienen der Ermittlung der hydraulischen Kenngrößen, die eine Charakterisierung und Bemessung der Schüttgüter für den Brunnenbau zulassen. Dazu gehörten die Bestimmung der Porosität bei lockerer und dichter Lagerung, die Bestimmung des Setzungsverhaltens in der ungesättigten und gesättigten Zone, die Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte und Durchflussraten und die Bestimmung der Systemdurchlässigkeit „Gebirge-Schüttung“. Dabei wurden auch die Sandaustragsraten und die Kornverteilung des ausgetragenen Sandes vor und während der Brunnenentwicklung bestimmt. Die Versuche wurden an zwei natürlichen,

homogenisierten Sedimenten durchgeführt und Filterkiese und -sande von zwei Herstellern sowie Glaskugeln in verschiedenen Größen gemäß **Tabelle 1** untersucht. Die Grundlagen zu den Versuchen sowie die Versuchsaufbauten sind in [2] und [4] beschrieben.

Die Sieblinien der beiden Sedimente, die sich vor allem hinsichtlich der Ungleichförmigkeit und der Kennkorngrößen unterscheiden, sind in **Abbildung 1** dargestellt. Die beiden Sedimente sind wie folgt zu charakterisieren:

Sediment 1: Mittelsand, grobsandig, feinsandig, Ungleichförmigkeit $U = 2,7$; Kennkorn $d_g = 0,25$ mm

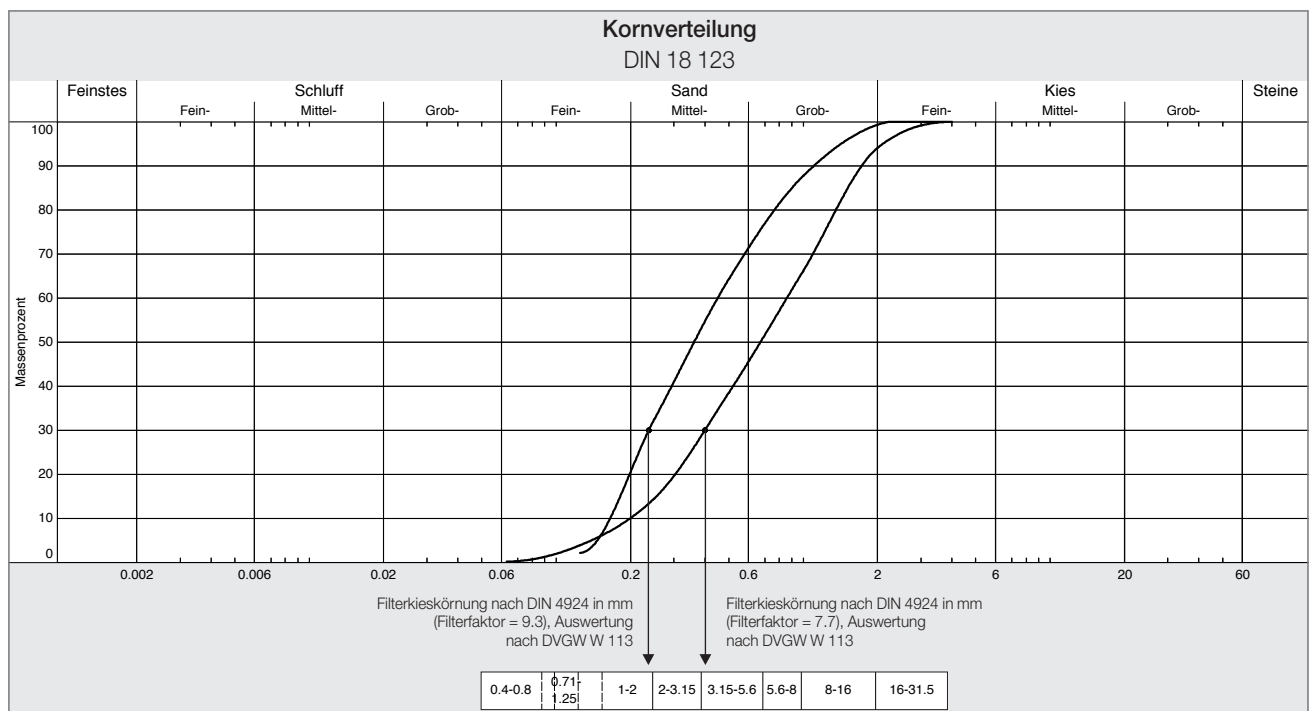
Sediment 2: Grobsand, mittelsandig, schwach feinsandig, schwach feinkiesig, Ungleichförmigkeit $U = 4,3$; Kennkorn $d_g = 0,40$ mm

Nach den Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes W 113 ergeben sich folgende Kenndaten der Schüttungskorngrößen:

Sediment 1: Mittelsand, Filterfaktor $F_g = 7,7$; Schüttkorndurchmesser: 1,9 mm; gewähltes Körnungsspektrum nach DIN 4924: 1 bis 2 mm

Sediment 2: Grobsand, Filterfaktor $F_g = 9,3$; Schüttkorndurchmesser: 3,7 mm; gewähltes Körnungsspektrum nach DIN 4924: 3,15 bis 5,6 mm

Oberfläche bei geringen Rauhtiefen sowie ein hohes Lastaufnahmevermögen. Filterkiese haben stark strukturierte, raue Oberflächen mit großem Anlagerungspotenzial



Quelle:

