

Wirtschaftlichkeit von Glaskugeln im Brunnenbau

Schüttgut ■ Seit der ersten Anwendung Ende 2007 ersetzen Glaskugeln in Bohrbrunnen zunehmend Kies als Schüttmaterial. Den Anstoß gaben positive Erfahrungen beim Einsatz in verockerungsanfälligen Brunnen. Mit Betriebszeiten von in der Regel mehr als 40 Jahren sind Brunnen langlebige Investitionsgüter und mit gewerblich genutzten Gebäuden zu vergleichen. In der Immobilienwirtschaft ist der Einfluss der Betriebskosten als wesentlicher Faktor in der Wirtschaftlichkeit lange bekannt. Diesem Ansatz folgend wurden die Investitions- und Betriebskosten von Bohrbrunnen, die mit Kies und Glaskugeln geschüttet sind, über einen Zeitraum von 25 und 40 Jahren rechnerisch gegenübergestellt.

Ausgangspunkt für den Einsatz von Glaskugeln als Schüttgut war die Qualität der lieferbaren natürlichen Sande und Kiese. Die verwendeten natürlichen Sande und Kiese weisen als Schüttgüter folgende Nachteile auf:

- keine kugelige Form,
- signifikanter Unter- und Überkornanteil,
- hoher Anteil an Staub oder abschlämmbaren Stoffen,
- keine zufriedenstellende Festigkeit,
- Klarpumpen und Desinfektion nötig,

- kostenintensive Entwicklungsarbeiten erforderlich und
- Kolmation der Filterschlitzte möglich [1].

Grundlegende Erkenntnisse über die Einflüsse aus Schüttgütern und ihre Auswirkungen auf die Funktionalität und Lebensdauer von Brunnen finden sich auch in [2 u. 3]. Demnach sind „Unterkorn“ aus Filterkiesen ebenso wie Feinpartikel aus dem Grundwasserleiter für das Verstopfen der Poren in der Bohrlochwand und im Ringraum verantwortlich. Zudem werden Dauer

und Kosten der Entsandung und die spezifische Brunnenleistung dadurch negativ beeinflusst [7].

Weitere Faktoren von großer technischer und wirtschaftlicher Bedeutung sind die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften der Einbauten. Dazu gehören neben dem Anlagerungsverhalten gegenüber leistungsmindernden Ablagerungen vor allem die für die hydraulische Ergiebigkeit der Ringraum-schüttung steuernden Kenngrößen mechanische Stabilität, Abriebfestigkeit, Rundheit der Schüttkörner sowie eine

Quelle: Sigmund Lindner

Abb. 1 Glaskugeln als Schüttgut im Brunnenbau können zu einem wirtschaftlicheren Brunnenbetrieb führen.



Abb. 2 REM-Aufnahme einer Glaskugel im Vergleich zum einem Filterkieskorn gleicher Korngröße. Die „glatte“ Oberfläche der Glaskugel verhindert die Bildung von Zugspannungen bei Lastaufgabe und mindert die Anlagerung von Inkrustationen.



Quelle: Sigmund Lindner

Abb. 3 Einspülen von Glaskugeln



Quelle: GCI

Abb. 4 Mit Glaskugelschüttung und Wickeldrahtfilter ausgebauter Brunnen

chemische Beständigkeit (z. B. gegenüber Regeneriermitteln) [7]. Im Jahr 2009 wurden DIN-Filterkiese und Glaskugeln der Fa. Sigmund Lindner (Abb. 1) auf folgende Kenngrößen untersucht:

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

Glaskugeln erzielten dabei in allen untersuchten Parametern bessere Ergebnisse als DIN-Kiese [5] (Abb. 2). Parallel dazu wurde am Lehrstuhl für Hydrologie der Universität Bayreuth die chemische Verockerungsneigung von Filterkiese und Glaskugeln im Labormaßstab verglichen. Glaskugeln zeigen demnach eine um 40 % geringere Anlagerung von Eisenoxiden als natürliche Kiese [6]. In der Zusammenfassung weisen Glaskugeln Vorteile gegenüber mineralischen Sanden und Kiesen auf. Sie bieten einen höchstmöglich wirksamen Porenraum durch exakt gleiche Korngröße und ideale Kugelform, die Schlitzweite der Filterrohre kann optimal angepasst werden, da eine Einkornschüttung möglich ist, es ist kein Sauberpumpen bzw. Reinigen des Glasmaterials notwendig, ebenso wenig wie eine Desinfektion vor dem Einbau (Abb. 3). Zudem werden durch die ge-

ringstmögliche und glatte Oberfläche Eisen- und Mangananlagerungen verzögert, es besteht eine optimale Regenerierbarkeit durch große Porenräume, es gibt keine nachträglichen Setzungen und dank geringer Materialreibung ist das Einbringen des Glasmaterials auch in enge Ringräume ohne Gefahr einer Brückenbildung möglich. Darüber hinaus haben Glaskugeln eine höhere Materialfestigkeit im Vergleich zum Quarzkies und bei Kamerauntersuchungen innerhalb von Wickeldrahtfilterrohren sind Verockerungen oder Fremdmaterial im Ringraum sehr gut erkennbar (Abb. 4).

