

# Schluckbrunnen



B. Willis-Jones and I. Brandes de Roos

von  
Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis

# Warum muss Grundwasser angereichert werden?

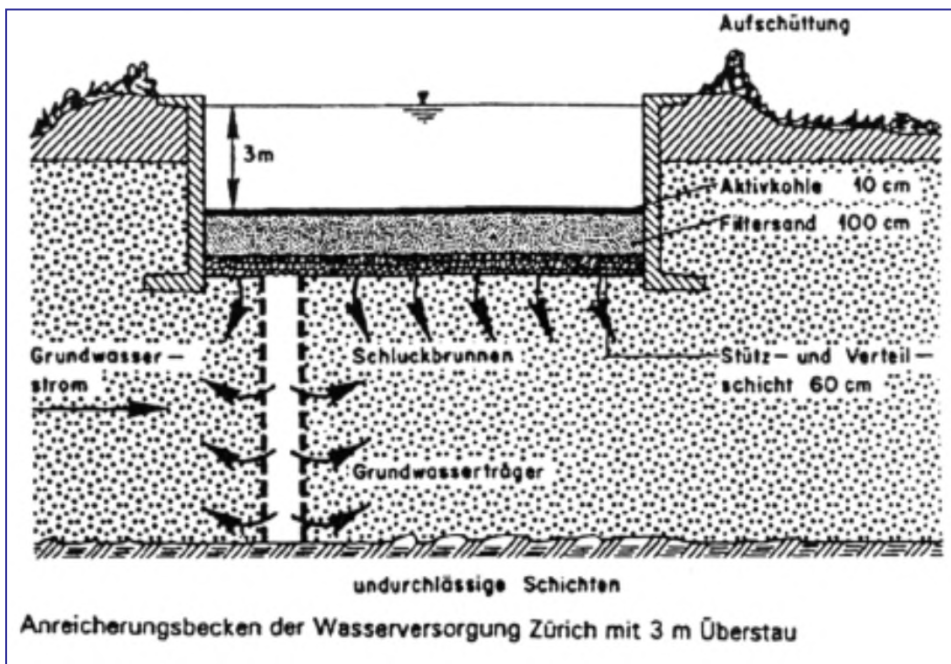
- Steigerung der Entnahme in Gebieten mit begrenztem natürlichen Dargebot (Beispiel: Wasserwerke an der Ruhr oder in Berlin)
- Hebung und/oder Stützung der Grundwasseroberfläche in bergbaubeeinflussten oder ökologisch sensiblen Grundwasserlandschaften (Beispiel am Niederrhein nahe der niederländischen Grenze oder im Hessischen Ried)
- Verhinderung des Zuflusses aus tieferen Schichten (z. B. Aussüßung von Salzwässern in den Poldergebieten an der Nordseeküste)
- Erzeugung einer hydraulischen Sperrwirkung zur Abwehr unerwünschter Grundwässer (Beispiel: WV Zürich im GWW Hardhof)