Abb. 1: Sieblinien der Testsedimente für die Laborversuche und den Teststand

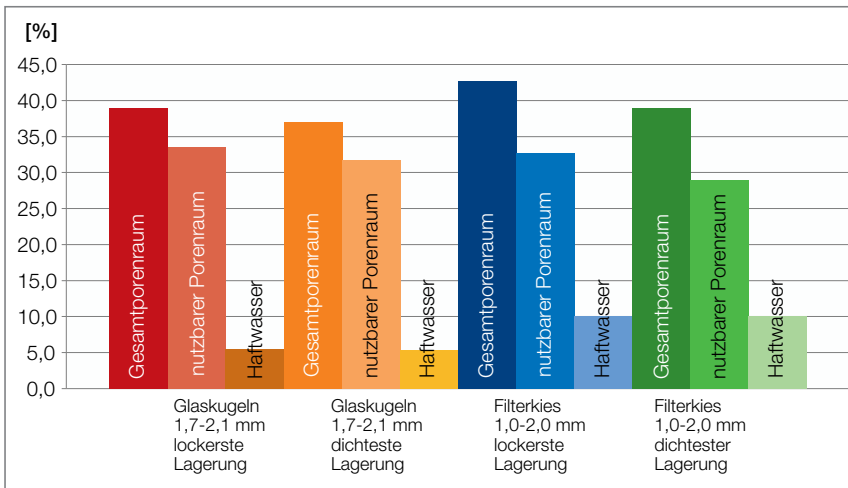


Abb. 2: Vergleich der Porositäten von Glaskugeln 1,7 bis 2,1 mm und Filterkies 1 bis 2 mm bei lockerer und dichter Lagerung

tigste Kenngröße einer Filterschüttung, da durch den nutzbaren Porenraum das Wasser und der Feststoff, z. B. bei der Brunnenentsandung und Regenerierung, transportiert werden müssen.

Die Porosität steht in Relation zur hydraulischen Durchlässigkeit und steigt mit dieser exponentiell an [2]. Das Unterkorn und die Ungleichförmigkeit steuern diese Kenngröße. Die Nutzporosität beeinflusst die Wasserführung und die Austragfähigkeit von Stoffen durch das Porengerüst, das mit zunehmender Ungleichförmigkeit und Lagerungsdichte geringer durchlässig für Wasser und Feststoffe wird. Die Austragsfähigkeit von Feststoffen über die Ringraumschüttung nimmt mit zunehmender Ungleichförmigkeit ab, da Sackgassen in den Porenkanälen (dead end pores) eine Kolmation (innere Kolmation) der Schüttung fördern.

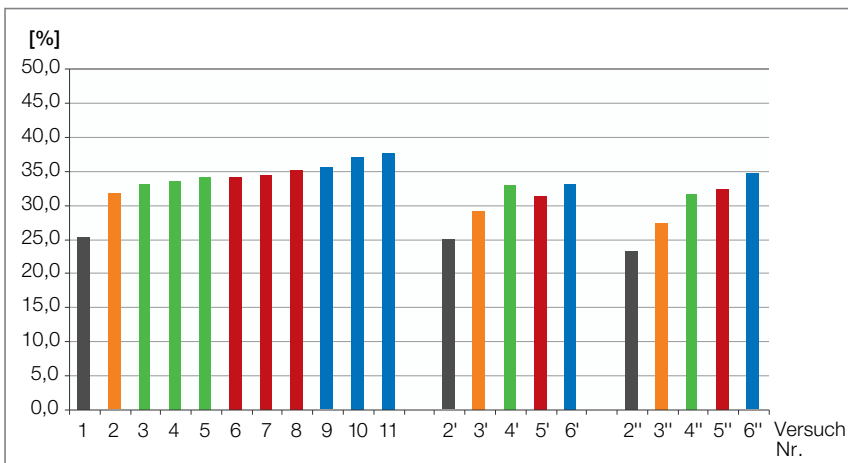


Abb. 3: Nutzbarer Porenraum der Schüttungen bei dichter Lagerung (Indizes s. Tabelle 1)

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Porositätsbestimmungen für ausgewählte Kornfraktionen, Abbildung 3 fasst die Untersuchungsergebnisse für die Bestimmung der nutzbaren Porosität für alle Korngrößen in dichter Lagerung (nach der Verdichtung durch simuliertes Kiessetzungs Kolben) zusammen. Abbildung 2 bestätigt, dass der nutzbare Porenraum bei größer werdender Korn- oder Kugelgröße zunimmt. Bei den Glaskugeln fällt auf, dass ab der Kugelgröße Nr. 2 (1,7 bis 2,1 mm) der nutzbare Porenraum zwischen ca. 32 Prozent und 37 Prozent liegt und damit fast konstant ist. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass es kaum einen Unterschied zwischen den beiden untersuchten Filterkiesproben gibt. Ab der Filterkiesgröße 2,0 bis 3,15 mm (Nr. 4'(')) ist der nutzbare Porenraum der natürlichen Schüttmedien fast genau so groß wie bei den entsprechenden Glaskugeln.

Für die Versuche zur Bestimmung der hydraulischen Kenngrößen ergaben sich die in Tabelle 2 zusammengefassten Schüttungen und Filterschlitzweiten.

Bestimmung der hydraulischen Merkmale

Der Gesamtporenraum, das Haftwasser und der nutzbare Porenraum von Filterkiesen und Glaskugeln wurden mit Hilfe von

Säulenversuchen bestimmt. Der Gesamtporenraum ist der gesamte Hohlraum zwischen den Kieskörnern bzw. Glaskugeln im Gefäß. Das Haftwasser ist das aufgrund der Adhäsion am Schüttgut haftende Wasser. Dieses sollte in der Praxis möglichst wenig sein, da es den Durchfluss des Ringraums im Brunnen mindert. Der nutzbare Porenraum ist der Gesamtporenraum nach Abzug des Haftwassers. Dieser ist die wich-

