



65. Deutsche Brunnenbauertage BAW-Baugrundkolloquium

07. bis 09. Mai 2014 – Bau-ABC Rostrup / Bad Zwischenahn

Aufgaben von Ringraumschüttungen in Brunnen

Vergleichende Betrachtungen von Kies und Glaskugeln

SIGMUND LINDNER GmbH
Oberwarnesteinacher Str. 38
95485 Warmensteinach

08.05.2014



- 1 Einführung
- 2 Aufgaben der Ringraumschüttung
- 3 Anforderungen an Schüttmaterialien
- 4 Eigenschaften von Filterkies und Glaskugeln
- 5 Vergleichende Materialuntersuchungen
- 6 Praxiserfahrungen
- 7 Qualitätsanforderungen
- 8 Fazit



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

2



1 Einführung

Bis Ende 2007 wurden ausschließlich natürliche Sande und Kiese als Schüttmaterialien im Brunnenbau eingesetzt.

Qualität und ungünstige Faktoren in der Materialzusammensetzung von natürlichen Filterkiesen führen zu Nachteilen in der Hydraulik von Bohrbrunnen und zu erhöhtem Aufwand in der Instandhaltung bei verringerter Lebensdauer.

Als Alternative wurden Ende 2007 erstmals Glaskugeln erfolgreich eingesetzt. Mehr als 4.000 verbaute Tonnen in über 100 Brunnen in D, USA, I, F bestätigen die positiven Ergebnisse der Laboruntersuchungen.



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

3



1 Einführung

Warum neue Filtermaterialien?

- Filterkiese sind aufgrund der unterschiedlichen Lagerstättengenese sehr inhomogen
- Hohe Anteile an Unter- und Überkorn sowie Feinstanteilen
- Geringe mechanische Festigkeit
Kolmation durch Entmischung der Kornfraktionen bei Einbau, Entwicklung und Regenerierung
 - irreversible Kolmationseffekte durch nicht entfernbare „Unterkorn“
 - Setzungen und Ausbildung interner Grenzflächen
 - Silikatstaub (Arbeitsschutz)



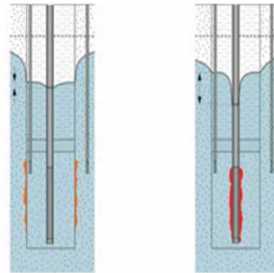
Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

4



2 Aufgabe der Ringraumschüttung

- Schaffen eines Stützgerüsts mit der Eigenschaft, beim Entsandem die Feinteile kleiner als der Kennkorndurchmesser d_K passieren zu lassen
- Vermeiden einer äußeren Kolmation
- Verhinderung einer Sandführung im Brunnenbetrieb
- Verbindung zwischen Aquifer und Brunnen
- Fenster oder Barriere???



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

5



2 Aufgabe der Ringraumschüttung

Steuerfaktoren der Ringraumschüttung (Treskatis, 2011)

- Lagerungsdichte und Ungleichförmigkeit beeinflussen Brunnergiebigkeit und Regenerierbarkeit (von locker nach dicht nimmt die Ergiebigkeit um bis zu 70 % ab, wegen des kleineren durchflusswirksamen Porenraums)
- Gröbere Schüttung = höhere Durchlässigkeit (Kf- Wert)
Körnung 0,7 bis 1,2 mm hat gegenüber 1 bis 2 mm nur 50 % des Kf- Wertes
- Filterkies hat eine Grenzschicht zum Aquifer und zum Filterrohr. Lagerungsdichte und Ungleichförmigkeit beeinflussen deshalb auch Masse und Korngröße des „passierfähigen“ Korns



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

6



2 Aufgabe der Ringraumschüttung

Einflüsse des Schüttmaterials auf die Brunnenalterung (Klauder 2011)

Aus Laborversuchen und Messungen an
Brunnen :

- Kornform (Abweichung von der idealen Kugel)
- Innere Oberfläche (Rauheit)
- Weite und Geometrie der Porenkanäle
- Menge der Feinstanteile < 63 μm



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

7



2 Aufgabe der Ringraumschüttung

Konsequenz:

- Änderungen des Korndurchmessers und der Lagerungsdichte der Ringraumschüttung haben massive Auswirkungen auf deren Leistungs- und Funktionsfähigkeit



