

# 50 Jahre Bohrlochmessung in Storkow

16. Juni 2011 – blm Storkow

## Glaskugeln im Brunnenbau: Forschungsergebnisse zur Praxistauglichkeit

Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis

Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH

Abt. Ltr. Wassergewinnung und Brunnenbau

Im Pesch 79, 53797 Lohmar

# Gliederung

- 1. Einführung**
- 2. Mechanische und chemische Eigenschaften von Glaskugeln und Filterkies**
- 3. Porositäten Setzungsverhalten und Durchlässigkeit**
- 4. Schlussfolgerungen**
- 5. Zusammenfassung**

# Einführung

## Forderungen an ein Schüttgut im Brunnen

- Runde Kornform
- Stabile Lagerung im Ringraum
- Keine nachträgliche Setzungen
- Stabilität der Körner beim Transport, Einbau und bei der Regenerierung
- Hoher Quarzanteil ohne Bruchbildungseigenschaften
- Geringe Mineralgehalte, die eine Verockerung fördern
- Geringe innere Oberfläche der Kieskörner zur Reduzierung des mikrobiologischen und katalytischen Anlagerungspotenzials
- Wirtschaftliche Kostenstruktur für das Material und den Einbau



**Praxisproblem: Verstopfung der Schlitzze mit  
Kiesbruchstücken als irreversible  
„Brunnenalterung“**



# Einführung

## Warum beschäftigen wir uns mit Glaskugeln für den Brunnenbau?

- Filterkies wird seit Jahrzehnten als Schüttgut für die Verkiesung von Brunnen im Locker- und Festgestein genutzt
- Ausbauten ohne Filterkiese kennen wir im Lockergestein aus den USA. Hier wird die „Schüttung“ autostabil aus dem Untergrundgestein entwickelt
- Im Festgestein werden Brunnen bei standfestem Gebirge ohne Filterrohre und Schüttungen ausgebaut (z.B. im Saarland oder bei Trier im Buntsandstein)
- Die Bemessung der Schüttung in Lockergesteinsbrunnen ist im DVGW-Regelwerk etabliert. Daneben sind empirische Verfahren in der Praxis bewährt (z. B. BIESKE-Kurve)



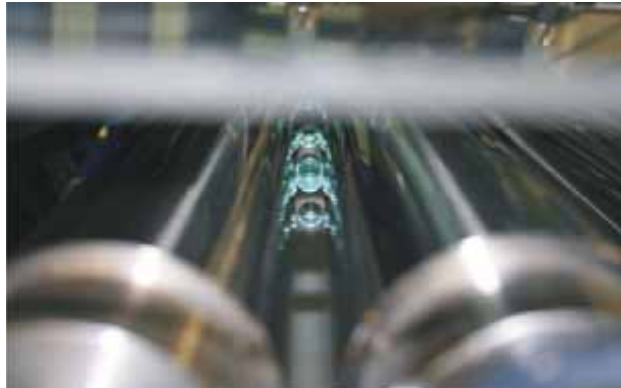
# Einführung

## Warum beschäftigen wir uns mit Glaskugeln für den Brunnenbau?

- Die Bemessung basiert auf einem Schüttkörper aus gleich großen Kugeln mit einer mittleren Lagerungsdichte (z. B. bei NAHRGANG in den achtziger Jahren publiziert)
- In den USA und in der DDR wurde in den sechziger und siebziger Jahren mit Keramik- und Glaskugeln in Bohrungen experimentiert. Die damaligen Versuche wurden meist aus Kostengründen in der Praxis nicht weiter verfolgt
- Seit der Novellierung der DIN 4924 wurden in der Praxis immer mehr Kiese verwendet, die zur Unterkornbildung neigen.