# Arten von Anlagen zur Grundwasseranreicherung

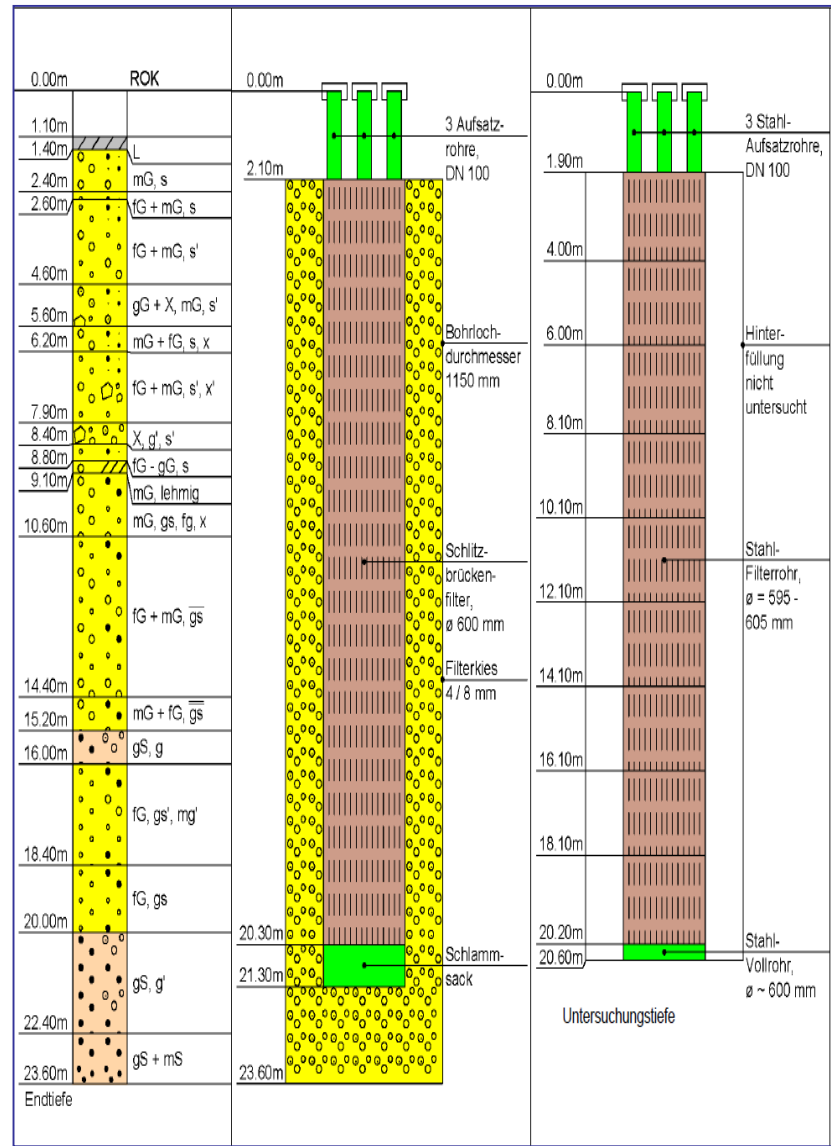
- Anreicherungsbecken (ARB)
- Kombination von ARB und SB (Sonderbauform)
- Sickerschlitzen (SSG)
- Schluckbrunnen (SB)