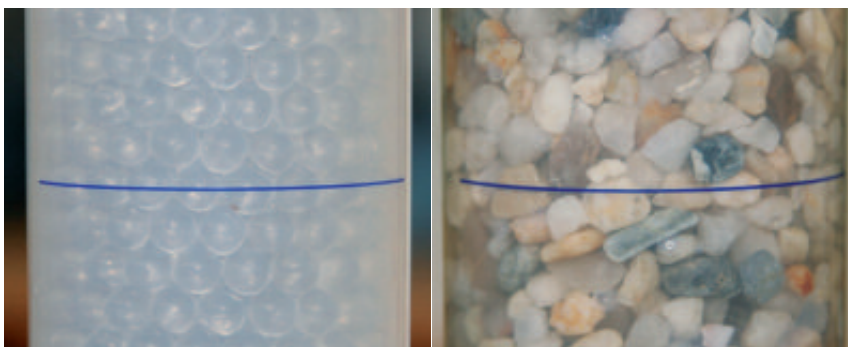


Abb. 4: Einregelung der Körner bzw. Kugeln im Verlauf der in [4] beschriebenen Setzungsversuche.

Bestimmung des Setzungsverhaltens

Das Setzungsverhalten wird generell durch die Ungleichförmigkeit des Schüttgutes, den Unterkornanteil und die Art der Einbringung in den Ringraum gesteuert. Beim Schütten von Filterkies oder Glaskugeln fällt das Schüttgut zunächst in eine „lockere“ Lagerung. Durch Kolben wird eine Verdichtung erzeugt, die bei Glaskugeln im Vergleich zum Filterkies sehr schnell eine stabile Lagerung hervorruft. In der Praxis werden Filterkiesschüttungen erst durch die Entwicklung des Brunnen und die Entfernung des autochtonen Unterkorns (Lieferantenabhängig) weitestgehend vollständig stabilisiert und verdichtet. Setzungen und

Nachrutschen des umgebenden Bodens bzw. der Überschüttung sind bei Glaskugelschüttungen und stabilisierten Filterkies-schüttungen nicht mehr zu erwarten. Die Setzung des Schüttgutes geht mit einer Einregelung der Körner einher (Abb. 4).

In **Abbildung 5** ist der große Unterschied im prozentualen Setzungsmaß von Glaskugeln im Vergleich zum Filterkies deutlich zu erkennen. Die Setzung der Glaskugeln umfasst eine Größenordnung von 1 bis 7 Prozent der Schüttungslänge; bei den Filterkiesen wurde eine Setzung von 6 bis 14 Prozent gemessen. Auffällig ist, dass sich die Körnungen, je größer sie werden, weniger setzen, mit Ausnahme der Größen 5,6 bis 8,0 mm (Versuch Nr. 6'()) und 7,0 bis 8,0 mm (Versuch Nr. 10 und 11). Hier ist ein geringer Anstieg im Setzungsmaß zu erkennen, der auf den Siloeffekt der Versuchsanordnung zurückgeführt wird. Dieser Effekt ist auch in Kleinkalibrigen Bohrungen zu erwarten.

Bestimmung der Durchlässigkeit der Schüttgüter

Die Durchlässigkeit der Schüttungen wurde mit Hilfe des DARCY-Versuches nach der in **Abbildung 6** dargestellten Versuchsanordnung bestimmt. Der Versuchszylinder wurde mit dem jeweiligen Schüttgut (1) 50 cm hoch befüllt. Der Filterkies wurde vorher gewaschen, damit das Unterkorn des Filterkieses das feinmaschige Sieb (2) nicht verstopft, welches der Filterschüttung Halt gibt. Um den Durchfluss nicht zu mindern, wurde das Sieb bei jedem Versuchsdurchgang an die Größe der Filterschüttung angepasst. Zur Ermittlung des k_f -Wertes wurden folgende Größen angesetzt:

Querschnittsfläche:
 $F = 283,53 \text{ cm}^2 = 0,0284 \text{ m}^2$
 Druckhöhe: $h = 1,04 \text{ m}$
 Länge der Filterstrecke: $l = 0,5 \text{ m}$

Abbildung 7 zeigt die ermittelten k_f -Werte von Glaskugeln und Filterkiesen. Die Filterkiese des Herstellers 2 haben bei der feineren und den beiden gröberen Fraktionen einen etwas besseren Durchlässigkeitsbeiwert, als die des Herstellers 1. Bei den gröberen Korngruppen sind die Unterschiede in der Durchlässigkeit und im Durchfluss (m^3/h) von Glaskugeln und Filterkiesen nur marginal, jedoch ist die Durchlässigkeit der kleineren Glaskugelgrößen im Vergleich zu den gleich großen Filterkiesen analog zu den Nutzporositäten erwartungsgemäß größer. Insgesamt lagen die Durchlässigkeitsbeiwerte um bis zu zwei Zehnerpotenzen über den nach BEYER bestimmten k_f -Werten

Tabelle 1: Korngrößen der untersuchten Filtermaterialien und die Zuordnung der Indizes zu den Versuchen und Auswertegrafen

Glaskugeln		Filterkies	
Nr.	[mm]	Nr.	[mm]
/	/	1'	0,4-0,8
1	0,75-1,0	2'	0,8-1,25
2	1,7-2,1	3'	1,0-2,0
3	2,1-2,4	4'	2,0-3,15
4	2,4-2,9		
5	2,85-3,45		
6	3,4-4,0	5'	3,15-5,6
7	3,8-4,4		
8	4,5-5,5		
9	5,0-6,0	6'	5,6-8,0
10	7,00		
11	8,00		

Quelle:

Tabelle 2: Zusammenstellung der untersuchten Körnungen und Schüttungen im Teststand