Wirtschaftlichkeitsaspekte Allgemeines

Während die technischen Vorteile von Glaskugeln in Fachkreisen akzeptiert sind, wird der höhere Anschaffungspreis

von Glaskugeln gegenüber natürlichen mineralischen Filterschüttungen häufig als Nachteil und Hindernis für eine Verwendung angeführt. Der Materialpreis allein reicht jedoch bei Weitem nicht aus, um die Gesamtwirtschaftlichkeit eines Brunnens zu beurteilen. Mit Betriebszeiten von in der Regel mehr als 40 Jahren sind Brunnen sehr langlebige Investitionsgüter. Neben den Investitionskosten müssen die Betriebskosten betrachtet werden, um das Ziel einer optimalen Gesamtwirtschaftlichkeit zu erreichen. Der große Einfluss der Betriebskosten ist als wesentlicher Faktor in der Wirtschaftlichkeit von Brunnen lange bekannt. Bei zu hohen Betriebskosten, bedingt durch u. a. hohe Energiekosten der Förderung, häufig erforderliche Regeneriermaßnahmen etc.), kann es durchaus wirtschaftlicher sein, einen sonst intakten Brunnen neu zu bauen [8]. ▶

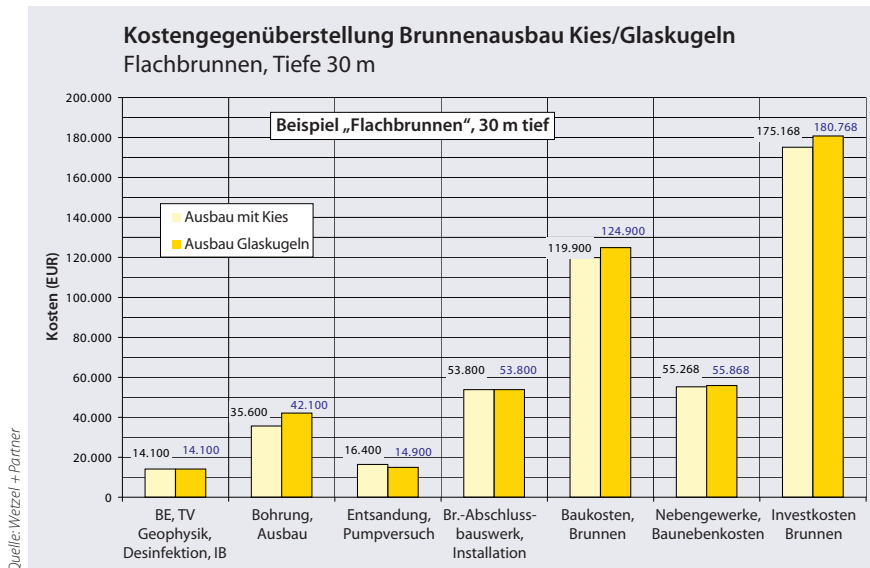


Abb. 5 Kostenanteile Teilgewerke „Flachbrunnen“

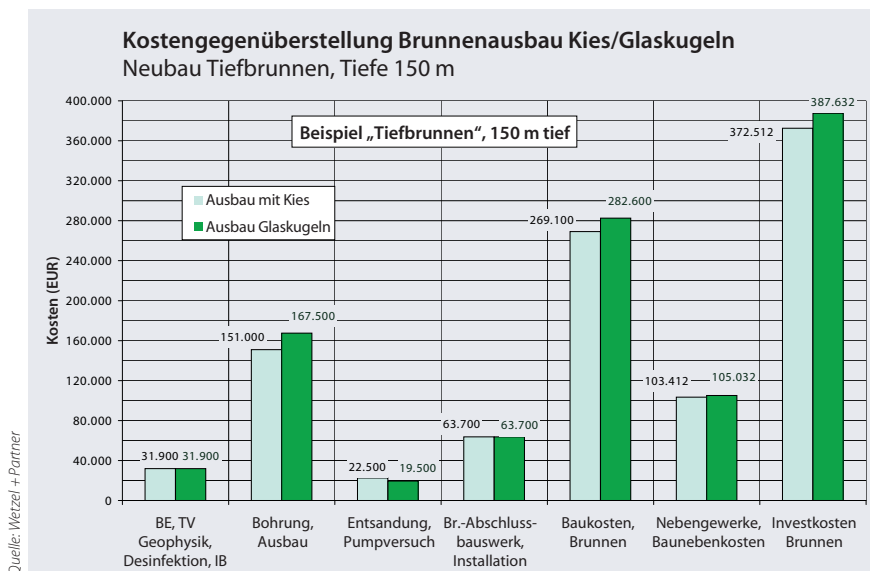


Abb. 6 Kostenanteile Teilgewerke „Tiefbrunnen“

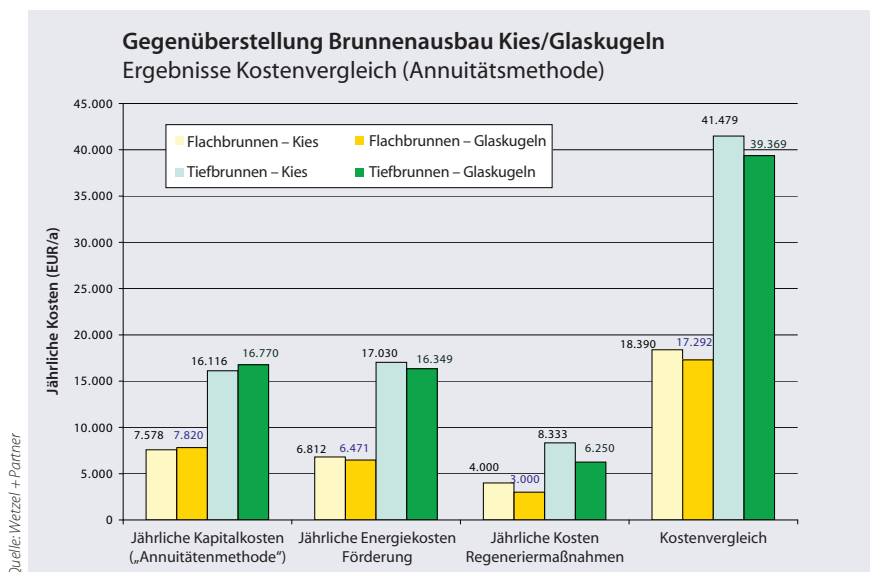


Abb. 7 Zusammenfassung der jährlichen Kosten (Annuitätenverfahren)