# Bauformen von Anlagen zur offenen Grundwasseranreicherung



**Kombinierte Schluckbrunnen und Anreicherungsbecken**



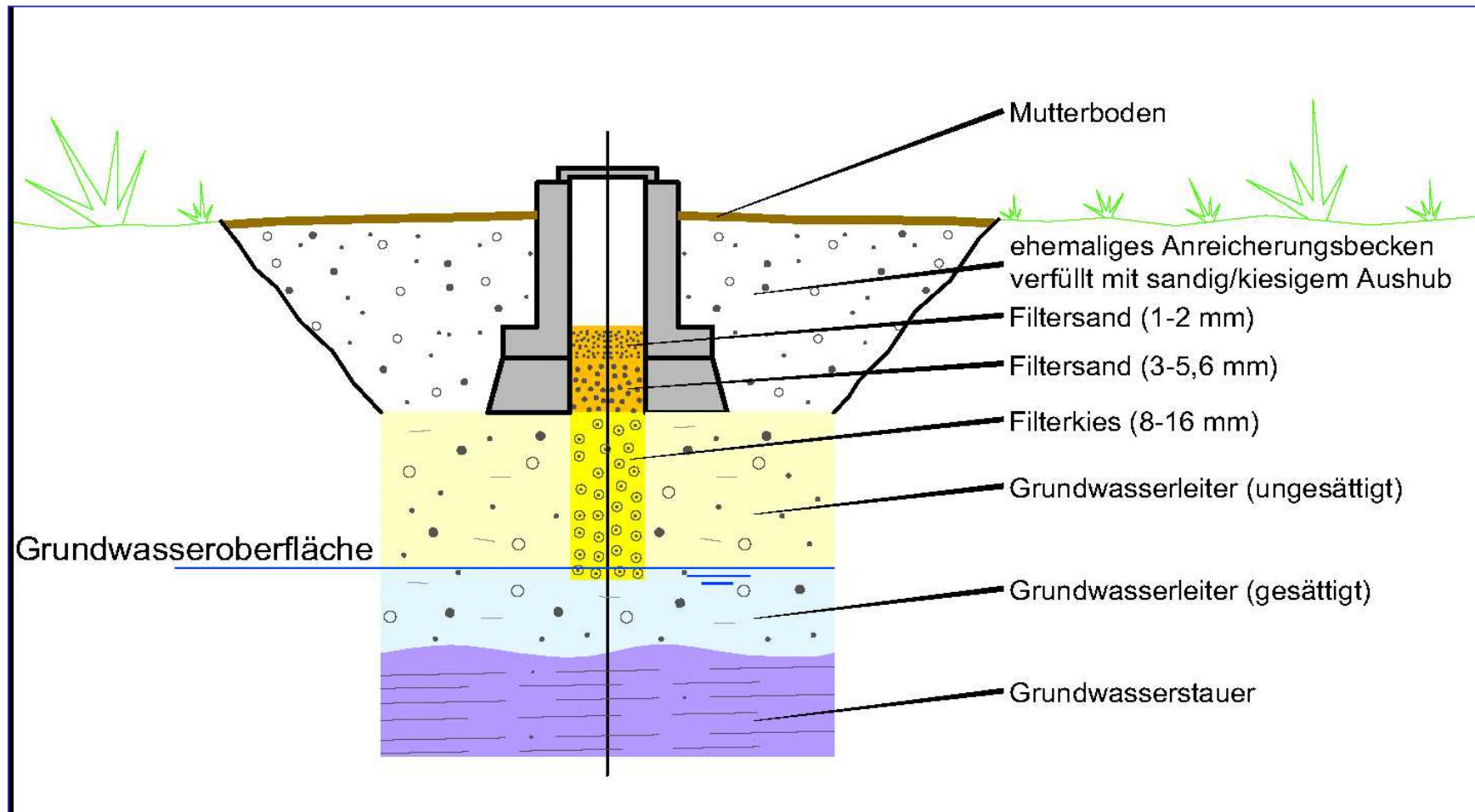


Freigelegter „Kopf“ eines Beckenbrunnens

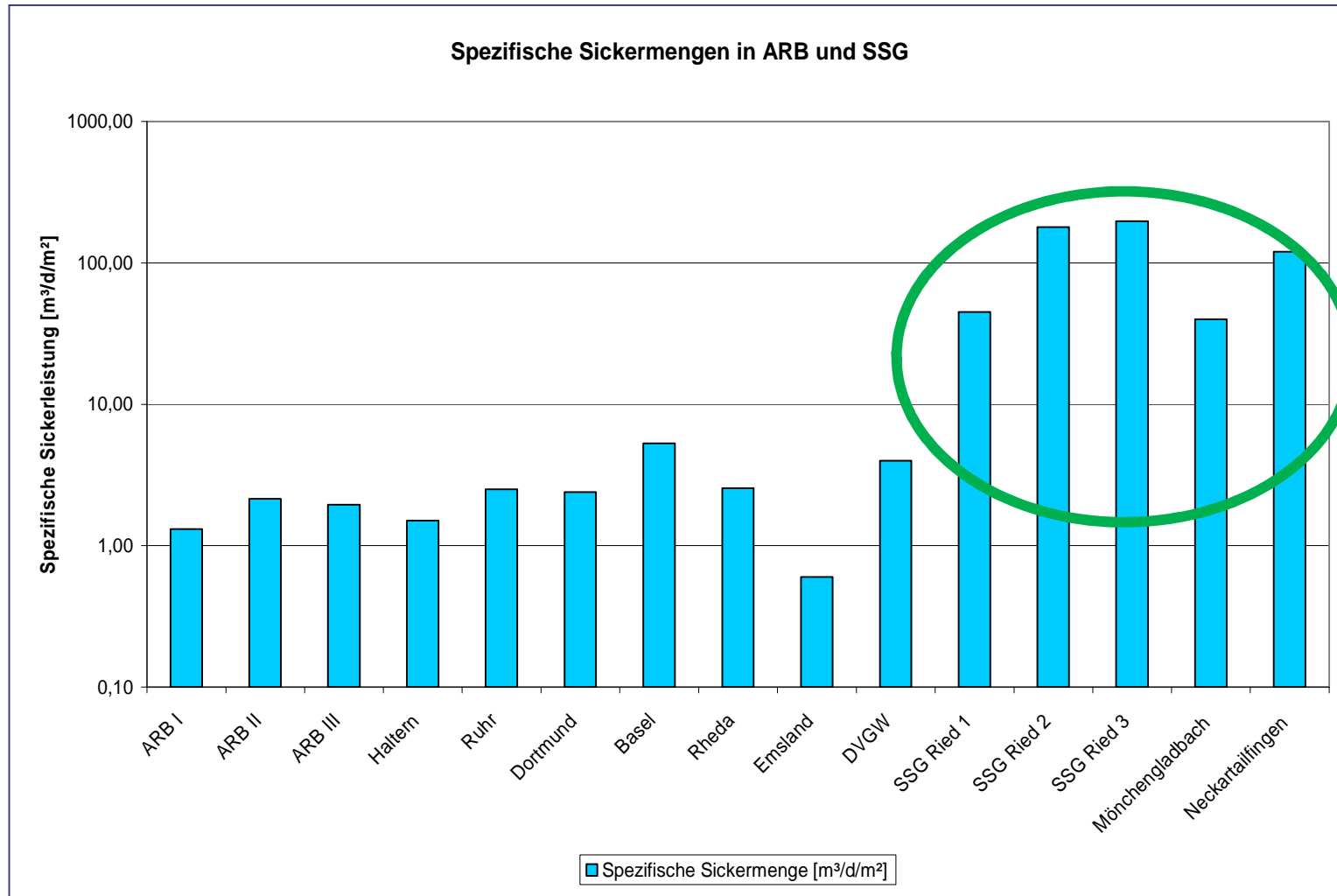
**ARB – typisches Beispiel Neckartailfingen:**  
kurze Standzeiten aufgrund organischer Einträge  
und Kolmationen