Schüttgüter müssen Konsistenz ihrer mechanischen, hydraulischen und chemischen Eigenschaften gewährleisten



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

8



2 Aufgabe der Ringraumschüttung

Optimierung der Ringraumschüttungen

- Herstellen einer möglichst stabilen Lagerung
- Reinigung des Porenraums bis zur Bohrlochwand (Grenzfläche) und darüber hinaus
- Sortierung und Fraktionierung des Korngerüstes an dieser Grenzfläche
- Kf Kies > Kf Bohraureole > Kf Grundwasserleiter



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

9



2 Aufgabe der Ringraumschüttung

Optimierung der Ringraumschüttungen

- Verzögerung der Brunnenalterung
- Berechenbarkeit und Konstanz der wirksamen Porenweite
- Homogene vernetzte Porenkanäle
- **Über die gesamte Brunnenlebensdauer**



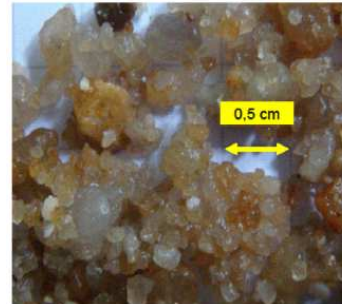
Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

10



3 Anforderungen an Schüttmaterialien

- **Homogene** Materialzusammensetzung
- Reinheit
- Gleichkörnigkeit
- Bettungsstabilität
- Glatte Oberfläche
- Vollkommene Rundheit
- Homogene Porengeometrie
- Maximaler effektiver Porenraum
- Maximale Durchlässigkeit
- Hydraulische **Isotropie**
- Inhibierung von Biofilmen und Inkrustationen
- Hohe mechanische Festigkeit (Bruch, Abrieb)
- Hohe chemische Resistenz



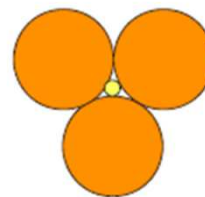
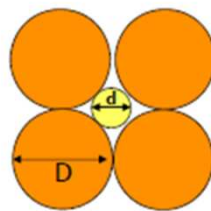
Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

11



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

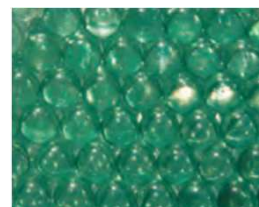
Anforderungen:



Realität:



oder



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

12



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

Auswirkungen Unterkornanteil:
(Paul 2010)

Material Kies [mm]	Unterkornanteil [%]	Kf [%]
3,15 – 5,60 mm	0	100
3,15 – 5,60 mm	10	75 - 55



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

13



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

Auswirkungen Rundheit:
(Paul 2010)

Kies 3,15 – 5,60 mm Rundheit b/l 0,40
Filterschlitzweite 2,0 mm:

„Damit sinkt für diese Schüttgut-Probe die Wahrscheinlichkeit einer Passage des Unterkornanteils bei gleichzeitiger Zunahme der Wahrscheinlichkeit einer inneren Kolmation, wiederum mit der Konsequenz einer Verkürzung der Brunnenlebenszeit.“



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

14



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

Auswirkungen Rundheit:

Glaskugeln hoher Qualität 3,80 – 4,40 mm b/l 0,95

Damit wären Filterschlitzweiten von 3,00 mm möglich



deutlich geringer Eintrittswiderstand



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

15



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

Auswirkungen Rundheit:

$$q = \frac{4 \pi r^2}{\frac{4 \pi r^3}{3}} r = 3 \quad k = \frac{Q \eta l}{\Delta p A}$$

$$\frac{k_{Glas}}{k_{Sand}} = \frac{\frac{1}{3^2}}{\frac{1}{3,5^2}} = 1,36 = \frac{\Delta p_{Sand}}{\Delta p_{Glas}}$$

36 % weniger Druckverlust von Glaskugeln



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

16



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

Auswirkungen Rundheit:



Neue Brunnen nach dem Entwickeln



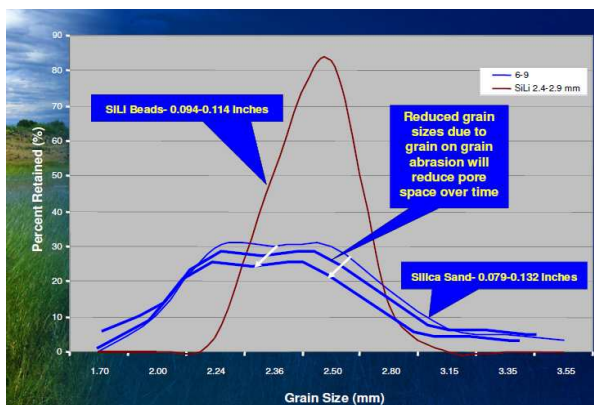
Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

17



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

Auswirkungen Sortierung:



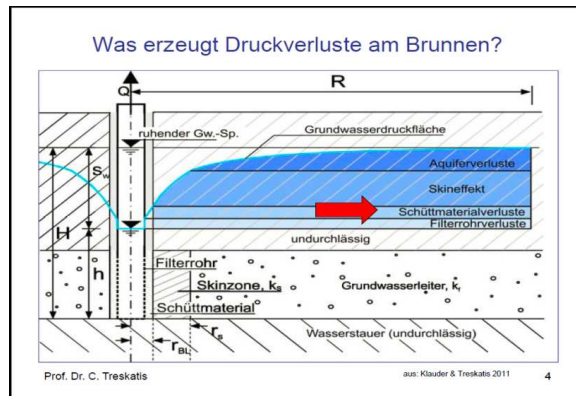
Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

18



4 Eigenschaften von Filterkiesen und Glaskugeln

Auswirkungen Eintrittswiderstand:

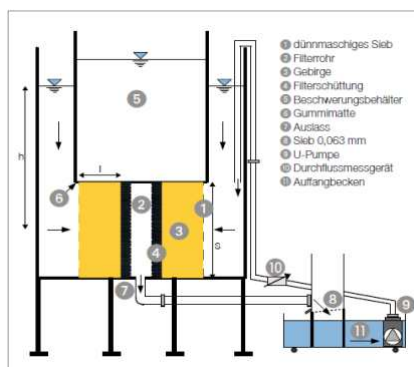


Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus



5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Hydromechanik



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Hydromechanik



Ergebnisse Entsandten Glaskugeln:

- Eine Vermischung an der Grenze Boden / Schüttung wurde nur bei deutlich größeren Schüttungen als nach W113 beobachtet
- Glaskugelschüttungen wiesen durchwegs höhere Austragsraten von Bodenmaterial als Kiesschüttungen auf
- Es wird sofort mit dem Klarpumpen Bodenmaterial gefördert
- Glaskugelschüttungen zeigten schnelleres und effizienteres Entsandungsverhalten



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

21

5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Hydromechanik



Ergebnisse Entsandten Kies:

- Filterkiese neigen zur Ausbildung von autochthonem Unterkorn und Sackgassenporen, in denen Inkrustationen hängenbleiben
- Der Sandaustrag bei der Entwicklung stammt nur zu einem geringen Teil aus dem Boden, das meiste Material stammt vom Kies selbst



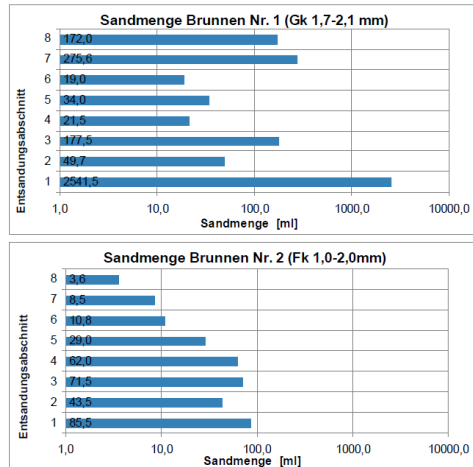
Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

22



5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Hydromechanik



Datum des Vortrags: 19.05.2014

Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

23



5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Hydromechanik

Ergebnisse Bemessung:

- Für Glaskugeln können die Ansätze des DVGW Arbeitsblattes W 113 angewandt werden.
- Brunnen sind sandfrei, selbst bei $U = 1,4$ des Gebirges!
- Die Kugelgröße ist im Vergleich zum Spektrum nach DN 4924 differenziert nach dem Ungleichförmigkeitsgrad und Feinkornlinsengehalt des Bodens zu bemessen.
- $U < 5$ Mittelgröße n. DIN 4924
 $U > 5$ obere Grenze n. DIN 4924