Versuch Nr.	Sedimentart mit Bemessungsgrundlage		Filtermaterial	Realisierte Schüttung [mm]	Filterrohr (PVC)	
					Ø Außen [mm]	Schlitze-weite [mm]
1	mS, gs, fs	nach W 113	Glaskugeln	1,7-2,1	22,5	0,75
2	mS, gs, fs	nach W 113	Filterkies	1,0-2,0	22,5	0,75
3	mS, gs, fs	> W 113	Glaskugeln	2,85-3,45	22,5	1,5
4	mS, gs, fs	> W 113	Filterkies	2,0-3,15	22,5	1,5
5	gS, ms, fs', fg'	nach W 113	Glaskugeln	4,7-5,3	22,5	1,5
6	gS, ms, fs', fg'	nach W 113	Filterkies	3,15-5,6	22,5	1,5
7	gS, ms, fs', fg'	> W 113	Glaskugeln	7,0	22,5	1,5
8	gS, ms, fs', fg'	> W 113	Filterkies	5,6-8,0	22,5	1,5

Quelle:

Tabelle 3: Ergebnisse der Korngrößenanalysen des ausgespülten Unterkorns (Versuchsnummern und Zuordnung der Schüttungen s. Tab. 2).

Gk = Glaskugeln; Fk = Filterkies; = bedeutet Schüttkorn, entspricht der Bemessung nach W 113, > bedeutet, dass die Schüttung größer ausgeführt wurde, als nach W 113 bestimmt.

Versuch Nr.	Filter-schüt-tung	vor dem Kolben		nach dem Kolben		d_g	
		Sieb-durch-gang ge-samt [g]	Siebrückstand > d_g in % vom gesamten Siebdurchgang	Sieb-durch-gang ge-samt [g]	Siebrückstand > d_g in % vom gesamten Siebdurchgang		
1	Gk =	17,9	17,3 %	102,7	1,2 %	0,25	alles > 0,25
2	Fk =	8,6	0,0 %	165,6	90,5 %		
3	Gk >	22,9	21,0 %	3976,7	0,9 %		
4	Fk >	40,6	52,7 %	522,1	31,0 %	0,4	alles > 0,5
5	Gk =	285,4	0,0 %	3212,6	0,0 %		
6	Fk =	60,2	21,8 %	1256,5	1,9 %		
7	Gk >	908,0	1,1 %	6909,7	10,7 %		
8	Fk >	298,3	4,2 %	3305,3	6,4 %		

Quelle:

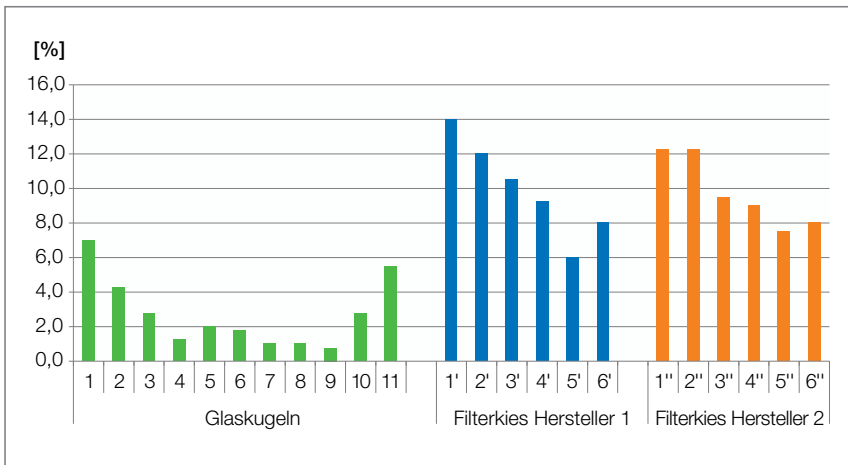


Abb. 5: Setzungsmaß in Prozent der Säulenlänge für Glaskugeln und Filterkiese (Indizes s. Tabelle 1)

der beiden Sedimente (Sediment 1 Mittelsand: $2,7 \cdot 10^{-4}$ m/s; Sediment 2 Grobsand: $3,6 \cdot 10^{-4}$ m/s).

Bestimmung der Systemdurchlässigkeit

Das Zusammenwirken von Filterschüttung und Grundwasserleiter wird mit der Kenngröße „Systemdurchlässigkeit“ beschrieben, die in einem Teststand bestimmt wurde. Folgende Untersuchungsgegenstände wurden im Rahmen des F&E-Vorhabens bestimmt:

- Verhalten des Kontaktbereiches zwischen Filterschüttung und Gebirge, vor und nach dem Kolben (Simulation der Brunnenentwicklung),
- Filterwirkung der ausgewählten Filterschüttungen bei einer Durchströmung unter gespannten Verhältnissen (Simulation der Eintrittswiderstände unterschiedlicher Schüttkorngrößen),
- Bestimmung von Austragsrate und Korndurchmesser bei verschiedenen Schüttungen (Simulation der Bemessung nach W 113 und einer größeren Schüttung),
- Bestimmung der Durchflussrate, woraus der Systemdurchlässigkeitsbeiwert berechnet wurde (Ermittlung des Einflusses des Schüttkörpers auf die Gesamtdurchlässigkeit).