# Schema Aufbau abgedeckte SSG

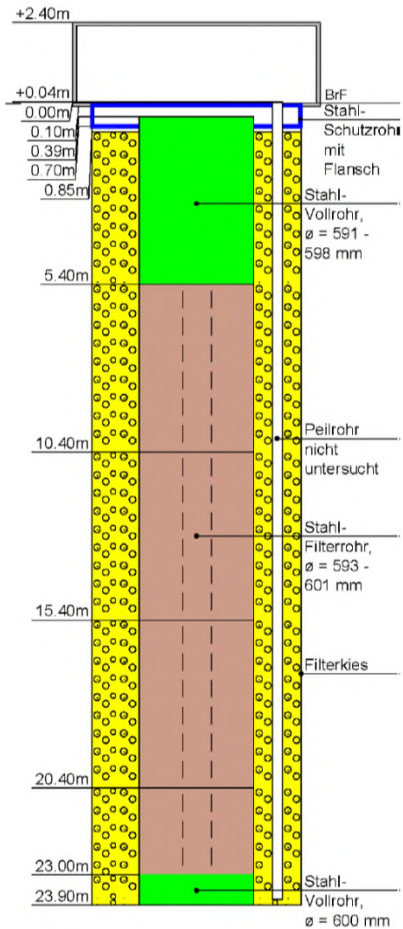


# Vergleich der Leistung von SSG mit ARB





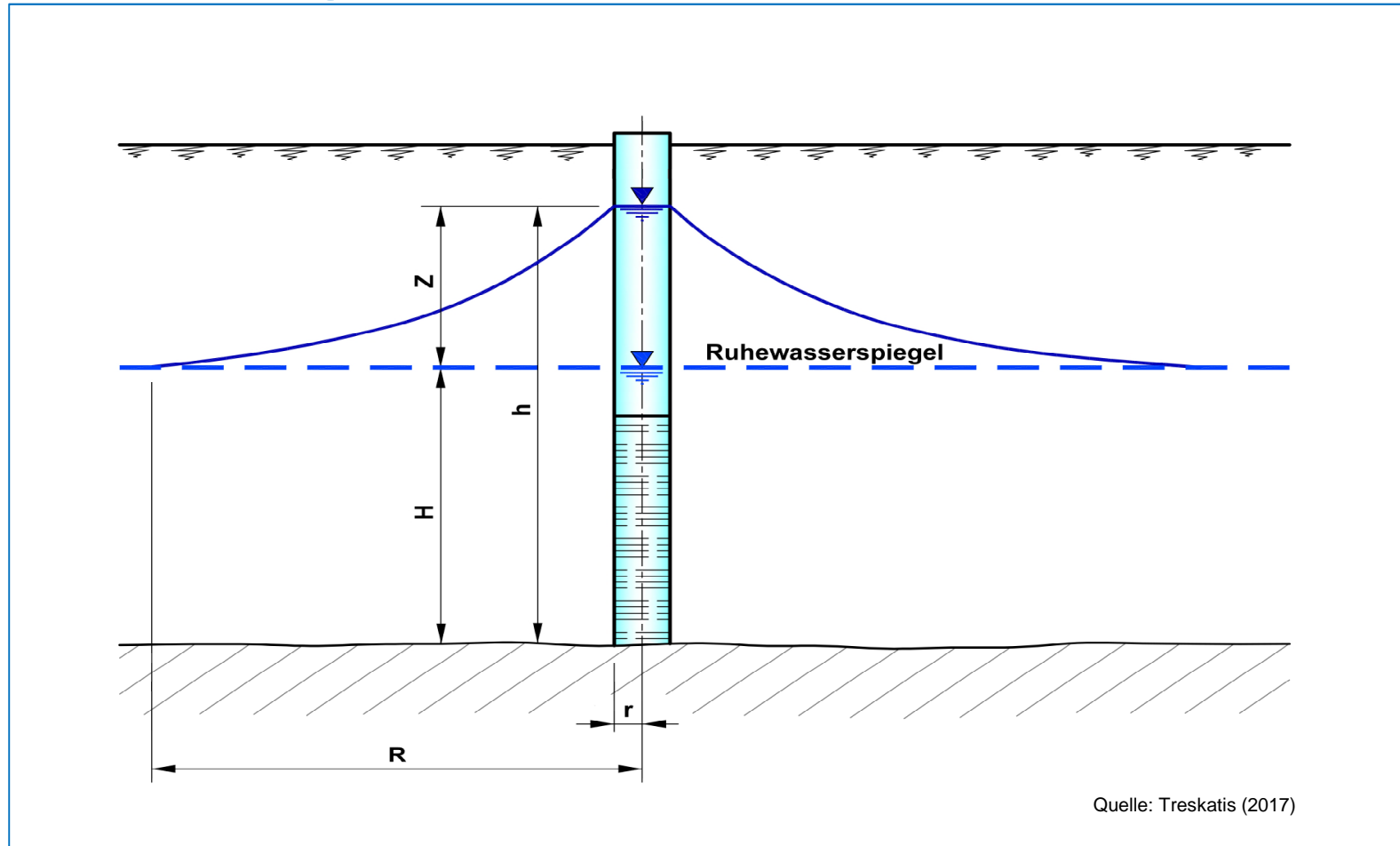
# Typischer Ausbau von „kleinen“ Schluckbrunnen (Wasser-Wasser-Anlage)