# Mechanische und chemische Eigenschaften von Glaskugeln und Filterkies



Größe

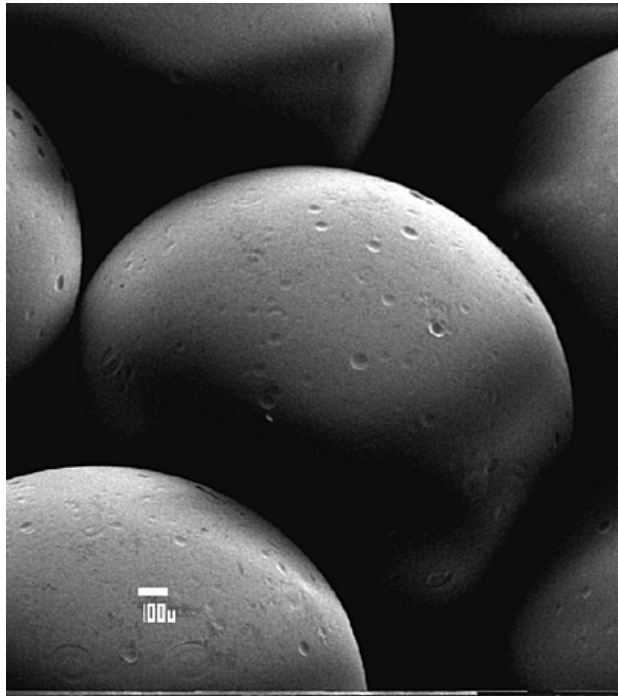


Rundheit



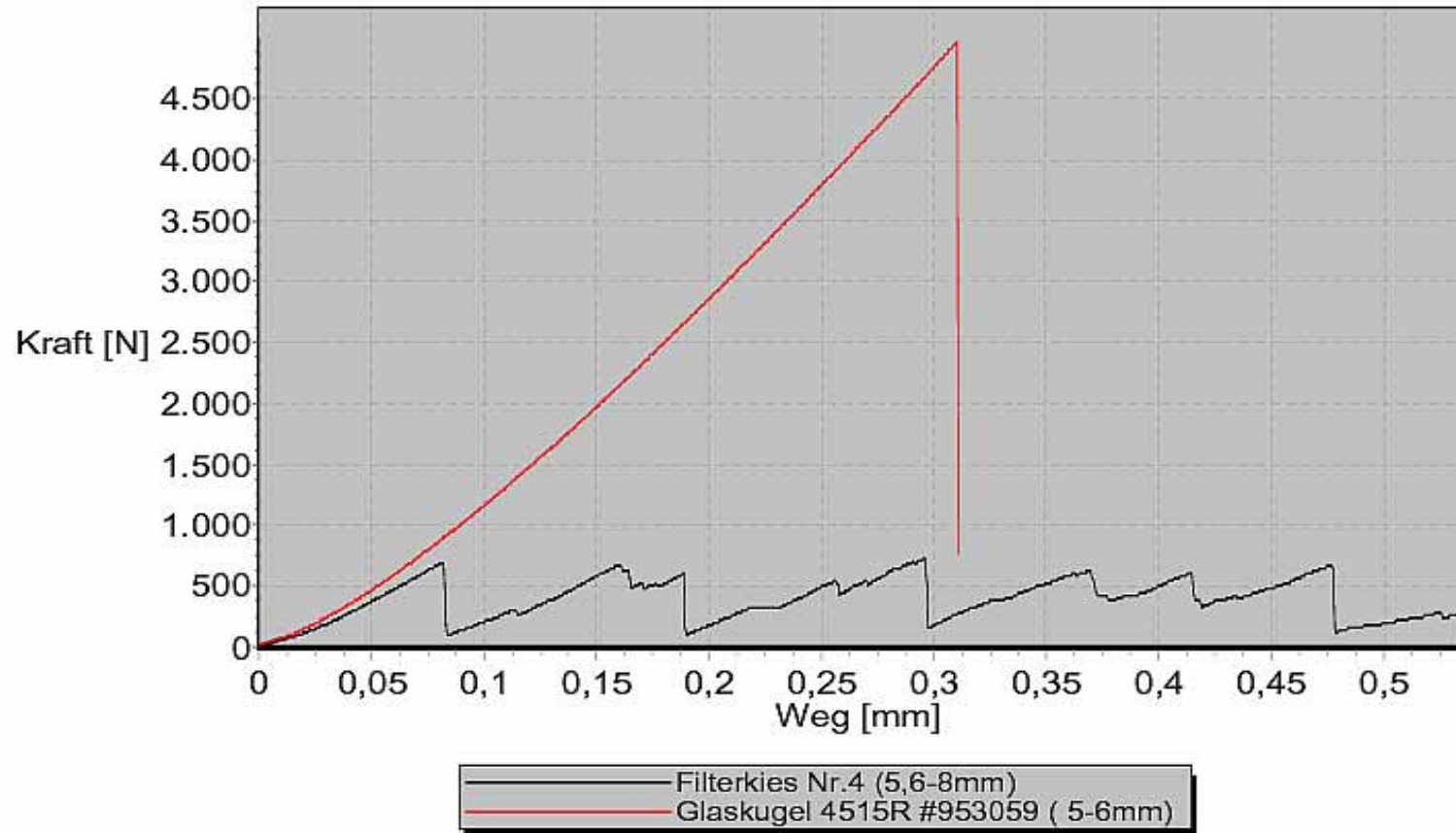
Fotos: Fa. SiLi

# Untersuchungen zu mechanischen Eigenschaften und der Oberflächeneigenschaften

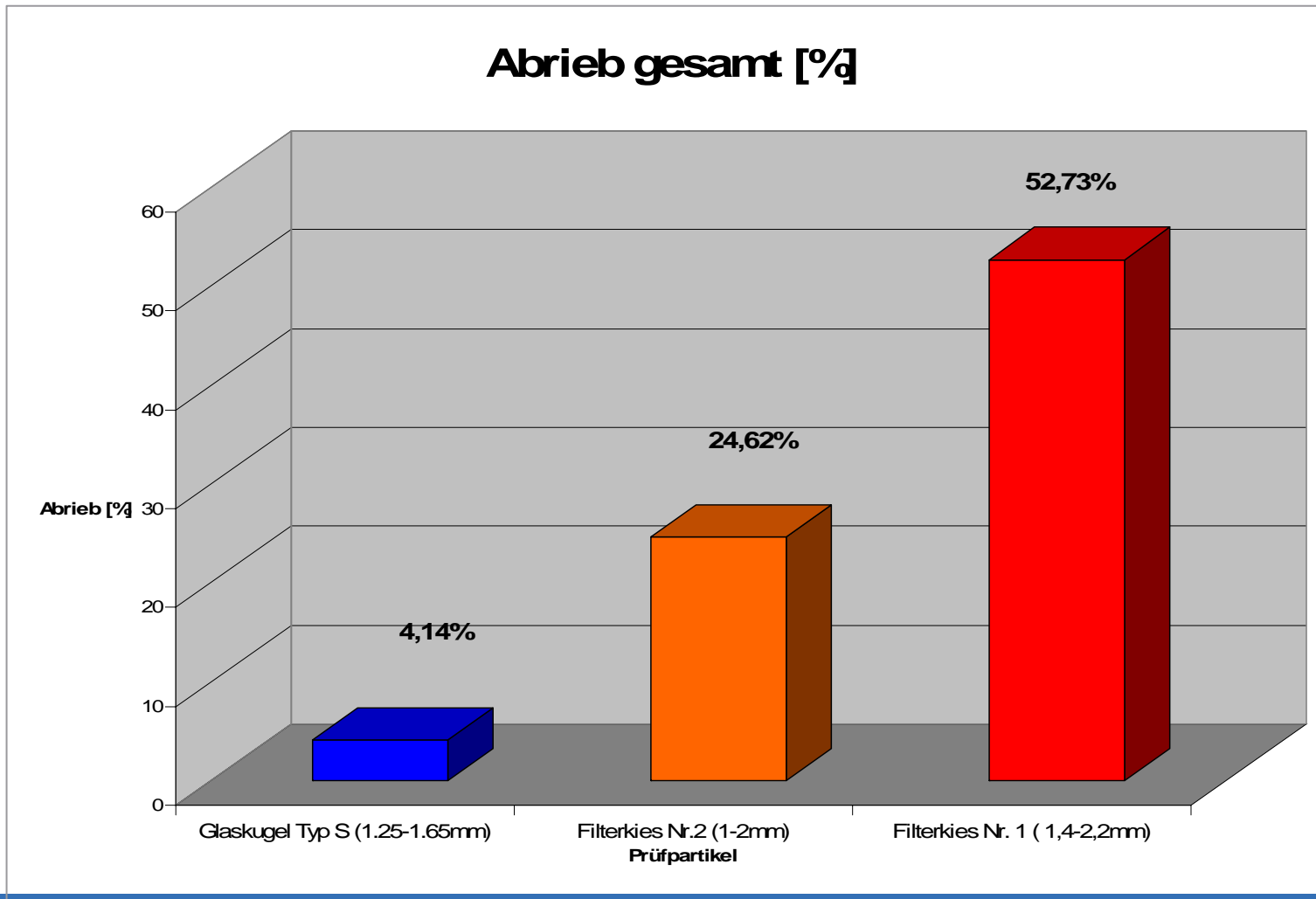


# Bruchverhalten von Glaskugeln und Filterkies

Vergleich Bruchcharakteristik Filterkies Nr.4 (5,6-8mm) / Glaskugel 4515R(5 - 6mm)



# Anlagerung und Abrieb als „Verstärker“ der Brunneninkrustationen



# Anlagerungsversuche mit Eisenhydroxiden



## Anlagerungsversuche:

In der Gesamtmassenbilanz wurden  
im Verlauf des Versuchs  
ca. 600  $\mu\text{mol Fe/Säule}$  bei den Glaskugeln  
und  
ca. 850  $\mu\text{mol Fe/Säule}$  festgestellt.