Für die nachfolgende Betrachtung wurden Brunnen mit herkömmlicher Kiesel­schüttung sowie alternativ mit Einsatz von Glaskugeln hinsichtlich der Investitions- und Betriebskosten untersucht und hinsichtlich der resultierenden Wirtschaftlichkeit gegenübergestellt. Um den regionalen Unterschieden in der Hydrogeologie Rechnung zu tragen, wurden zwei verschiedene Brunnen betrachtet: ein Festgesteinsbrunnen mit 150 m („Tiefbrunnen“) und ein Lockergesteinsbrunnen mit 30 m Teufe („Flachbrunnen“). Für die vergleichende Wirtschaftlichkeitsuntersuchung wurden die folgenden Kostenaspekte betrachtet:

- Investitionskosten,
- Energiekosten der Rohwasserförderung und
- Kosten für Regeneriermaßnahmen.

Die Gesamtwirtschaftlichkeit wurde mit dem Annuitätenverfahren sowie nach den KVR-Leitlinien (nur „Tiefbrunnen“) untersucht bzw. abgeschätzt.

Investitionskosten

Für den Bau der Beispielbrunnen wurden alle direkt, aber auch indirekt zugehörigen Kostenaspekte vollständig berücksichtigt:

- Nebenkosten, wie z. B. Baustelleneinrichtung, TV-Befahrung, Geophysik, Desinfektion, Inbetriebnahme,
- Bohrung und Ausbau,
- Entsandung und Pumpversuch,
- Brunnen­schacht mit bautechnischer Ausrüstung, Tauchmotorpumpe, Rohrinstallation und Armaturen/Messgeräte und
- Nebengewerke und Baunebenkosten.