# Großkalibriger Schluckbrunnen mit Falleitung oder Druckinfiltration (Schutzwasserbrunnen)



# Vereinfachtes Bemessungsschema für Schluckbrunnen (ungespannter Grundwasserleiter)



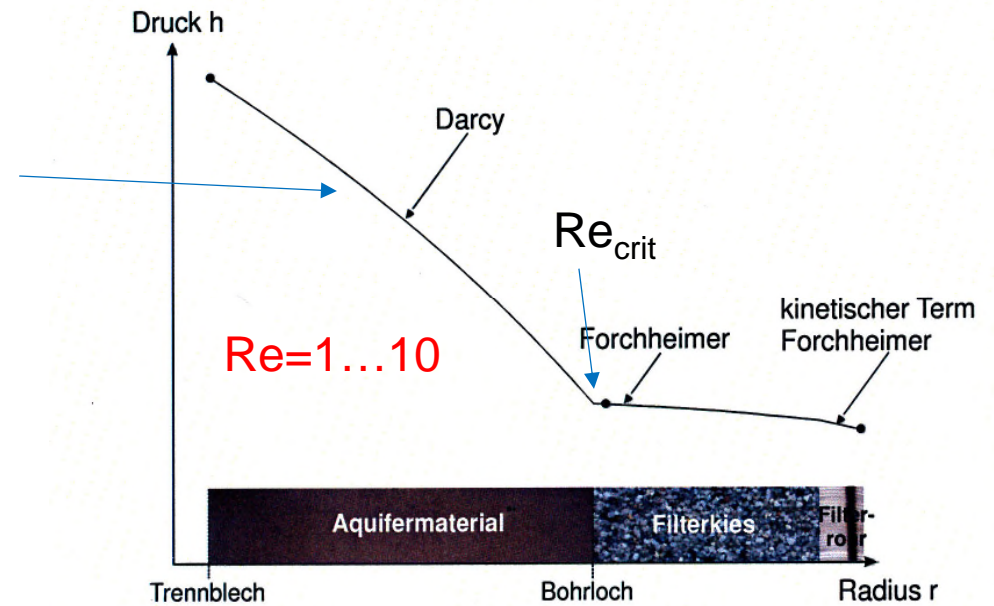
# Hydraulische Bemessung von SB

(Darcy-Formel für Schluckbrunnen)