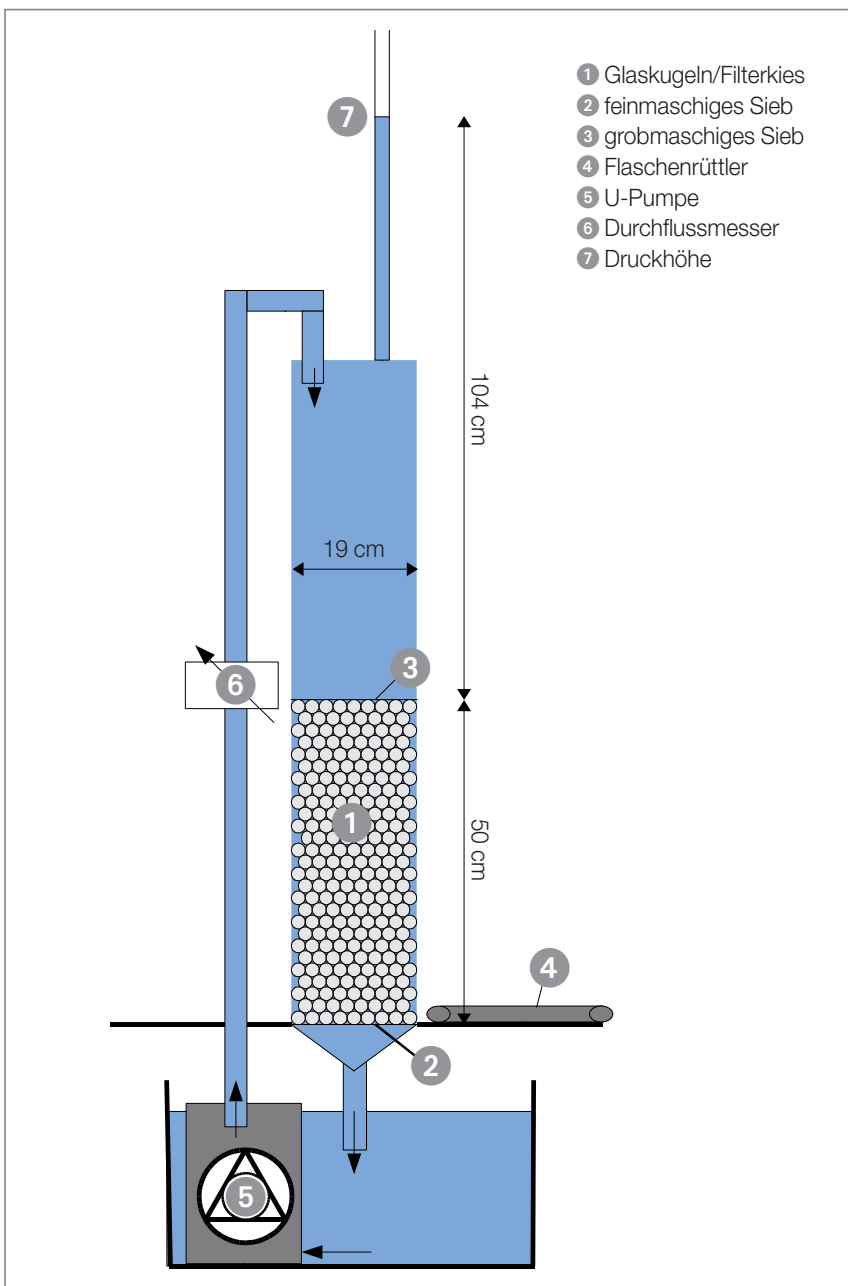


Abb. 6: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Durchlässigkeit der Schüttgüter

Den Aufbau des Teststandes zeigt **Abbildung 8**. Im Teststand befand sich ein Sieb (1) als Trennung zwischen dem Grundwasserleitermaterial und dem Wasser, das hier unter gespannten Verhältnissen in die Versuchsanordnung einströmen kann. In das Sieb hinein wurden mittig auf den Auslass zum Einbau des Bodenmaterials und der Schüttgüter ein Schüttrohr und das Filterrohr (2) aus PVC gestellt und mit einer Stahlkonstruktion befestigt, sodass sich die Rohre nicht mehr bewegen konnten. Als Nächstes wurde bis an die Oberkante das jeweilige Sediment (Gebirge (3)) eimerweise in den äußeren Ring eingefüllt und mit Hilfe eines Trichters Filterkies bzw. Glaskugeln (4) in den Ringraum geschüttet. Nachdem der Behälter bis kurz unter die Oberkante des Filterrohres mit Wasser befüllt war, wurde der Boden mit Hilfe eines Flaschenrüttlers verdichtet. Dieser wurde ca. zehnmal in den Sand eingeführt und gleich wieder herausgezogen, bis er sich nur noch schwer in das Gebirge einführen ließ. Das Gebirge hatte sich dann um ca. 30 Prozent gesetzt und wurde nachgefüllt. Das Filtermaterial, welches sich nur geringfügig gesetzt hatte, wurde ebenfalls nachgefüllt. Nachdem die Stahlkonstruktion zum Stabilisieren abgebaut war, konn-

te das Schüttröhr mit einem Teleskopklader langsam gezogen werden. Ein Beschwerungsbehälter (5) mit einem Durchmesser von 1,30 Meter wurde auf die Rohre und den Sand gestellt. Darunter wurde eine Gummimatte (6) zum Abdichten gelegt. Der Behälter wurde mit einem Stahlgestänge befestigt. Um ein Aufschwimmen des inneren Behälters zu vermeiden, wurde dieser, so wie der äußere Bereich auch, mit Wasser aufgefüllt. Unter dem Behälter befand sich ein Auslass, woran ein C-Schlauch befestigt war, welcher in einem Sieb endete. Das Sieb hatte eine Maschenweite von 0,063 mm. Es stand in einem Behälter, der mit Wasser aufgefüllt wurde und worin eine Pumpe stand. An der Pumpe war, durch einen Schlauch verbunden, ein Durchflussmessgerät angeschlossen, hinter dem das Wasser durch einen weiteren Schlauch zurück in den Teststand geleitet wurde.