In Tabelle 1 sind die Investitionskosten für die Beispielbrunnen dargestellt. Kostenbasis ist der mittlere Marktpreis 2010; bei der Kostenermittlung der Beispielbrunnen wurden u. a. auch eigene Ansätze und eine eigene Kostendatenbank eingesetzt (Abb. 5, 6). Bedingt durch den höheren Materialpreis sind die Investitionskosten für Brunnen mit Glaskugelschüttung höher. Etwas geringere Kosten bei der Entsandung können die vorherigen Mehrkosten ►

		Flachbrunnen 30 m		Tiefbrunnen 150 m	
		Ausbau Kies	Ausbau Glaskugeln	Ausbau Kies	Ausbau Glaskugeln
Teilgewerk		EUR	EUR	EUR	EUR
1	Baustelleneinrichtung	7.700	7.700	23.200	23.200
2	Bohrung, Ausbau	35.600	42.100	151.000	167.500
3	Entsandung und Pumpversuch	16.400	14.900	22.500	19.500
4	Brunnenabschlussbauwerk	26.400	26.400	27.200	27.200
5	Installation	27.400	27.400	36.500	36.500
6	TV-Geophysik (Bestandskontrollen)	3.900	3.900	5.200	5.200
7	Inbetriebnahme, Sonstiges	2.500	2.500	3.500	3.500
Zwischensumme 1 (nur Brunnenbau)		119.900	124.900	269.100	282.600
Nebengewerke		11.500	11.500	31.500	31.500
	Leitungsbau	3.500	3.500	3.500	3.500
	Rückbau vorh. Br.	4.000	4.000	16.000	16.000
	Aufschlussbohrung	4.000	4.000	12.000	12.000
Elektrik		25.000	25.000	32.000	32.000
Zwischensumme 2 (mit Nebengewerken)		156.400	161.400	332.600	346.100
Baunebenkosten		18.768	19.368	39.912	41.532
Investkosten		175.168	180.768	372.512	387.632
		100,0%	103,2%	100,0%	104,1%
Mehrkosten		5.600		15.120	

Quelle: Weizel + Partner

Tabelle 1 Kostenzusammenstellungen Flach- und Tiefbrunnen jeweils mit Kiesausbau und mit Glaskugelausbau

nicht kompensieren. Die Schüttung mit Glaskugeln kann auf die Filterstrecken mit einer gewissen Über- und Unterschüttung beschränkt werden. Im Beispiel „Flachbrunnen“ wurden für den mit einer fiktiven Filterlänge von 15 m ausgestattete Brunnen (Bohrung 1.300 / Ausbau DN 600, insgesamt 5 m Über- oder Unterschüttung) der Einbau von rd. 11,8 m³ (entsprechen ca. 8 T Glaskugeln mit einem Materialpreis von rd. 950 EUR/T) angesetzt. Die spez. Kosten für Quarzkies betragen rd. 140 EUR/T.

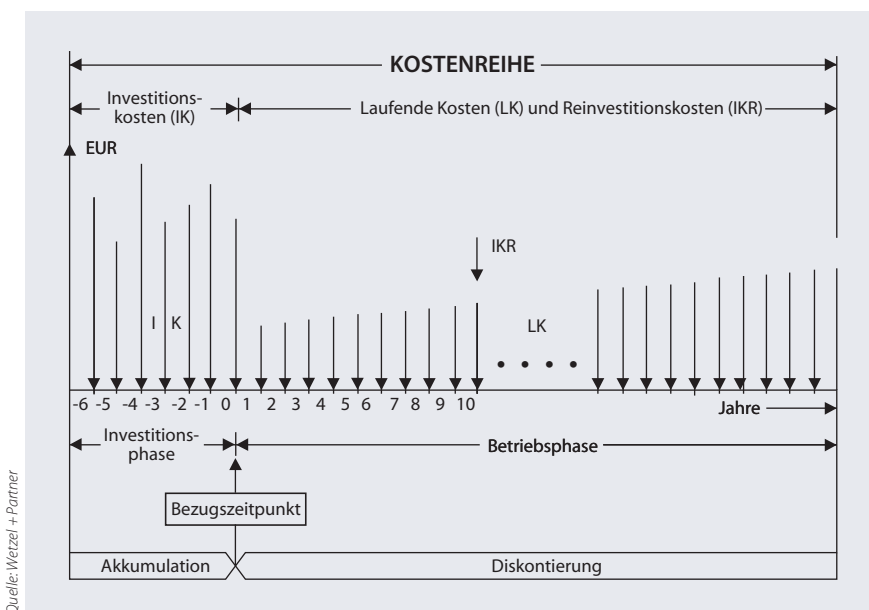
Für den Tiefbrunnen wurde der Einsatz von rd. 20 T Glaskugeln angenommen. Dieses führt zu Mehrkosten in Höhe von rd. 6.500 EUR für den „Flachbrunnen“ und in Höhe von rd. 16.500 EUR für den „Tiefbrunnen“ (Tab. 1). Dem stehen Einsparungen bei der Entsandung und Entwicklung des Brunnens gegenüber, da bei Glaskugelausbau kein Unterkorn enthalten ist und somit der sonst dafür erforderliche Aufwand entfallen kann. In den Beispielen wurden Einsparungen von rd. 1.500 EUR beim „Flachbrunnen“ und von rd. 3.000 EUR beim „Tiefbrunnen“ angesetzt. Insgesamt sind höhere Investitionskosten zu verzeichnen; in den Beispielen zwischen 5.600 EUR/3,2 % („Flachbrunnen“) und 15.120 EUR/4,1% (Tiefbrunnen).