$$Q_s = \frac{\pi \cdot k_f \cdot (2H \cdot z + z^2)}{\ln R - \ln r}$$

$$Q_s = \frac{2\pi \cdot k_f \cdot m \cdot z}{\ln R - \ln r}$$

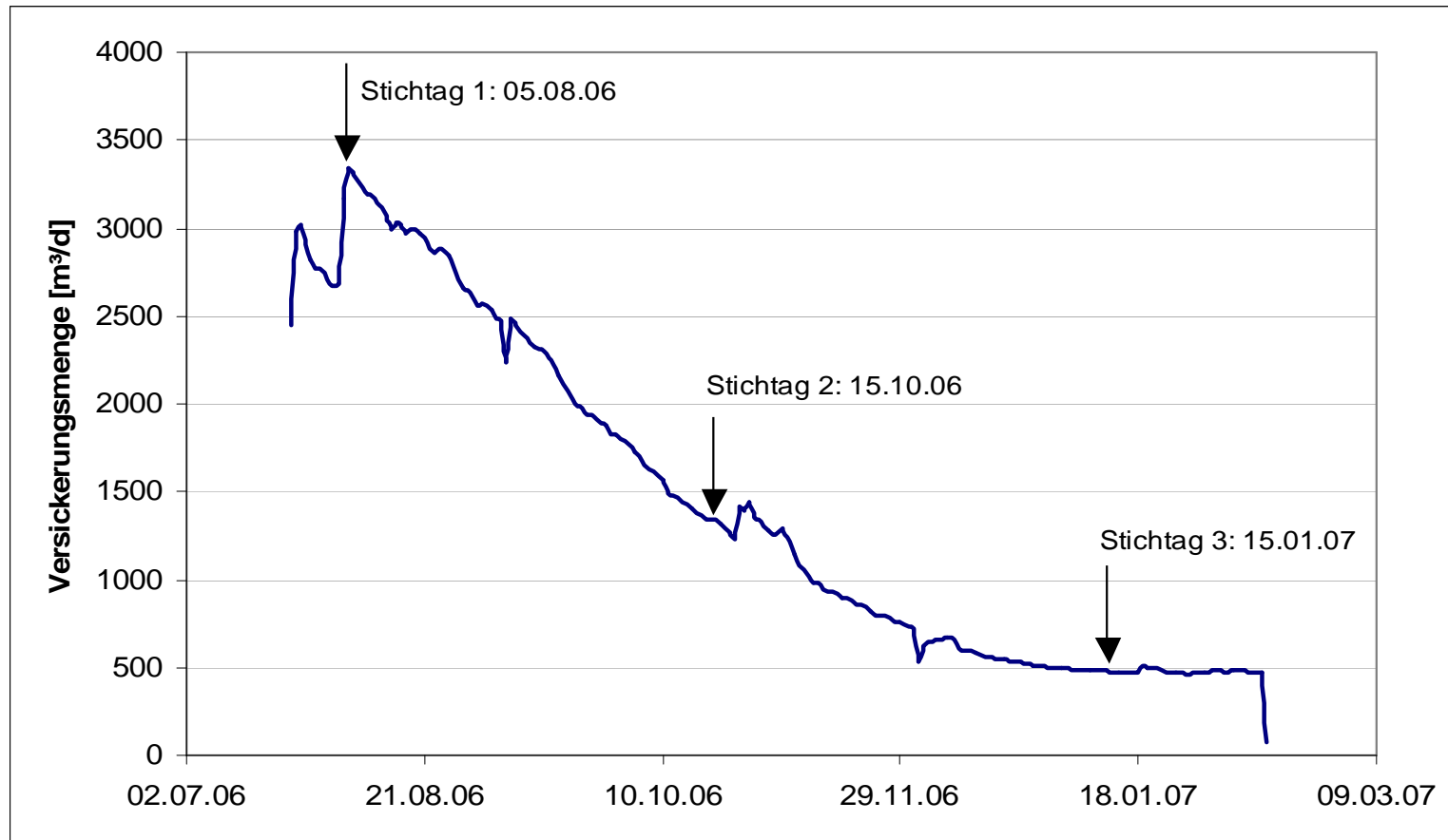
(Schema für Entnahmebrunnen)