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

24



5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Hydromechanik

Ergebnisse Bemessung:

- Auch Kiesschüttungen weisen Sandführung auf bei Überbemessung.
- Verschleiert durch Einlagerung und Kolmation in der Schüttung



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

25

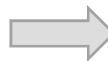


5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Hydromechanik

Ergebnisse Bemessung:

- Standardsiebsatz ist besonders im Bereich 0,63 – 2,00 mm zu grob.



Körnung von **2,00 – 3,15** mm für Testbrunnen!

- Mit erweitertem Siebsatz: **1,00 – 2,00** mm
- **Qualität der Probennahme und Probe!!!!**



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

26

5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Alterungsverhalten



Von März bis Dezember 2012
am Bau ABC Rostrup
durchgeführte, vergleichende
Labor- und Feldtests zeigten:

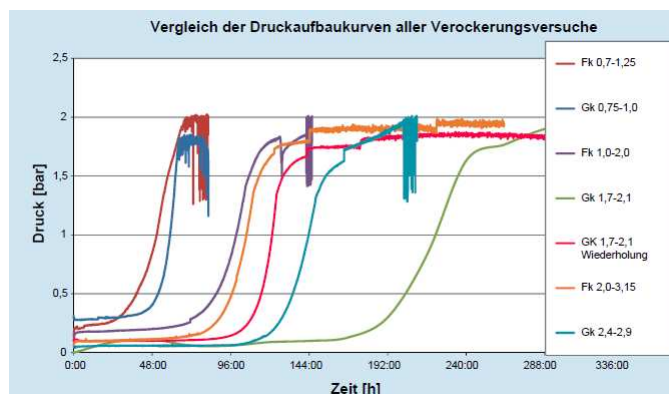


Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

27

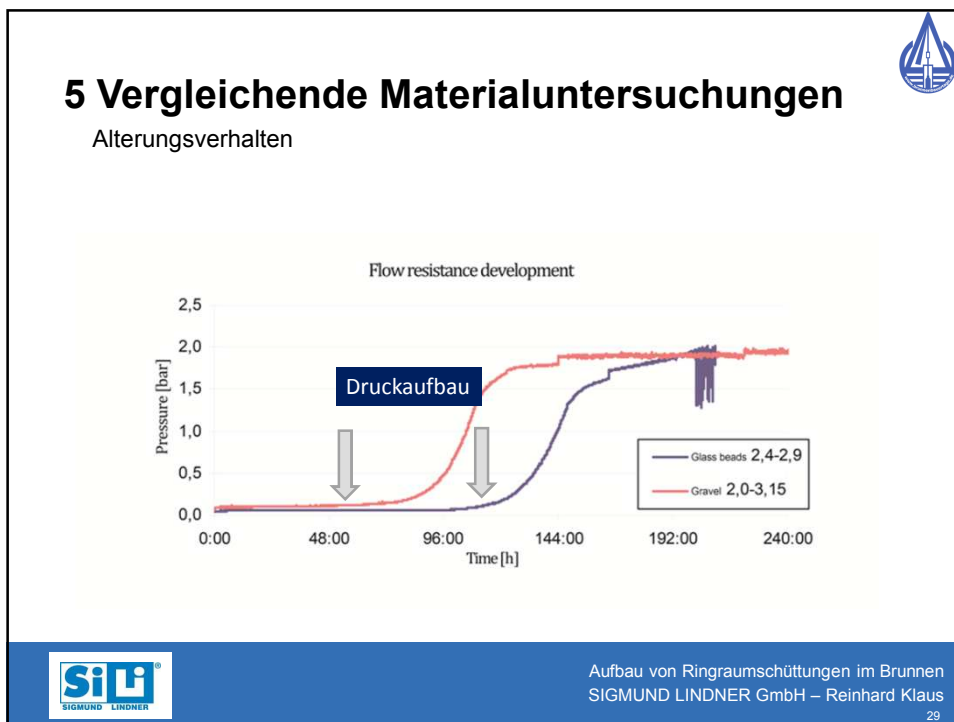
5 Vergleichende Materialuntersuchungen

Alterungsverhalten



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

28





5 Vergleichende Materialuntersuchungen


Alterungsverhalten

Ergebnisse:

Säulentests und Versuchsbrunnen

Glaskugeln verockern um den Faktor
2 – 3 langsamer

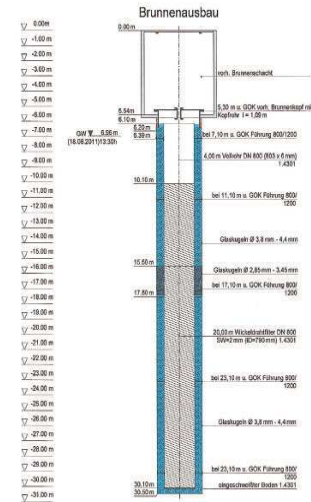


Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus
30

6 Praxiserfahrungen

Sanierung Brunnen Stahlwerk Annahütte, Ainring/Hammerau

- Vor Sanierung:
 - Ausbau 20 m Schlitzbrückenfilter
 - DN 600/DN 700 mit Tressengewebe und Kieshinterfüllung
 - Förderleistung 72 l/s bei 2,80 m Absenkung
 - $E = 25,7 \text{ l/s} \cdot \text{m}$

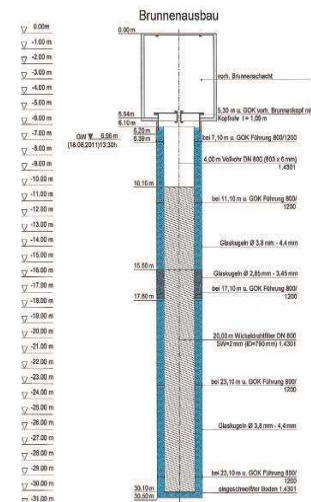


Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

6 Praxiserfahrungen

Sanierung Brunnen Stahlwerk Annahütte, Ainring/Hammerau

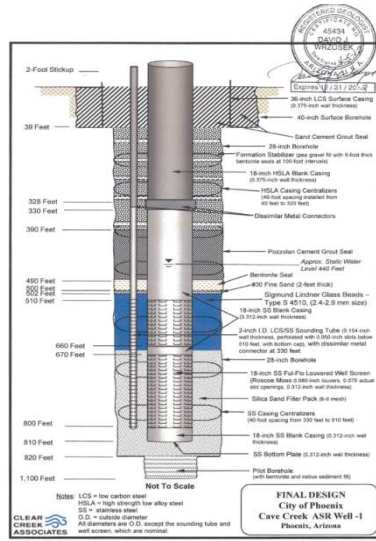
- Nach Sanierung:
 - Ausbau 20 m, Wickeldrahtfilter DN 800 mit Glaskugeln teufendifferenziert geschüttet, 3,8 – 4,4 mm und 2,85 – 3,45 mm
 - Förderleistung 80 l/s bei 0,80 m Absenkung
 - $E = 100 \text{ l/s} \cdot \text{m}$
- Durch den Neuausbau mit modernsten Materialien konnte hier die Leistung um ca. **300 %** gesteigert werden.



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

6 Praxiserfahrungen

City of Phoenix, AZ, USA



FINAL DESIGN
City of Phoenix
Cave Creek ASR Well-1
Phoenix, Arizona

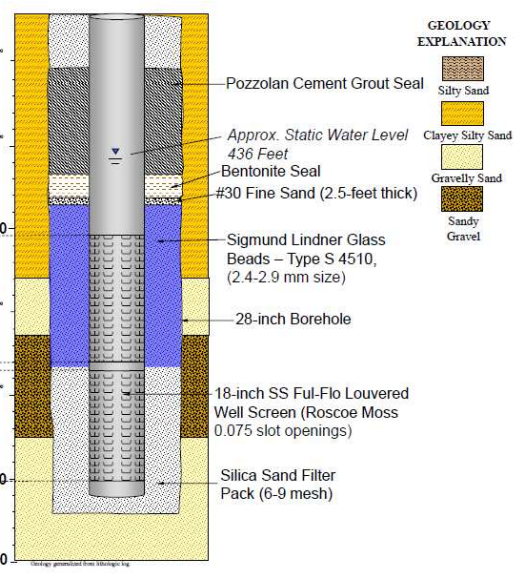
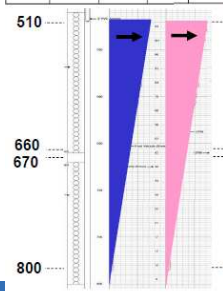


Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

6 Praxiserfahrungen

FLOWMETER ANALYSIS				
MAX. FLOW RATE	1515.00 GPM			
DEPTH INTERVALS	PRODUCTION GPM	% OF FLOW	CONCS GPM/FT	THICKNESS FT
518-530	72.20	5%	7.20	18
520-532	64.80	4%	5.41	12
510-509	104.50	7%	5.82	18
500-600	228.06	15%	4.07	58
606-614	601.19	37%	7.48	68
674-740	272.89	18%	6.13	66
750-800	269.73	17%	4.40	50

FLOWMETER ANALYSIS				
MAX. FLOW RATE	1515.00 GPM			
DEPTH INTERVALS	PRODUCTION GPM	% OF FLOW	CONCS GPM/FT	THICKNESS FT
510-600	617.98	41%	6.51	100
670-800	607.02	40%	5.3	130

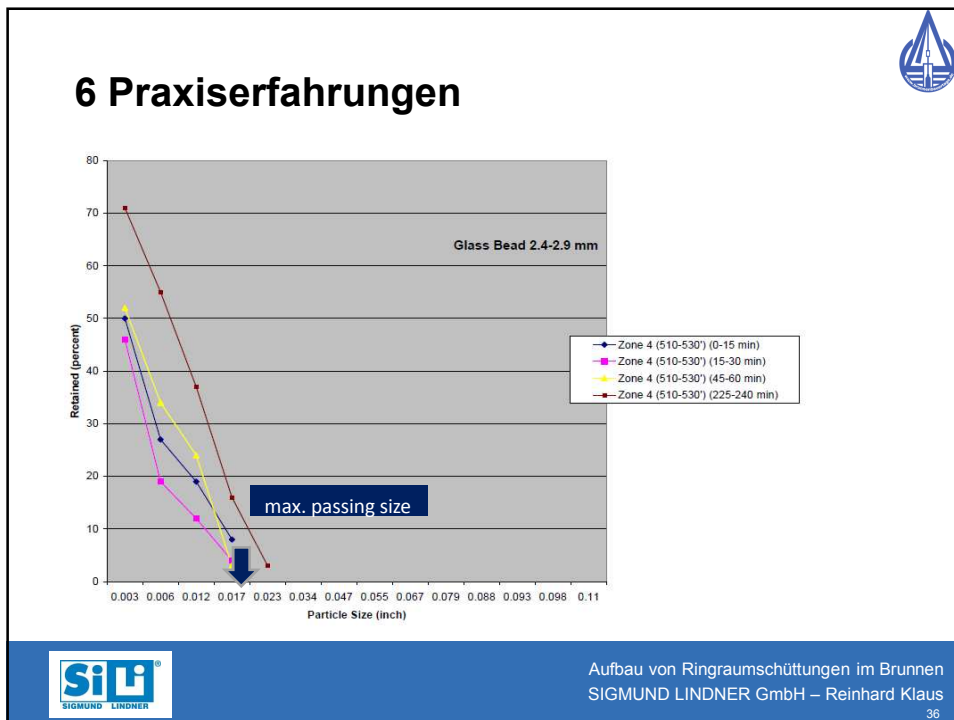
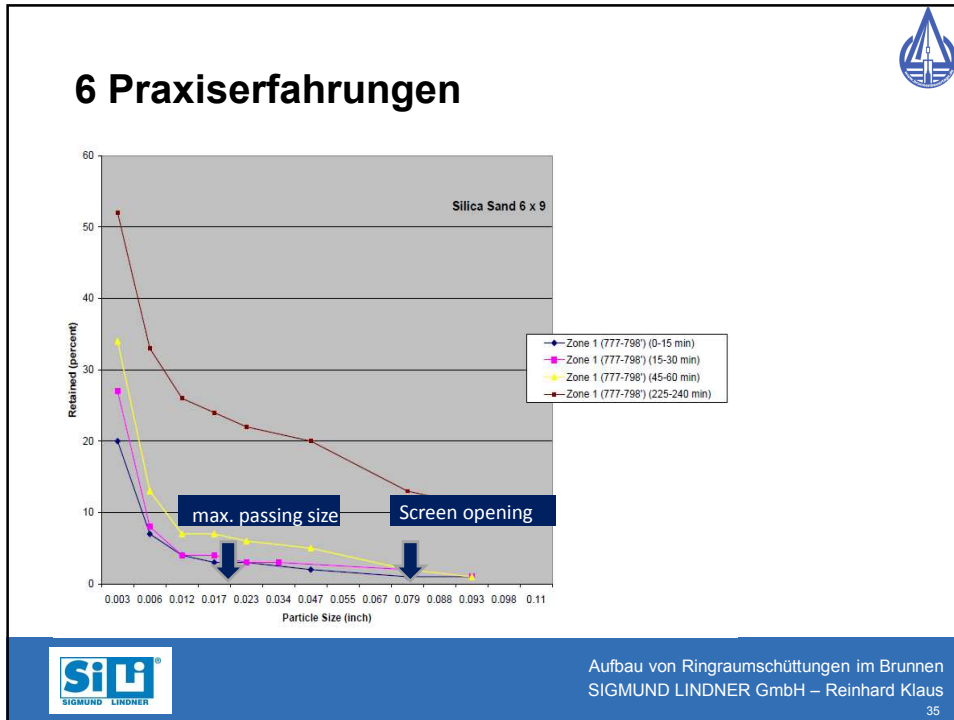