# Entwicklung der Ablagerungen in Glaskugelbrunnen



# Beständigkeit gegen chemische Regeneriermittel

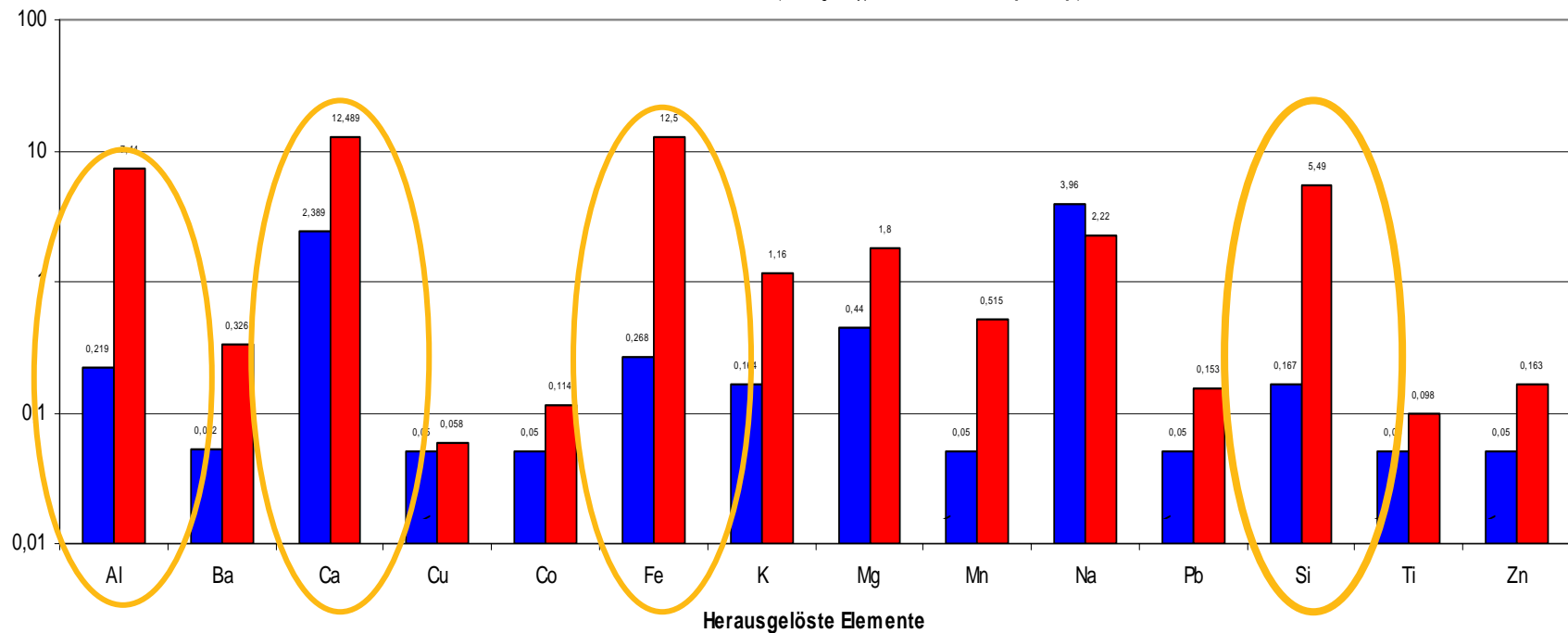
Standardsäure pH=1

## Übersicht Beständigkeit gegen Regeneriermittel

Lösung B (4/4)

(Glaskugeln Typ M 12mm/Filterkies Nr.5 [8-12mm] )

Herausgelöste Elemente mg/kg]



Herausgelöste Elemente

■ Pr.Nr.5 Glaskugeln "M" 12mm ■ Pr.Nr.6 Filterkies Nr.5 ( 8-12mm)

# Bisherige Erkenntnisse zu den mechanischen und chemischen Eigenschaften

- Glaskugeln unterscheiden sich von den Filterkiesen in den bisher durchgeführten Materialtests in allen untersuchten materialtechnischen Kenngrößen.
- Gesteuert werden diese Unterschiede einerseits durch die Festigkeitsunterschiede amorpher (Glas) und kristalliner (Kieskorn) Strukturen und andererseits durch das Vorhandensein von Oberflächenspannungen und Anisotropien im Materialaufbau.
- Daneben spielen die stofflichen Eigenschaften erwartungsgemäß eine Rolle bei der Exposition der Materialien gegenüber Chemikalien.

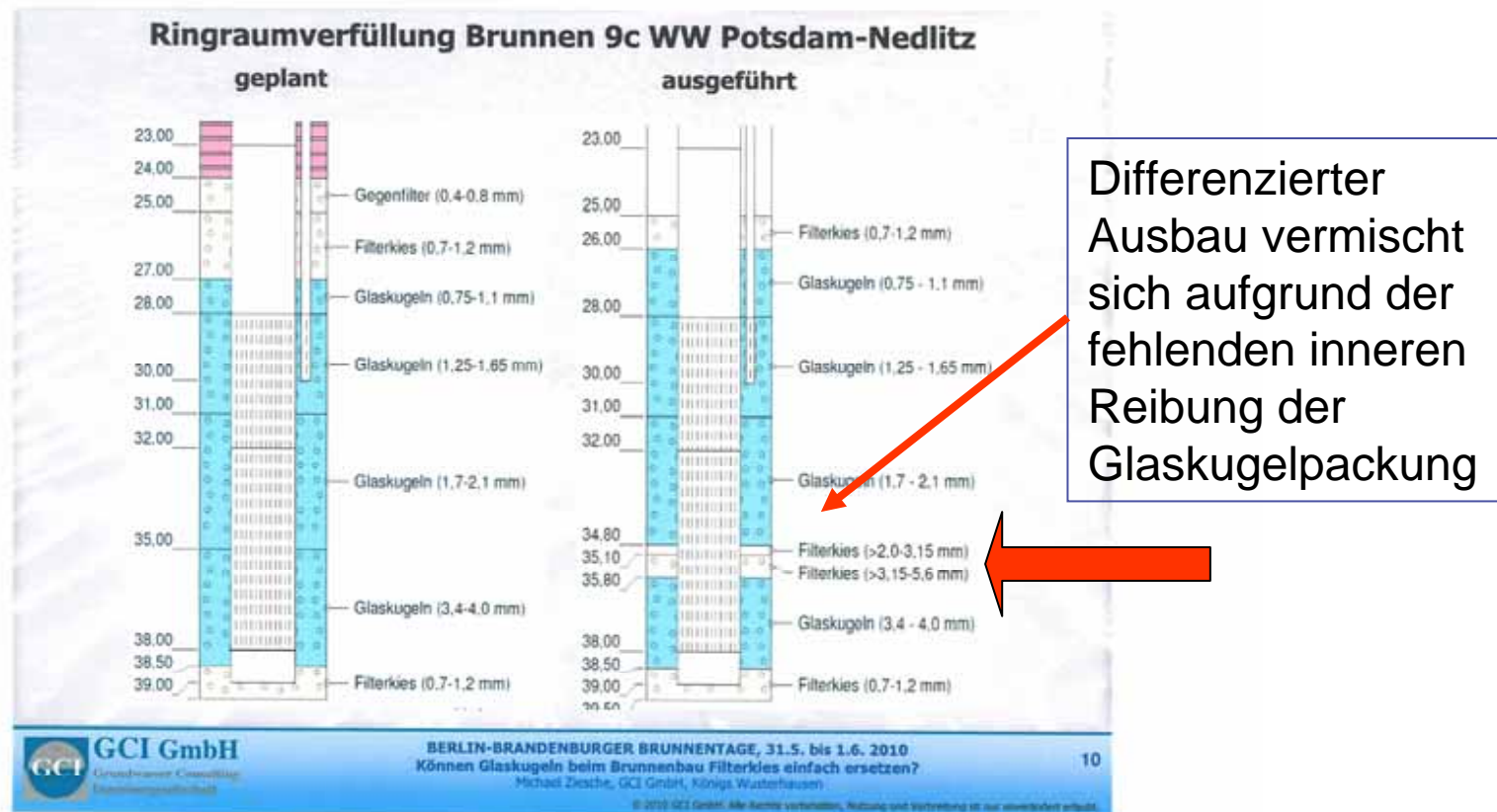
# Praxisberichte zum Einsatz von Glaskugel: Können sich Glaskugeln mit dem Gebirgsmaterial vermischen?