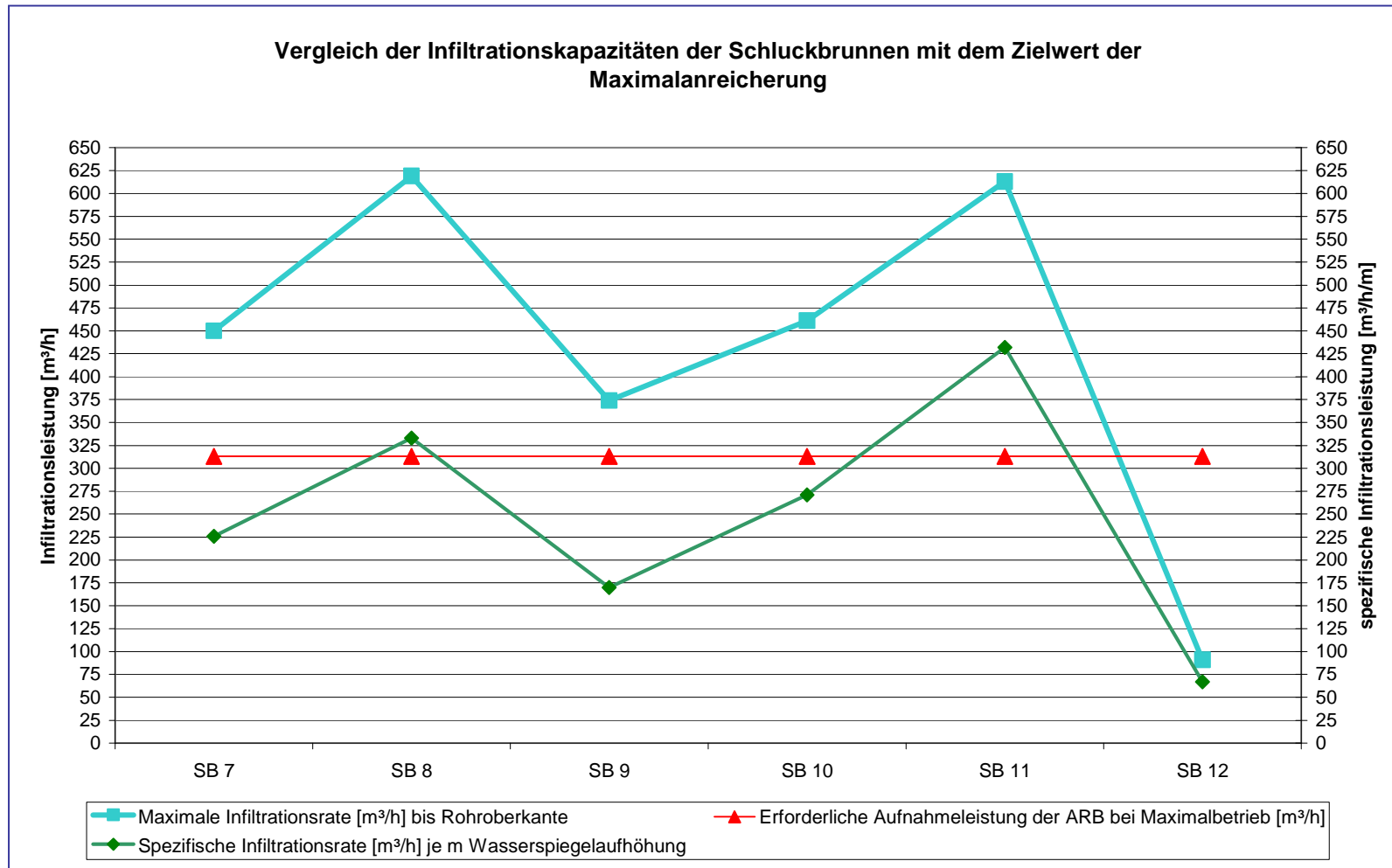
Re=60...150

Re-Bereiche nach Houben (2015)

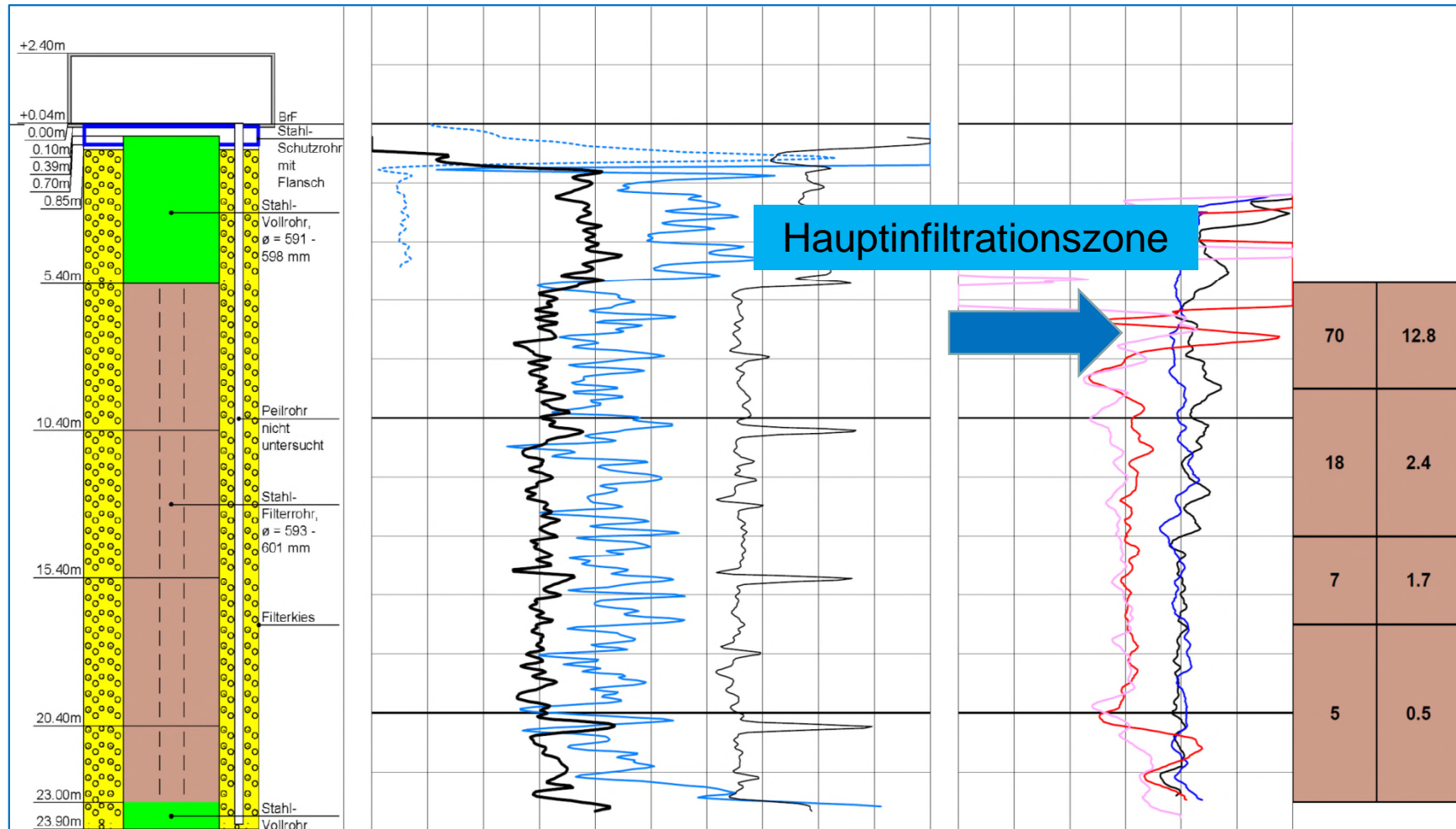
# Typische Abnahme der Infiltrationsleistung in einem SB