GEOLOGY EXPLANATION

- Silty Sand
- Clayey Silty Sand
- Gravelly Sand
- Sandy Gravel



Aufbau im Brunnen
Reinhard Klaus



6 Praxiserfahrungen

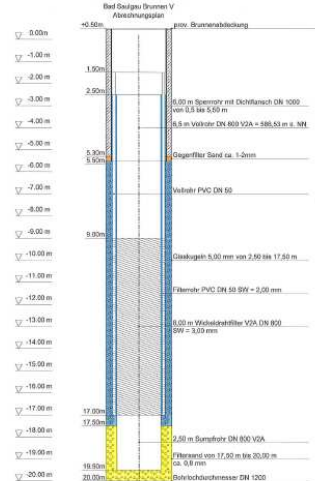


Bad Saulgau, Brunnen 5

Baujahr: 2010
 Bohrloch: 1200 mm
 Ausbau DN 800
 Edelstahlwickeldrahtfilter
 Ringraumschüttung: SiLibeads 5,00 mm

Geologie: extrem feine, gut sortierte Sande, hohe Karbonathärte des Grundwassers

Probleme bis dato: Sandführung bzw. sehr schnelle Kolmation von Brunnen rasche Leistungsabnahme



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
 SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

6 Praxiserfahrungen



Bad Saulgau, Brunnen 5

Status Ende 2012:



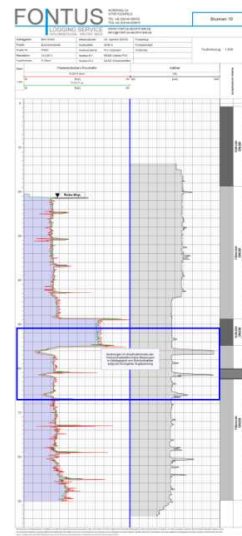
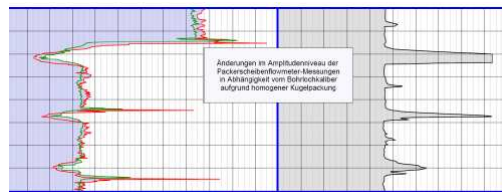
- Sandfreie Wasserführung
- Keine Leistungsabnahme



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
 SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