## Geophysikalische Untersuchung und Videokontrolle der Ringraumschüttung nach der Brunnenentwicklung



# Differenzierter Ausbau Glaskugel – Filterkies als Ursache dieses Befundes



# Porositäten, Setzungsverhalten und Durchlässigkeit



# Versuchsanordnung Porositätsbestimmung



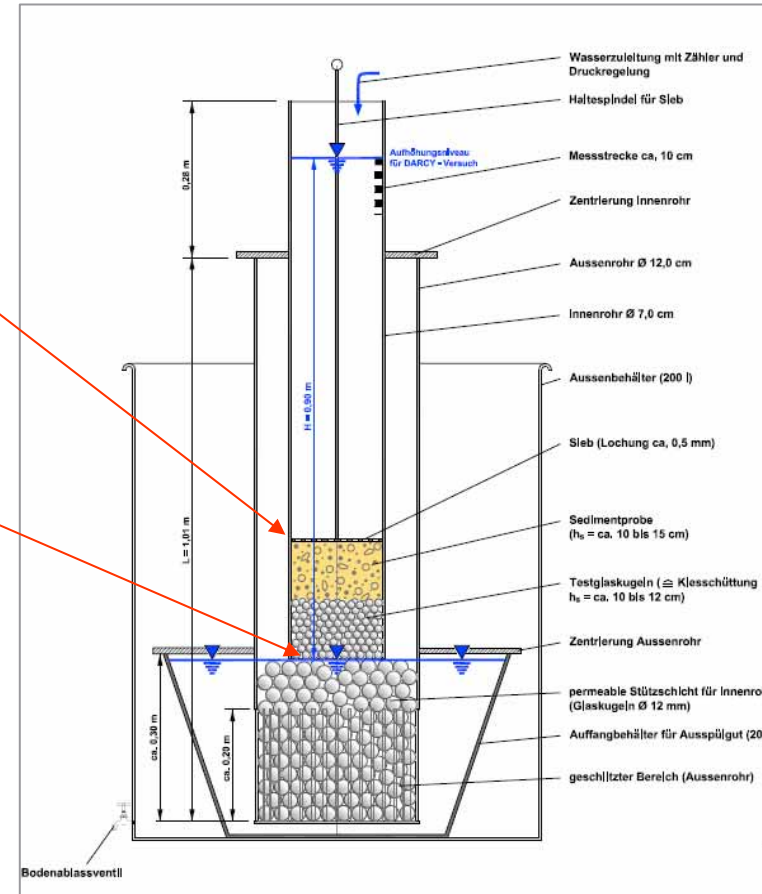
# Versuchsanordnung Setzungsverhalten



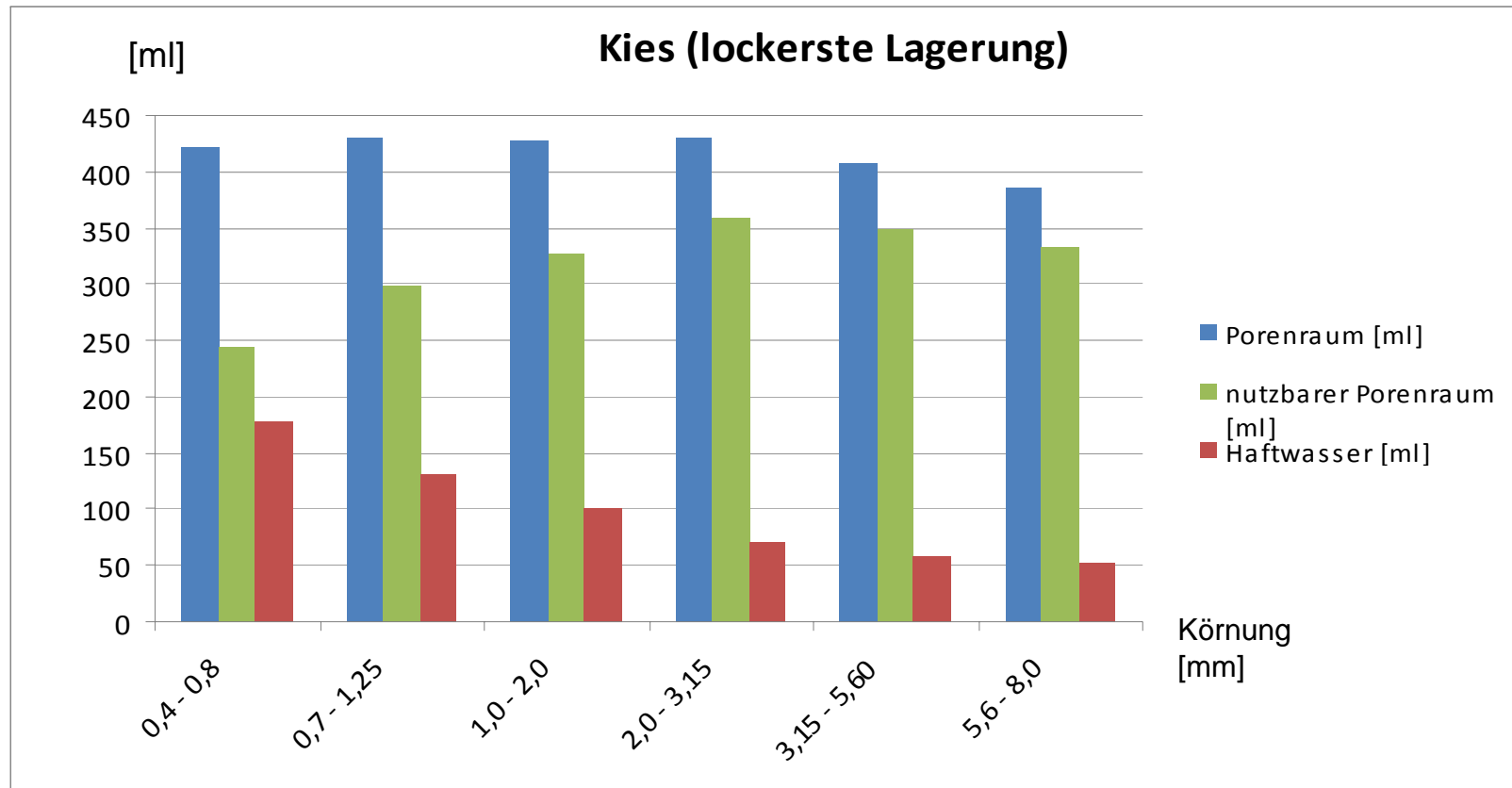
# Versuchsanordnung Durchlässigkeit des Schüttkörpers