Jährliche Kapitalkosten

Anhand der Annuitätenmethode kann eine (einmalige) Investition in Abhängigkeit der Zinsen (nachfolgender Ansatz: im Mittel 3 % – konstanter Ansatz über die gewählte Nutzungszeit) und der Nutzungszeit (Ansatz 40 Jahre) in jährliche Kapitalkosten umgerechnet werden. Die Annuitätenformel ist vielfältig veröffentlicht, u. a. in [8], sodass diese hier nicht weiter erläutert wird. Die jährlichen Kapitalkosten (Tab. 2) differieren um nur 242 EUR/a für den „Flachbrunnen“ und um 654 EUR/a für den „Tiefbrunnen“. Um diese Beträge sind die jährlichen Kapitalkosten für den Einsatz von Glaskugeln höher.

Jährliche Betriebskosten – Energiekosten der Rohwasserförderung

Annahme: Hydraulische Vorteile der Glaskugeln gegenüber Quarzkies resultierend aus der höheren effektiven Porosität führen durch den geringeren



Quelle: Weizel + Partner

Abb. 8 Arbeitsparameter nach KVR-Leitlinien [10]

Filtereintrittswiderstand zu einer vergleichsweise geringeren Absenkung des Betriebswasserspiegels und ergeben dadurch eine geringere geodätische Förderhöhe der Tauchmotorpumpe (mWS). In **Tabelle 3** wurden – unter Ansatz fiktiver, aber „realistischer“ Randbedingungen – Energiekosten der Förderung anhand des erforderlichen Energiebedarfs pro Jahr berechnet (siehe auch [9]). Bei Verwendung von Glaskugeln wurde dabei im Mittel eine um 1 m geringere Förderhöhe des „Flachbrunnens“ (19 statt 20 m) und eine um 2 m geringere Förderhöhe des „Tiefbrunnens“ (48 statt 50 m) jeweils bezogen auf die gesamte Nutzungszeit von 40 Jahre angesetzt. Bei den fiktiven Ansätzen ergeben sich Einsparungen von rd. 340 EUR/a für den „Flachbrunnen“ (entspr. rd. 12.800 EUR in 40 Jahren) und von rd. 690 EUR/a für den „Tiefbrunnen“ (entspr. rd. 27.600 EUR in 40 Jahren). Diese Einsparungen werden als „an der unteren Grenze liegend“ eingeschätzt.

Jährliche Betriebskosten – Aufwendungen Brunnenregenerierungen

In Laborversuchen konnte bei Glaskugelschüttungen eine um 40 % reduzierte Einlagerung von Eisenoxiden im Vergleich zu Kiesschüttungen festgestellt werden [6]. In den Berechnungen wurde dies mit rd. 25 % weniger Regenerierungen bezogen auf die angenommene Nutzungszeit von 40 Jahre bei Glaskugelbrunnen umgesetzt; d. h. bei Einsatz von Kies: Regenerierungen alle drei Jahre; bei Einsatz von Glaskugeln: Regenerierungen alle vier Jahre.

Die Kosten für die Regenerierung des „Flachbrunnens“ wurden mit 12.000 EUR, die des „Tiefbrunnens“ mit 25.000 EUR angesetzt. Hier enthalten sind Pumptests vorher/nachher, eine mechanische Reinigung, eine Regenerierung mit dem Einsatz von Chemie, mehrere TV-Untersuchungen sowie komplette geophysikalische Messungen vor und nach der Regenerierung (Messprogramm u. a. Packer-FLOW: Zuflussverhalten, -profil, Durchlässigkeit der Filterschlitz und der unmittelbaren Schüttung; GG.D: Dichtemessung der Ringraumschüttung u. a. zur Feststellung von „lockerer Lagerung“ bis hin zu Fehlstellen; NN: Porosität der Ringraumschüttung im Bereich der Filterstrecke; SGL: Anteile Feinkorn in der Kies-/Glaskugelschüttung etc.).