6 Praxiserfahrungen

Hydraulik



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

39

6 Praxiserfahrungen

Ergiebigkeit



	Br.-Ausbau	Q1	s1	E1	Q2	s2	E2	Q3	s3	E3	E _{Mittel}	Leistungs-Steigerung um
		[m³/h]	[m]	[m³/h/m]	[m³/h]	[m]	[m³/h/m]	[m³/h]	[m]	[m³/h/m]	[m³/h/m]	
Br. A	Steinzeug-Kies	15,60	3,13	4,98	33,80	6,98	4,84	61,70	9,90	6,23	5,4	
Br. A-neu	WD-Glas	20,16	2,02	9,98	39,60	3,91	10,13	60,48	5,71	10,59	10,2	91,2 %
Br. B	Steinzeug-Kies	11,84	1,11	10,67	28,10	3,77	7,45	42,48	5,63	7,55	8,6	
Br. B-neu	WD-Glas	19,80	1,76	11,25	39,96	3,72	10,74	59,76	5,61	10,65	10,9	27,2 %
Br. C	Kupfergewebe	259,00	2,80	92,50	92,5							
Br. C-neu	WD-Glas	288,00	0,70	411,43							411,4	344,8 %

Quelle: R. Klaus & P. Walter



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

40

6 Praxiserfahrungen

Wirtschaftlichkeit



Energiekosten Rohwasserförderung							
		Ausbau Glaskugeln					
		Br. A-alt	Br. A-neu	Br. B-alt	Br. B-neu	Br. C-alt	Br. C-neu
Kosten je Kilowattstunde i.M.	(EUR/KWh)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Förderung i. M.	(m³/h)	60	60	60	60	200	200
Förderung (Annahme)	(m³/a)	500.000	500.000	500.000	500.000	1.800.000	1.800.000
Wirkungsgrad Tauchmotorpumpen (μ) i.M.	(%)	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %	60 %
spez. Ergiebigkeit i.M. (nach vorliegenden Daten)	(m³/h/m)	5,4	10,2	8,6	10,9	92,5	411,4
relative Förderhöhen i. M. (nur bez. auf reine Absenkung s)	(mWS)	11,2	5,9	7,0	5,5	2,2	0,5
Summe Energiekosten Förderung	(EUR/a)	3.818	1.997	2.389	1.878	2.651	596
Einsparung	(EUR/a)		1.821		511		2.055
			48 %		21,4 %		77,5 %

Quelle: R. Klaus & P. Walker



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

41

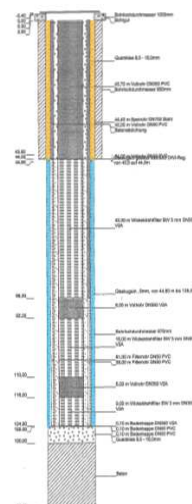
6 Praxiserfahrungen

Wirtschaftlichkeit

Roßtal, Brunnen 4



	Alt	Neu	Einsparungen
Mehrkosten Glaskugeln €		26,000	- 26,000
Regenerierungen in 5 Jahren €	65,000	2,000	63,000
Amortisation, Jahre			1.7
Einsparungen , 5 J €			37,000



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

42



7 Qualitätsanforderungen

- Glaskugeln sind nicht gleich Glaskugeln
- Glaskugeln werden vielfältig eingesetzt:
 - Straßenmarkierung
 - Feinvermahlen
 - Verschlüsse
 - Mischkugeln
 - Häufig werden Produkte aus anderen Segmenten z.B. aus der Straßenmarkierung in der Wasseraufbereitung eingesetzt
 - Beschichtungen und Zuschlagstoffe aus der Herstellung können zu hohen Schadstoffbelastungen führen (THM, LHKW, Schwermetalle, etc.)
 - Primärbelastungen durch Ausgangsmaterial Recyclingglas
 - Mangelnde Bruchfestigkeit

Silibeads sind vom Rohstoff und der Verarbeitung chemisch rein und auf den Verwendungszweck abgestimmt



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

43



8 Fazit

Die Anwendung von Glaskugeln im Brunnenbau ist ein wesentlicher Fortschritt und eine Weiterentwicklung des Standes der Technik der besonders Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit vereint.

Damit wird das bisher schwächste Glied in der Brunnenkonstruktion - die Ringraumfüllung- auf das Niveau der anderen hoch entwickelten Komponenten gehoben.

Theoretische Anforderungen aus der Hydraulik können damit adäquat, reproduzierbar und **konsistent** umgesetzt werden.



Aufbau von Ringraumschüttungen im Brunnen
SIGMUND LINDNER GmbH – Reinhard Klaus

44