# Versuchsanordnung Systemdurchlässigkeit des Schüttkörpers und angrenzenden Bodenmaterials

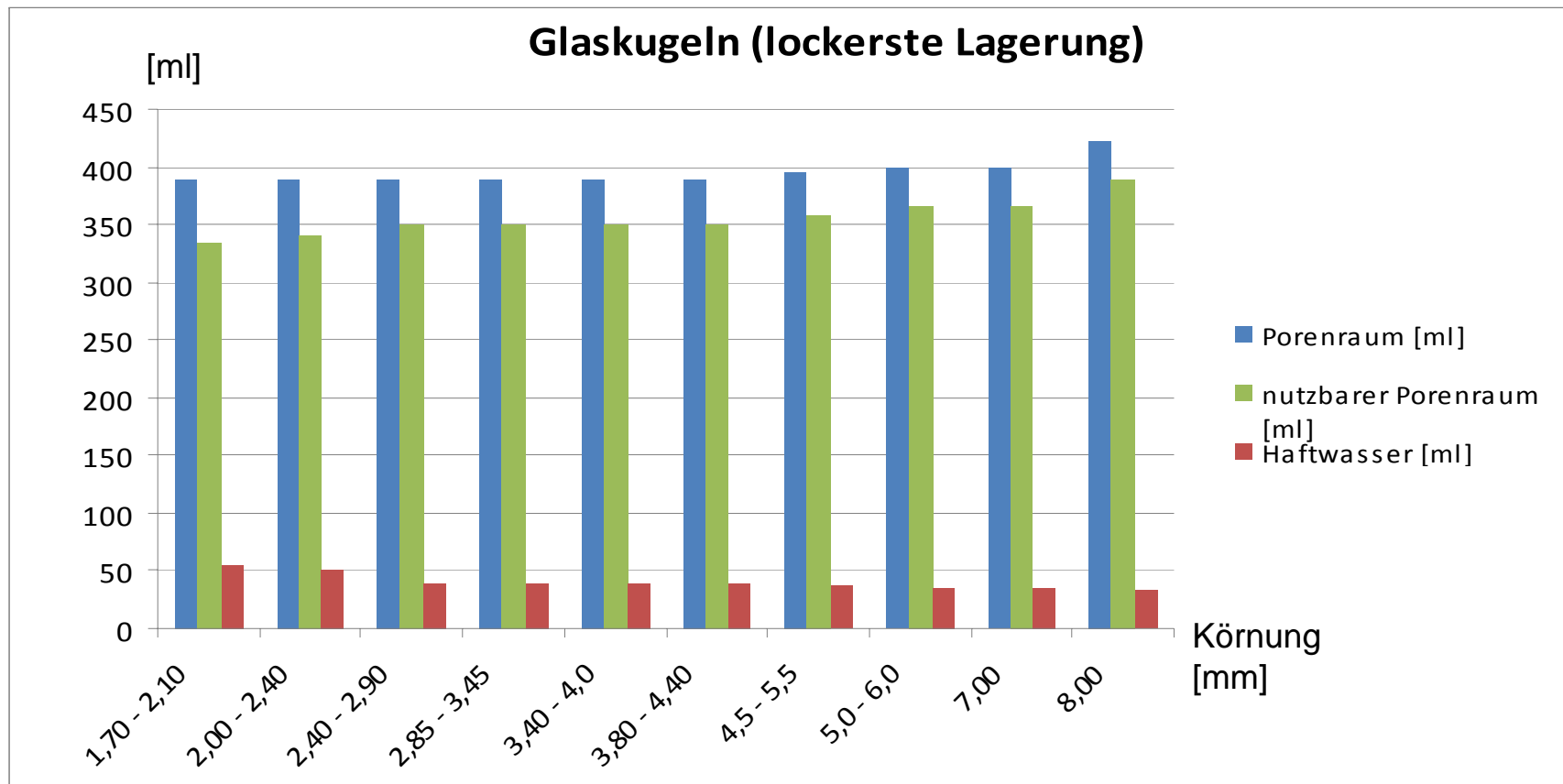


# Erste Ergebnisse Porositäten Kies



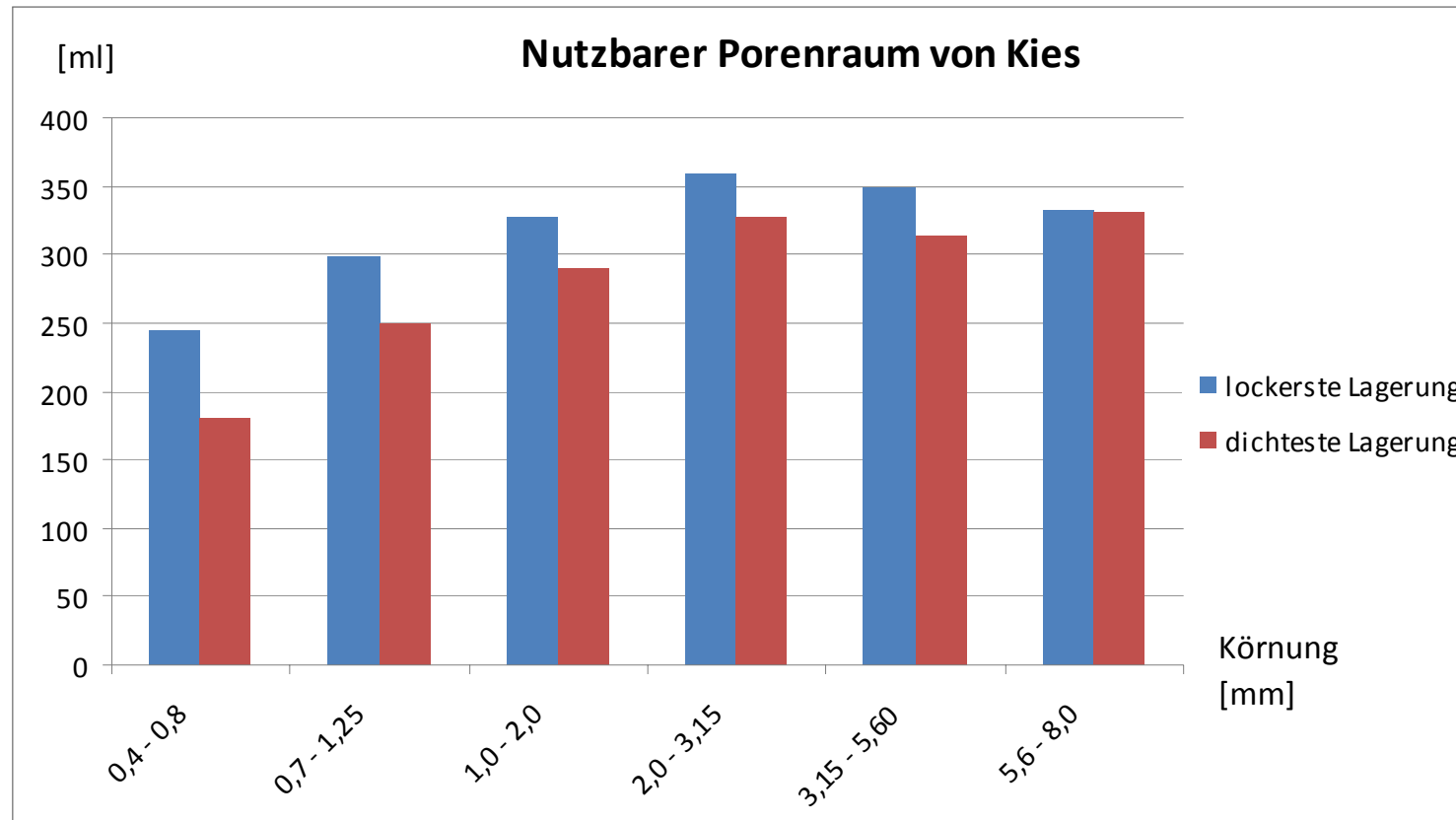
# Erste Ergebnisse

## Porositäten Glaskugeln



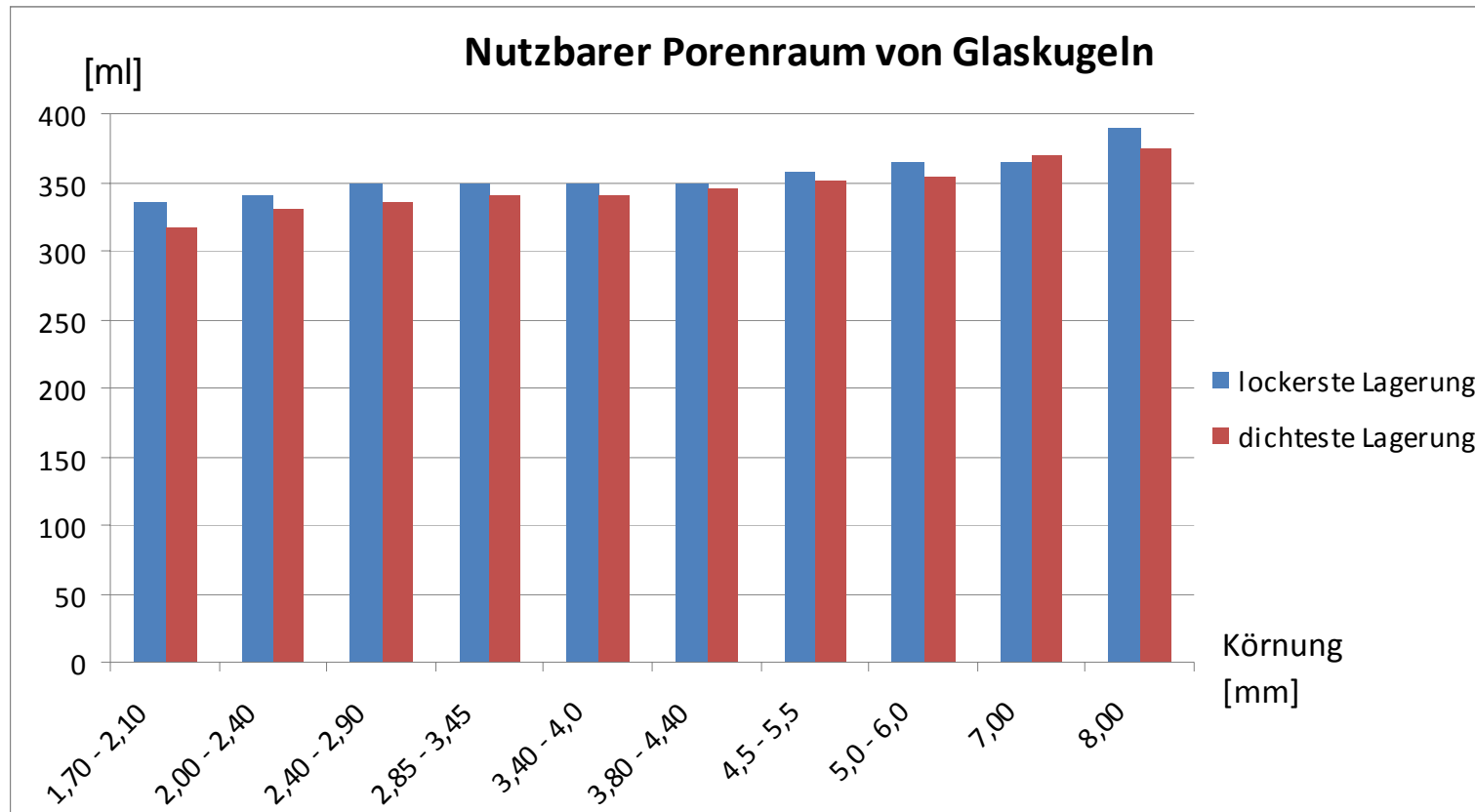
# Erste Ergebnisse

## Nutzbare Porosität Kies



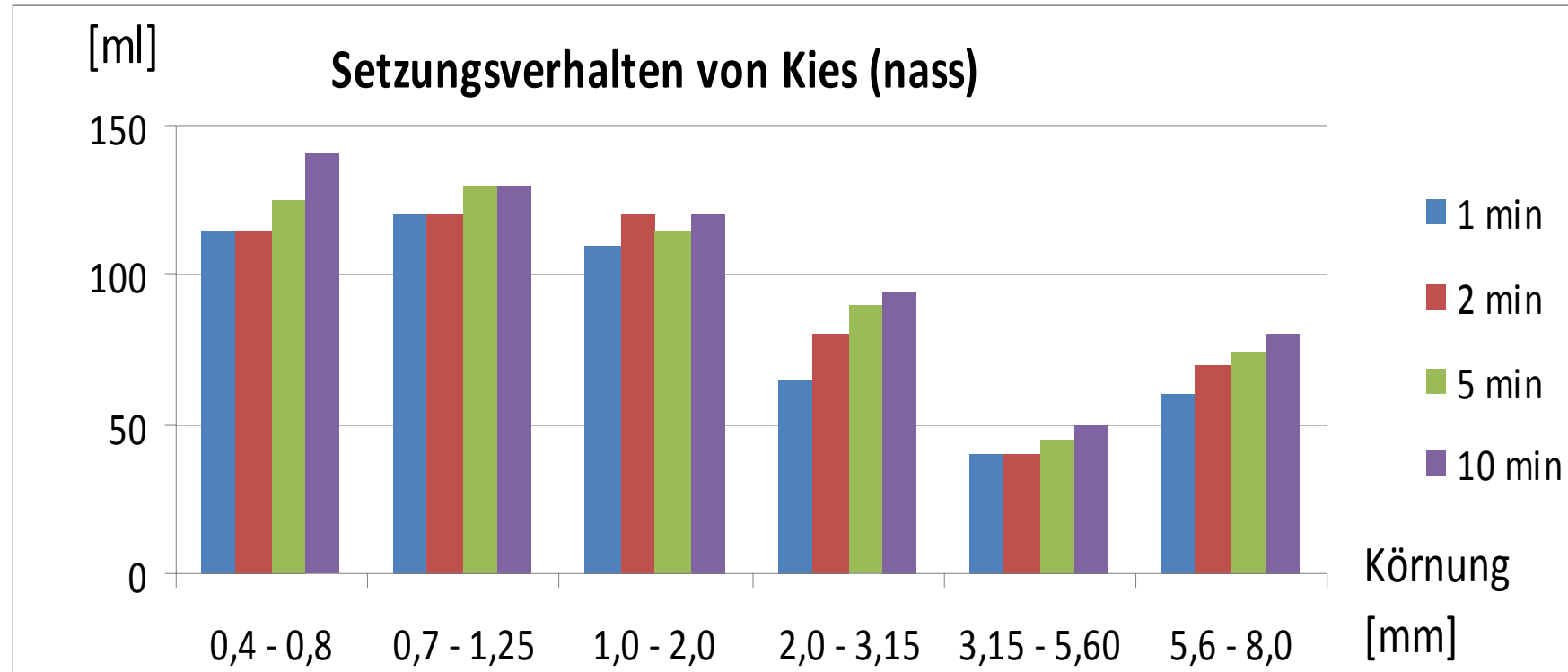
# Erste Ergebnisse

## Nutzbare Porosität Glaskugeln



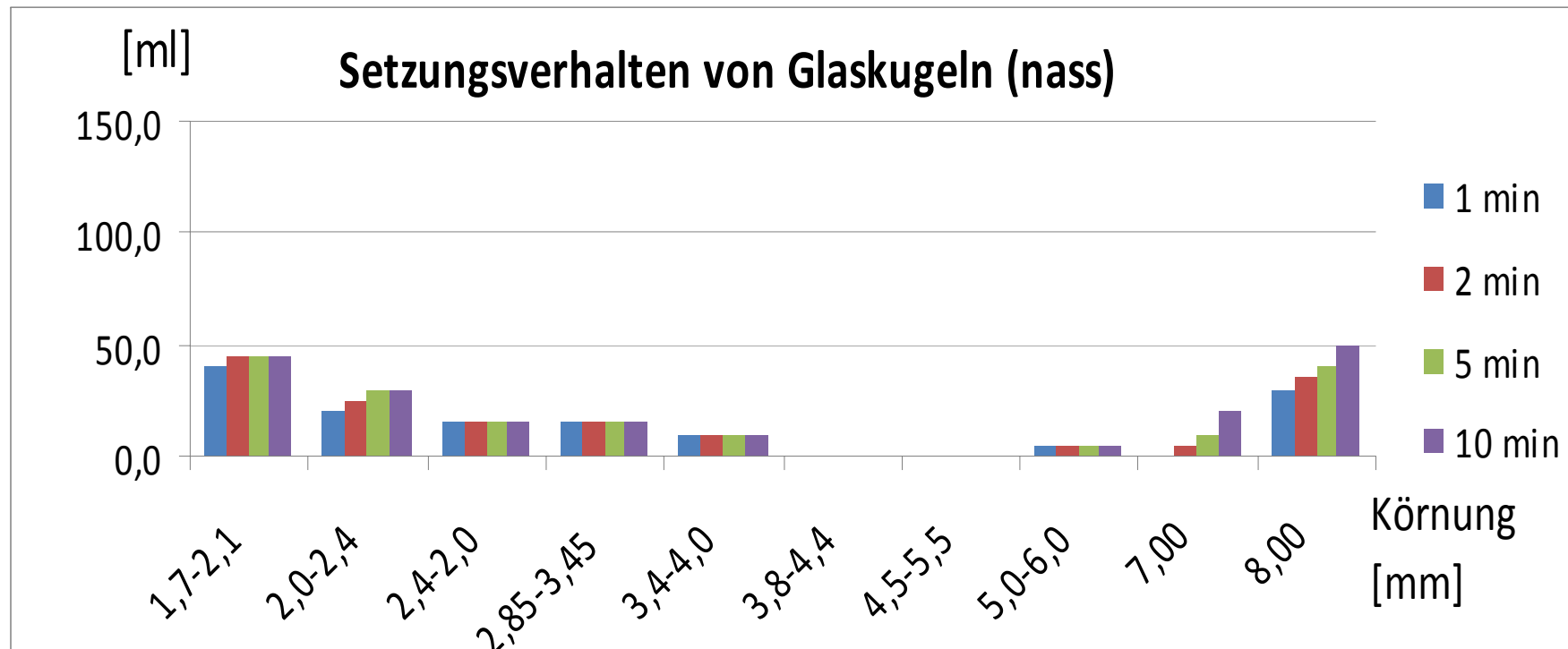
# Erste Ergebnisse

## Setzungsverhalten Kies



# Erste Ergebnisse

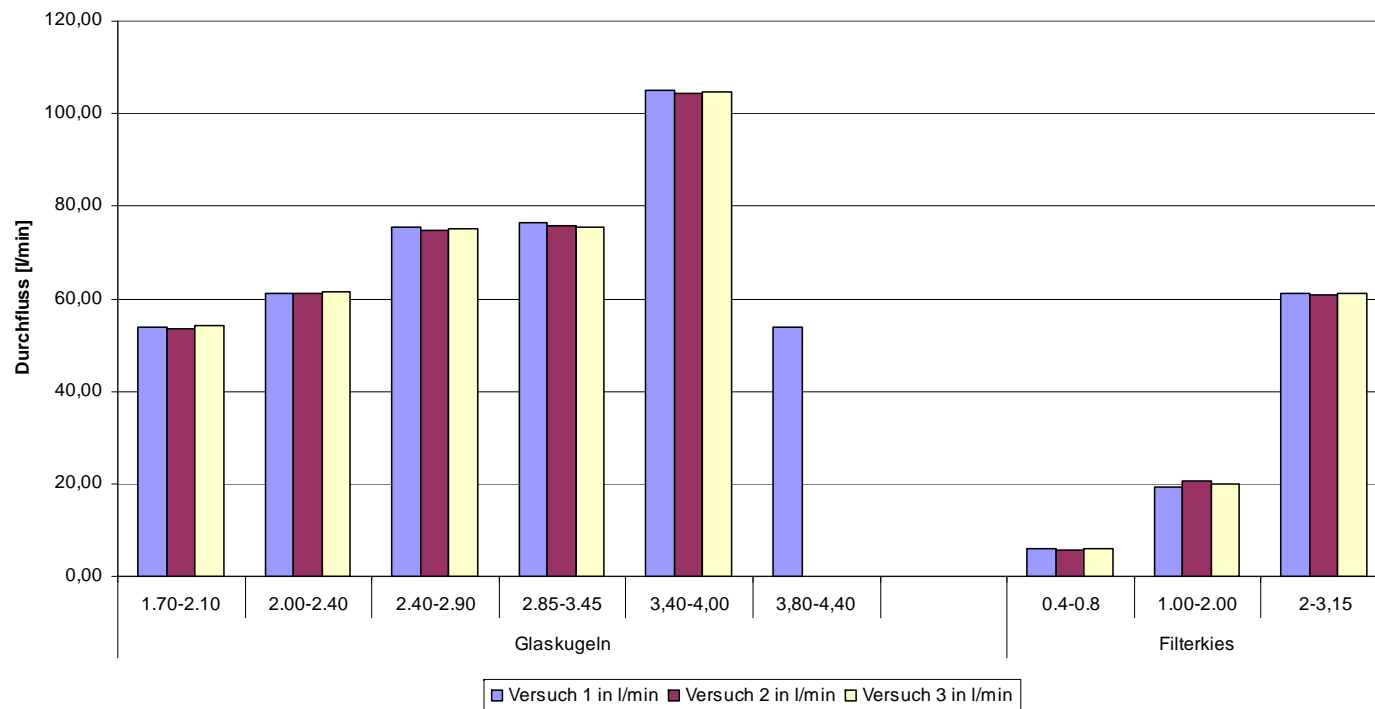
## Setzungsverhalten Glaskugeln



# Erste Ergebnisse

## Durchflussrate im Schüttkörper

### Durchflussbestimmungen



# Schlussfolgerungen

- Für die Brunnenbaupraxis lässt sich ableiten, dass **Filterkiese** im Vergleich zu Monokornschüttungen aus runden Glaskugeln beim Einbau in den Brunnen **höhere Setzungsmaße** erwarten lassen.