In **Tabelle 4** sind die Ergebnisse dargestellt. Als laufende Betriebskosten wurden die Kosten für Regeneriermaßnahmen auf einen mittleren Wert pro Jahr ohne weitere Zinszuschläge umgerechnet.

Zusammenfassung jährliche Kosten

In **Abbildung 7** sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nach dem Annuitätenverfahren dargestellt. Insgesamt ergeben sich signifikante Kostenvorteile bei Einsatz der Glaskugeln. Trotz höherer Investitionskosten führen die geringeren Betriebskosten insgesamt zu Kosteneinsparungen. Beim „Flachbrunnen“ beträgt die Einsparung rd. 1.100 EUR pro Jahr (Differenz: 18.390 zu 17.292), beim „Tiefbrunnen“ rd. 2.100 EUR/a (Differenz 41.479 zu 39.369). Im angesetzten Nutzungszeitraum von 40 Jahren betragen die Einsparungen rd. 44.000 EUR für den „Flachbrunnen“ und rd. 84.000 EUR für den Tiefbrunnen.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nach den KVR-Leitlinien

Beim Annuitätenverfahren sind in Abhängigkeit der Nutzungszeit eines Brunnens und der (zu schätzenden) mittleren Zinsen über die Nutzungszeit sowie für die laufenden Betriebskosten nur statische Kostenansätze und Kostenbetrachtungen möglich. Im Rahmen der „dynamischen Kostenvergleichsrechnung“ können Preis- bzw. Kostensteigerungsraten verarbeitet werden, sodass mit diesem Verfahren genauere Ergebnisse zu erzielen sind. Eine Kostenvergleichsrechnung nach den KVR-Leitlinien ist bei komplexen Sachverhalten deshalb dem Annuitätenverfahren vorzuziehen. Auf die einzelnen Arbeitsparameter der dynamischen Kostenvergleichsrechnung (**Abb. 8**) kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, hier wird auf die Literatur verwiesen [10 – KVR-Leitlinien]. Für den „Beispiel-Tiefbrunnen“ wurde eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach den KVR-Leitlinien durchgeführt. Folgende Randbedingungen wurden dabei berücksichtigt:

- Investitionskosten (**Tab. 1**),
- Energiekosten der Rohwasserförderung (**Tab. 3**) und
- Kosten für Regeneriermaßnahmen entspr. **Tabelle 4**.

Im Rahmen der dynamischen Kostenvergleichsrechnung werden aus Investition (IK) und Re-Investition (IKR; Arbeitsgröße: DFAKE) der Barwert (BW) zum Bezugs- ►

Zinsfaktor: 3%

		Flachbrunnen		Tiefbrunnen		
		Ausbau Kies	Ausbau Glaskugeln	Ausbau Kies	Ausbau Glaskugeln	
1	Investitions- und Kapitalkosten					
	Investitionskosten	(EUR)	175.168	180.768	372.512	387.632
	Kapitaldienst					
	Nutzungsdauer	(a)	40	40	40	40
	Annuitätsfaktor	(-)	0,0433	0,0433	0,0433	0,0433
	jährl. Kapitalkosten	(EUR/a)	7.578	7.820	16.116	16.770

Tabelle 2 Jährliche Kapitalkosten der „Beispielbrunnen“ mit Kiesausbau und Glaskugelausbau (Zinsen: 3 %)

2	Energiekosten Rohwasserförderung					
	Kosten je Kilowattstunde i.M.	(EUR/KWh)	0,15	0,15	0,15	0,15
	Förderung i. M.	(m ³ /h)	80	80	80	80
	Förderung i. M.	(m ³ /a)	500.000	500.000	500.000	500.000
	Wirkungsgrad Tauchmotorpumpen (μ) i.M.	(%)	60 %	60 %	60 %	60 %
	Förderhöhen i. M. (Annahme)	(mWS)	20	19	50	48
	Summe Energiekosten Förderung	(EUR/a)	6.812	6.471	17.030	16.349

Tabelle 3 Jährliche Energiekosten der Rohwasserförderung

3	Regenerierungen					
	Zeitintervall Regenerierungen (Annahme)	(a)	3	4	3	4
	Kosten je Regenerierung	(EUR)	12.000	12.000	25.000	25.000
	jährl. Kosten Regeneriermaßnahmen	(EUR/a)	4.000	3.000	8.333	6.250
Kostenvergleich		(EUR/a)	18.390	17.292	41.479	39.369