Nachdem der Aufbau erfolgt war, konnte der Versuch starten. Der Auslass (7) wurde kurz geöffnet, um fehlgeschütteten Sand und Filtermaterial aus dem Filterrohr aufzufangen, welche das Messergebnis verfälscht hätten. Der komplette Sand wurde in einem Sieb (8) aufgefangen. Danach wurde der Ausfluss geöffnet und die Pumpe (9) angeschaltet. Diese förderte das Wasser in einem Kreislauf zurück in den Teststand. Zwischen Auffangbecken (11) und Teststand war ein Durchflussmessgerät (10) angeschlossen. Die Pumpe musste so reguliert werden, dass der Wasserspiegel des äußeren Ringes immer konstant blieb. Danach wurden die Sandmenge und der Durchfluss zweimal nach fünf und zweimal nach zehn Minuten in einem Spitzglas gemessen (Simulation des Klarpumpens). Mit dem aufgefangenen Sand wurde später eine Siebanalyse durchgeführt, um zu erkennen, welche Kornfraktionen durch die Filterschüttung brechen (Tab. 3). Außerdem sollte festgestellt werden, welche Sandaustragsraten bei der Simulation einer Entsandung nach DVGW-Merkblatt W 119 erreicht wurden. Als der erste Versuch vor dem Kolben beendet war, wurde das Wasser bis zur Oberkante des Filterrohres abgepumpt und der Beschwerungsbehälter herausgehoben. Um einen Einblick in den Kontaktbereich der Filterschüttung und das Gebirge zu bekommen, wurde der Bereich mit einer Maurerkelle ca. 10 bis 20 cm tief abgehoben, um für den Versuch nach dem Kolben nicht allzu viel zu beschädigen (Abb. 9).

Der Kontaktbereich zwischen der Schüttung und dem Sedimentkörper wurde optisch

überprüft (Tab. 4). Dabei wurde festgestellt, dass es bei einer Bemessung der Glaskugel- und Filterkiesschüttung nach W 113 zu keiner Vermischung von Boden und Schüttgut kommt (Abb. 10). Auffällig waren die

Sanddurchbrüche bei den Glaskugelschüttungen nur bei einer Überbemessung der Schüttungen in den Versuchen 3 und 7 (Abb. 11). Bei den Filterkiesen wurden erst bei einer sehr starken Überbemessung der

Tabelle 4: Ergebnisse der optischen Befunde zur Ausbildung der Kontaktfläche zwischen dem Grundwasserleiter und der Schüttung nach dem Kolben (Versuchsnummernzuordnung s. Tabelle 2)

Versuch Nr.	Filterschüttung	Optische Kontrolle des Kontaktbereiches von Filterschüttung zum Gebirge
1	Gk =	Klare Trennung vom Bodenkorn, nur im Kontaktbereich Vermischungen
2	Fk =	Klare Trennung vom Bodenkorn, nur im Kontaktbereich Vermischungen
3	Gk >	Vollkommen mit Bodenkorn durchdrungen (bis zum Filter), Sanddurchbruch
4	Fk >	Klare Trennung vom Bodenkorn, nur im Kontaktbereich Vermischungen
5	Gk =	Bodenkorn am Rande eingedrungen
6	Fk =	Klare Trennung vom Bodenkorn, nur im Kontaktbereich Vermischungen
7	Gk >	Vollkommen mit Bodenkorn durchdrungen (bis zum Filter), Sanddurchbruch
8	Fk >	Vollkommen mit Bodenkorn durchdrungen (bis zum Filter), Sanddurchbruch

Quelle:

Tabelle 5: Sandgehaltmessungen im Ablauf des Teststands vor und nach dem Entwickeln

Versuch Nr.	Filter-schüttung	vor dem Kolben		nach dem Kolben	
		ml/m ³	Abbruchkriterium	ml/m ³	Abbruchkriterium
1	Gk =	0,4	✓	0,0	✓
2	Fk =	0,0	✓	1,1	x
3	Gk >	7,2	x	9,3	x
4	Fk >	0,0	✓	0,0	✓
5	Gk =	5,4	x	4,8	x
6	Fk =	0,0	✓	0,0	✓
7	Gk >	26,1	x	30,5	x
8	Fk >	3,3	x	1,1	x

Quelle:

Tabelle 6: Systemdurchlässigkeit aus den Versuchen 1 bis 8 mit Bemessung der Schüttung nach W 113 und größer (Indizes der Versuche s. Tab. 2)

Versuch Nr.	Filter-schüttung	nach dem „Klarpumpen“			nach dem Entwickeln		
		Durchfluss [m ³ /h]	k _f -Wert [m/s]	entfernte Sandmenge [ml]	Durchfluss [m ³ /h]	k _f -Wert [m/s]	entfernte Sandmenge [ml]
1	Gk =	0,59	4,82E-04	0,30	0,34	2,78E-04	1,10
2	Fk =	0,44	3,59E-04	0,10	0,39	3,18E-04	0,00
3	Gk >	0,54	4,41E-04	14,00	0,32	2,61E-04	18,00
4	Fk >	0,24	1,96E-04	0,00	0,16	1,31E-04	0,00
5	Gk =	1,55	1,27E-03	5,00	1,00	8,16E-04	15,00
6	Fk =	0,32	2,61E-04	0,10	0,29	2,37E-04	0,25
7	Gk >	0,87	7,10E-04	16,00	0,42	3,43E-04	1,10
8	Fk >	0,46	3,76E-04	35,00	0,33	2,69E-04	2,50

Quelle:

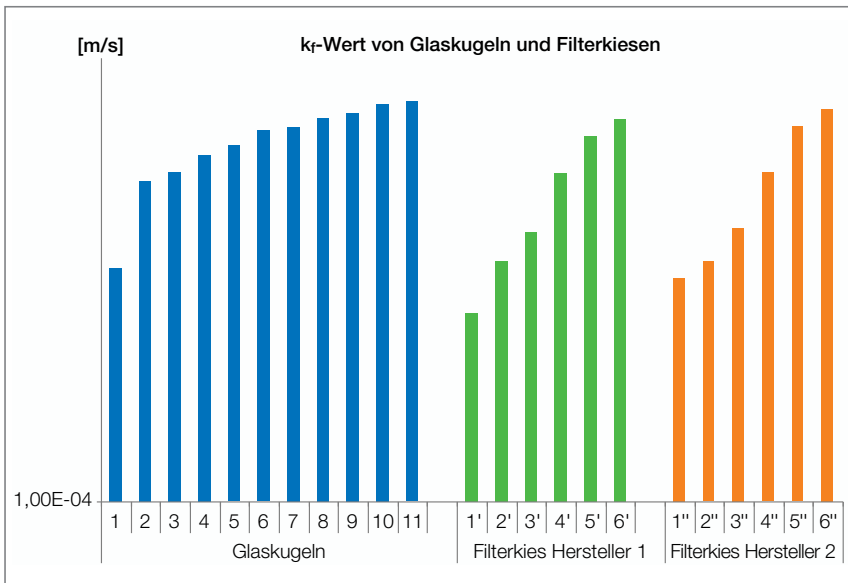


Abb. 7: Durchlässigkeiten der untersuchten Schüttgüter (Indizes s. Tabelle 1)

Quelle:

Schüttung im Versuch 8 (5,6 bis 8 mm) Sanddurchbrüche festgestellt. Ein Sanddurchbruch wurde in den Versuchen durch eine nahezu vollständig mit allochthonem Feinmaterial durchsetzte Schüttung charakterisiert. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Sandgehaltsmessungen vor und nach dem Kolben zusammengefasst. Vor dem Kolben waren in den Versuchen mit Filterkies als Schüttmedium keine bis nur sehr geringe Sandgehalte beim Durchlauf des Wassers

durch den „nicht entwickelten Brunnen“ gemessen worden (Versuche 2, 4 und 6). Erst bei der gezielten Überbemessung des Filterkieses im Versuch 8 wurden deutliche Sandführungen im Teststand vor dem Entwickeln erreicht. Bei den Glaskugeln wurden mit zunehmender Kugelgröße die Sandmengen bei der Simulation des Klarpumpens (= Durchlauf des Wasser durch den Teststand ohne Kolben) größer. Nach dem Entwickeln wurden in den Filterkiesversu-

chen insgesamt geringere Sandaustragsraten gemessen als bei den Glaskugelschüttungen. Die Sandausträge wurden nicht nur quantifiziert und auf das Abbruchkriterium nach W 113 bezogen (hier: 0,5 ml/m³), sondern auch in ihrer Kornverteilung untersucht. Dabei zeigte sich, dass bei den passend nach DVGW-Arbeitsblatt W 113 geschütteten Glaskugeln beim Klarpumpen ca. 17 Prozent der Körner größer als das Kennkorn waren. Danach waren nur marginale Gehalte an Körnern aus dem Sediment größer als das Kennkorn (max. 1,2 Prozent). Bei den passend geschütteten Filterkiesen gelangte beim Klarpumpen kein Korn größer als das Kennkorn in den Filter. Deutlich mehr Sand mit Korngrößen größer als das Kennkorn gelangte erst nach dem Kolben in das Filterrohr (bis zu 90 Prozent). Dies stammte aber im Wesentlichen aus dem Unterkorn der verwendeten Filterkiese. Sowohl bei den Glaskugeln als auch beim Filterkies wurden beim Entwickeln Körner größer als das Kennkorn ausgetragen, sobald das Schüttkorn oder der Kugeldurchmesser größer als nach W 113 bestimmt eingebaut war. Aus den Glaskugelschüttungen konnte das Korn größer als das Kennkorn bereits nach dem Klarpumpen vollständig entfernt werden. Beim Kolben war der Austrag aus dieser Schüttungsart im Vergleich zum Klarpumpen deutlich geringer und die Körner waren fast alle kleiner als das Kennkorn. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei den Glaskugelschüttungen das Kennkorn und gröbere Fraktionen bereits mit dem Klarpumpen entfernt werden. Bei Filterkies ist dieser Zusammenhang aufgrund der Unterkornanteile nicht so deutlich ableitbar.

Die Anteile des Kornes größer als das Kennkorn lagen zwischen 0,9 und 10,7 Prozent bei den Glaskugeln und 6,4 und 31 Prozent bei den Filterkiesen. Die daraus ableitbaren „Restsandgehalte“ nahmen nach dem Kolben mit zunehmender Kugelgröße zu (4,8 bis 30,5 ml/m³). Bei den Filterkiesen wurden nur geringe „Restsandgehalte“ um 1,1 ml/m³ nach der „Entwicklung“ zum gleichen Zeitpunkt wie bei den Glaskugelschüttungen bestimmt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Teststand eine „komplette“ Entsandung bis zum Abbruch gemäß W 113 aus technischen Gründen nicht durchgeführt wurde.

Die Durchlässigkeit des Systems „Gebirge-Schüttung“ wurde im Rahmen der Teststandversuche ermittelt und mit einem Vergleichsversuch gemäß einer modifizierten Versuchsanordnung nach DARCY (Abb. 6) verifiziert (Tab. 6). Die Glaskugelversuche zeigten in fast allen Fällen eine bessere Systemdurchlässigkeit als die Filterkiesversu-

Quelle:

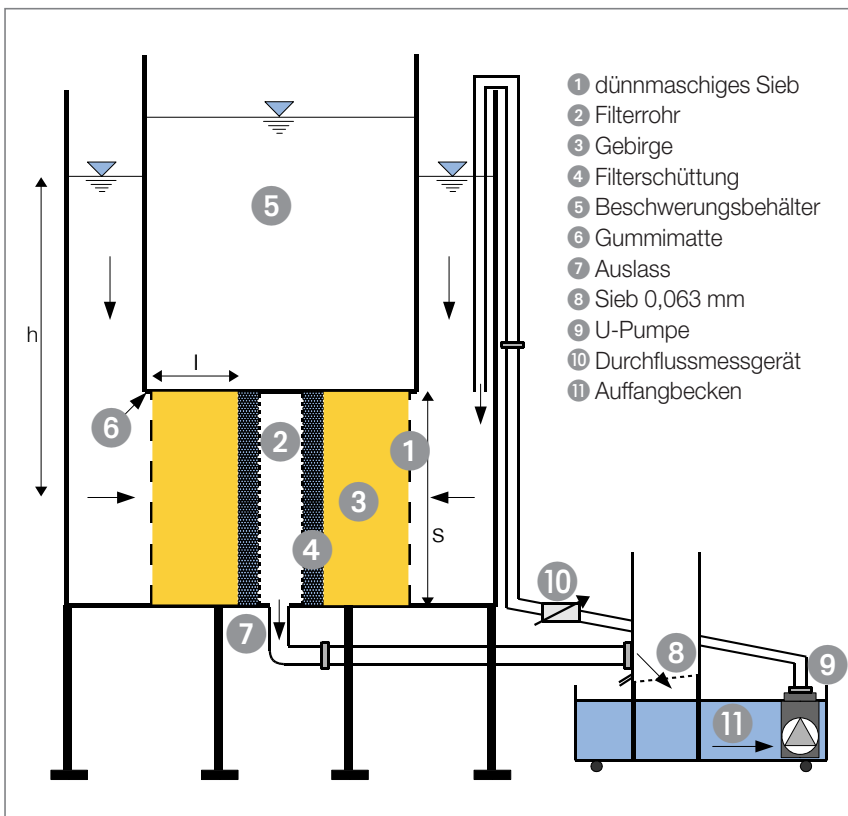


Abb. 8: Aufbau des Teststands zur Ermittlung der Systemdurchlässigkeit

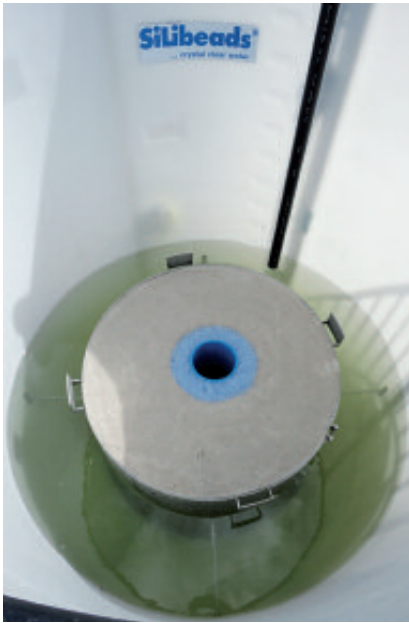


Abb. 9: Blick in den Teststand nach Entfernung des Wasserauflastbehälters und Glattziehen der Oberflächen (hier: Versuchsanordnung mit Glaskugeln als Schüttgut)

Quelle:



Abb. 10: Kontaktbereich Glaskugeln zum Boden im Versuch 1 (Kugeldurchmesser 1,7 bis 2,1 mm)

Quelle:



Abb. 11: Kontaktbereich Glaskugeln zum Boden im Versuch 7 mit eingedrungenem Bodenkorn (Kugeldurchmesser 7 mm)

Quelle:

che. Dies entspricht den Erkenntnissen aus [5]. Die Systemdurchlässigkeit nahm durch die Verdichtung und Setzung der Schüttgüter sowie durch baubedingtes, eingespültes Bodenmaterial bei allen Schüttgütern ab. Die Dominanz des Bodendurchlässigkeitsbeiwertes ist bei allen Versuchen deutlich nachweisbar, da die Systemdurchlässigkeit im Vergleich zur Durchlässigkeit der Schüttgüter (Abb. 7) in der gleichen Größenordnung wie der Boden- k_f -Wert lag. Die Durchflussraten lagen beim Mittelsand in allen Versuchen bei 4 bis 6 m³/h, beim Grobsand wurden mit zunehmenden Korn- bzw. Kugelgrößen auch steigende Durchflussraten von 4 bis 12 m³/h ermittelt. Auch hier zeigte sich, dass der Einfluss des Bodens die Unterschiede in der Schüttung deutlich überprägt.

Literatur:

- [1] Treskatis, C., Danhof, M., Dressler, M. & Herrmann, F. (2010): Vergleich ausgewählter Materialcharakteristiken von Glaskugeln und Filterkiesen für den Einsatz in Trinkwasserbrunnen. In: DVGW energie | wasser-praxis 1/2010: S. 26-32; Bonn (wvbw).
- [2] Treskatis, C. (2011): Einsatz von Glaskugeln in Trinkwasserbrunnen – bisherige Forschungsergebnisse. In: Bluefacts – International Journal of Water-Management: 110-116; Bonn.
- [3] 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 (wvbw).
- [4] Tholen, L. (2011): Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung der hydraulischen Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln im Brunnenbau. – 67 S. mit 35 S. Anhang ; unveröffentl. Bachelorarbeit an der Jade Hochschule Wilhelmshaven, Oldenburg, Elsfleth.
- [5] Treskatis, C. (2010): Einsatz von Glaskugeln im Brunnenbau. In: Günther, F. W. et al.: Seminar Wasserversorgung. – Mitteilungen Inst. für Wasserwesen, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität der Bundeswehr Heft 110/2010: G-1 bis G-23 ; Neubiberg.

Autoren:

Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis
Lara Tholen, B.Sc.
c/o 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.-Geol. Reinhard Klaus, MBA
c/o RKP Consulting
Mögeldorfer Hauptstr. 31A
90482 Nürnberg
Tel.: 0911 5703596
E-Mail: mail@reinhard-klaus.de
Internet: www.consenzum.de