- Für den Brunnenbetrieb und die Entsandung sowie die Regenerierung sind **stabile Ringraumschüttungen wichtig**, um eine dynamische Belastung der Ausbauten zu vermeiden, die z.B. durch kollabierende Kornbrücken oder spontane Setzungen lockerer Haufwerkgefüge entstehen können.
- Daher sind bei allen Schüttmaterialien unabhängig vom Material ein begleitendes Kolben bzw. Setzungspumpen und der Einsatz von Schüttrohren zwingend erforderlich, um die möglichst stabile Lagerung im Ringraum vor Aufbringen der Abdichtungen zu erreichen.
- **Glaskugeln** sind, ein ordnungsgemäßer Einbau mittels Schüttrohren und in ausreichender Schüttungsstärke vorausgesetzt, im **Ringraum stabil einbaubar und lassen nur geringe Setzungen erwarten**.
- Vermischungen mit dem Gebirge und Entmischungen sind **nicht** zu erwarten, sofern Monokugelpackung verwendet werden und kein differenzierter Ausbau vorgenommen wird.
- **Die aus der Praxis berichteten Probleme beim Schütten und Entwickeln von Glaskugeln sind bei einer Verwendung von Monokorngemischen und der Einbauhilfe analog zu den Filterkiesen zu beherrschen**. Dabei sind bei tieferen Brunnen der Nachfall und der Spülsaustausch besonders zu beachten.

# Zusammenfassung

- Glaskugeln verhalten sich wie eine Flüssigkeit und bilden aufgrund der sehr geringen inneren Reibung keine Schüttkegel.
- Die **Verwendung von gemischten Glaskugelschüttungen ist grundsätzlich nicht zu empfehlen**, da sich die Fraktionen beim Schütten und Entsandem entmischen und bei der Entwicklung zu Instabilitäten im Ringraum führen. Ebenso sollten zweifache Kiesschüttungen aus Glaskugeln aus den gleichen Gründen nicht eingebaut werden.
- Bisherige Erfahrungen zeigen, dass der **Filterfaktor 7** nicht zu Sanddurchbrüchen in kiesig-sandigen Grundwasserleitern geführt hat
- Derzeit in der Erforschung ist die Bestimmung des **maximal möglichen Filterfaktors** bei der Glaskugelschüttungsbemessung in ungleichförmigen und gleichförmigen Sedimenten (Versuchsstand und Bohrungen im Bau-ABC-Rostrup)
- Im Vergleich zum Filterkies sind Glaskugeln als Monokorngemische **hydraulisch günstiger** (Nutzporosität, Setzungsverhalten, Durchflussrate im Schüttkörper).
- Es konnte bisher gezeigt werden, dass die Heterogenität der Gesteinsproben einen größeren Einfluss auf die zu erreichende **Systemdurchlässigkeit** nach der Auswaschung haben als die Beschaffenheit und Korngröße der Schüttgüter selbst.
- Größere Schüttungen aus Filterkies sind bei gemischtkörnigen Lockersedimenten mit Glaskugelpackungen **hinsichtlich der zu erreichenden Systemdurchlässigkeiten** vergleichbar.
- Glaskugeln zeigen gegenüber Filterkiesen **geringer Anlagerungsneigungen** bei Eisenhydroxiden. Sie sind mechanisch beständig und auch bei chemischen Regenerierungen **chemisch und mechanisch stabil**.

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Mit herzlichem Dank an:

Fa. Sili, Fa. Ochs, Bau-ABC  
Rostrup, Lara Tholen und alle  
Projektbeteiligten