Tabelle 4 Jährliche Kosten für Regenerierungen

zeitpunkt (siehe Abb. 8) berechnet. Auch für laufende Kosten (LK) wird der Barwert zum Bezugszeitpunkt berechnet. Je nach Kostenparameter können einheitliche oder auch unterschiedliche Preissteigerungsfaktoren berücksichtigt werden (Arbeitsgröße ohne Preissteigerungsfaktor: Diskontierungsfaktor DEFAKR; Arbeitsgröße mit Preissteigerungsfaktor: Diskontierungsfaktor DFAKRP). Aus der Summe des Barwertes für Investition und Re-Investition sowie des Barwertes der laufenden Kosten (mit oder ohne Preissteigerungsfaktoren) wird der resultierende Projektkostenbarwert PKBW berechnet.

Die Ergebnisse der dynamischen Kostenvergleichsrechnung sind in **Abbildung 9** dargestellt. Der Ausbau mit Glaskugeln ist unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 40 Jahren als signifikant günstiger einzuschätzen. Über den betrachteten Zeitraum ergeben sich unter Berücksichtigung der gewählten Randbedingungen Einsparungen als „Projektkostenbarwert mit Preissteigerungen“ in Höhe von rd. 76.000 EUR (Differenz 1,208 Mio EUR zu 1,132 Mio EUR).

Auf einen Sonderfall sei hier hingewiesen: Annahme von gleichen Ausgangsbetriebskosten für Brunnen mit Kiesausbau und Glaskugelausbau, d. h. gleiche Energiekosten der Rohwasserförderung und Annahme gleicher Regenerierintervalle – aber um „pauschal“ 1 % pro Jahr höhere Kosten für den Brunnen mit Kiesausbau. Bei diesem Sonderfall liegt die Einsparung als

Projektkostenbarwert bei rd. 104.000 EUR (Differenz: 1,328 Mio zu 1,224 Mio).

Die angenommenen Vorteile bei den Betriebskosten, die im Wesentlichen auf Annahmen und „theoretischen Modellen“ beruhen, müssen anhand von nachprüfbar Ergebnissen aus der Praxis verifiziert werden.

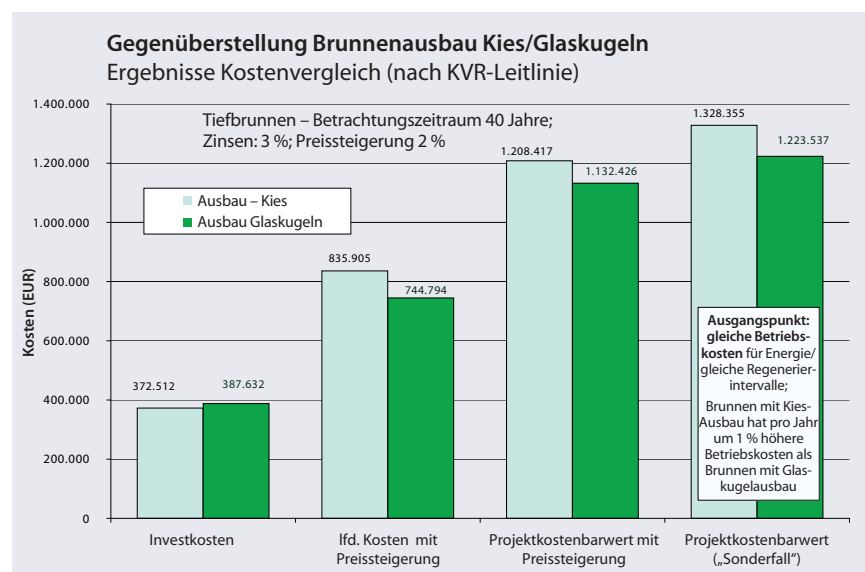


Abb. 9 Zusammenfassung der Kosten – „Tiefbrunnen“ (nach KVR-Leitlinien)

Fazit

Während sich die Baukosten exakt fassen lassen, konnte mangels längerer Betriebserfahrungen von Brunnen, die mit Glaskugeln hinterfüllt sind, der Regenerierbedarf auf Basis der Laborergebnisse und eigener langjähriger Erfahrungen im Brunnenbau nur extrapoliert werden. Die Zahlen erheben deshalb keinen Anspruch auf völlige Reproduzierbarkeit in streng wissenschaftlichem Sinne. Sie sollen vielmehr den Blick auf eine ganzheitliche Betrachtung der Lebenszykluskosten eines Brunnens richten und das Einsparpotenzial von Glaskugeln aufzeigen.

Trotz einiger Unwägbarkeiten kann dennoch abgeleitet werden, dass Brunnen mit Glaskugelfüllung wirtschaftlicher als solche mit Filterkies betrieben werden können. Dies begründet sich auch auf Faktoren, die wegen ihrer brunnen-spezifischen Ausprägung und nicht linearen Natur derzeit nicht exakt quantifiziert werden können, aber dennoch kostenwirksam sind, wie z. B. die zwischen zwei Regenerierungen ständig steigenden Förderkosten durch den kontinuierlich sinkenden Betriebswasserspiegel. Gleiches gilt für die sekundären Setzungen des Filterkieses durch Bruch infolge hydromechanischer Regenerierungen, was zu erhöhtem Filterwiderstand und verstärkter Kolmation führt, infolgedessen die Förderkosten steigen und sich die Brunnenlebensdauer verkürzt. Um die beschriebenen Annahmen

erhärten zu können, wurden im Herbst 2010 vergleichende Messprogramme an bestehenden Brunnen initiiert. In naher Zukunft werden die quantitativen Aspekte daher wesentlich besser zu fassen sein. Abschließend sei noch erwähnt, dass der Einsatz von Glaskugeln bei verschiedenen bundesweit geplanten Projekten auch beim Horizontalfilterbrunnenbau in Erwägung gezogen wird. Auch hierzu wird über Erfahrungen beim Bau und über Betriebserfahrungen zu gegebener Zeit zu berichten sein.

Literatur

[1] Herrmann, F. & Stiegler, X. (2008): Einsatz von Glaskugeln als Ersatz für Filterkies in Brunnen. – in: bbr 05/2008, S. 48-53; Bonn (vvgw).
 [2] DeZwart, B.-R. (2007): Investigation of Clogging Process in Unconsolidated Aquifers near Water Supply Wells. – 200 S., Dissertation TU Delft.
 [3] Treskatis, C. (2007): Partikelinduzierte Kolmation von Brunnen – Identifikation und Lösungsansätze. In: Drebenstedt, C. & Struzina, M. (Hrsg.): Grundlagen und Erfahrungen der Übertragbarkeit von Modellversuchen auf großindustrielle Anwendungen, S. 59 - 71, Freiberg, ISBN 978-3-86012-330-0
 [4] 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).
 [5] Treskatis, C., Danhof, M., Dressler, M. & Herrmann, F. (2010): Vergleich ausgewählter Materialcharakteristiken von Glaskugeln und Filterkiesen für den Einsatz in Trinkwasserbrunnen. – Energie Wasser Praxis 1/2010, S. 26 - 32; Bonn (vvgw).

[6] 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 (vvgw).
 [7] Treskatis, C., (2011): Einsatz von Glaskugeln in Trinkwasserbrunnen – bisherige Forschungsergebnisse, – bluefacts 5/2011, S. 110 - 116; Bonn (vvgw).
 [8] Walter, P., (Mai 2000): Wirtschaftliche Aspekte beim Betrieb von Brunnen – in: bbr 05/2000 Verlagsgesellschaft Rudolf Müller Bau-Fachinformationen GmbH & Co.KG, Köln
 [9] Walter, P., (Mai 2001): Kostenbetrachtungen und Kostenanalysen beim Brunnen.- in: bbr Verlagsgesellschaft Rudolf Müller Bau-Fachinformationen GmbH & Co. KG, Köln
 [10] Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien); Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 2005, Kulturbuchverlag Berlin GmbH

Autoren:

Dipl.-Geol. Reinhard Klaus, MBA
 RKP Consulting
 Mögeldorf Hauptstr. 31a
 90482 Nürnberg
 Tel.: 0911 57035-96
 E-Mail: mail@reinhard-klaus.de

Dipl.-Ing. Peter Walter
 WETZEL + PARTNER
 Ingenieurgesellschaft mbH
 Fritz-Reuter-Str. 2
 47447 Moers
 Tel.: 02841 96990-30
 Fax: 02841 96535
 E-Mail: peter.walter@iwp-moers.de
 Internet: www.iwp-moers.de



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 • Oberwarsteinacher Str. 38 • D-95485 Warsteinach
 Phone (+49) 92 77 - 99 40 • Fax (+49) 92 77 - 9 94 99 • E-Mail: sili@sigmund-lindner.com
www.sili.eu



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