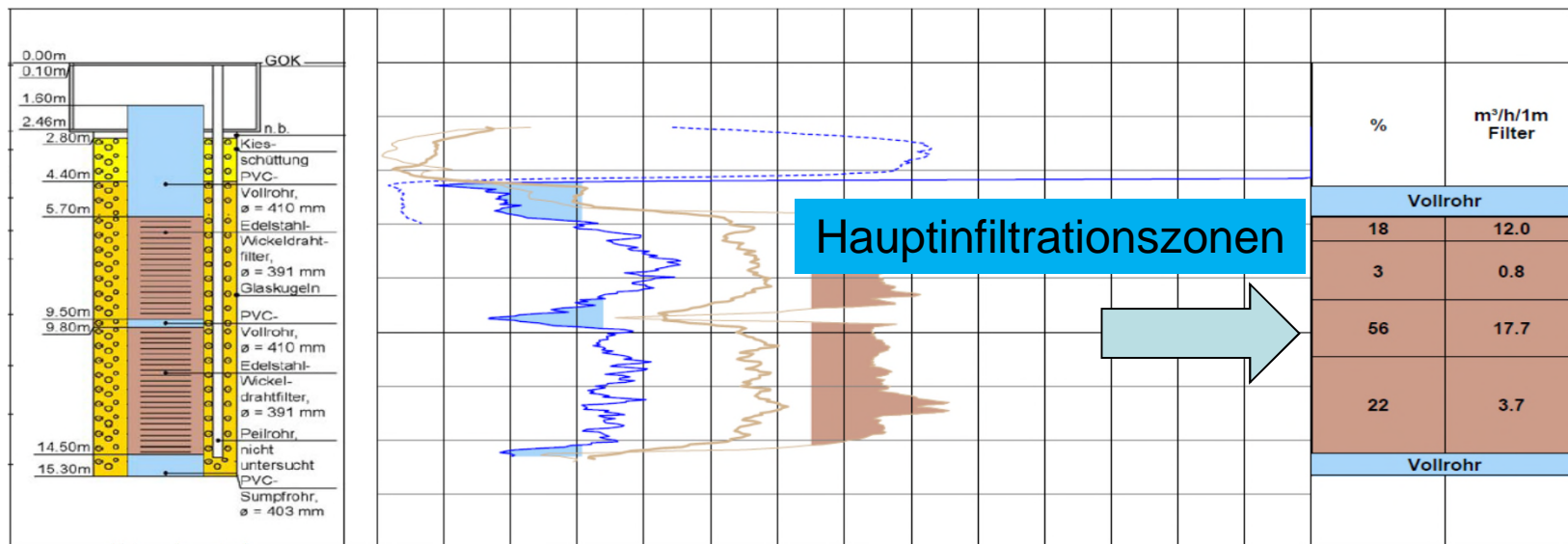
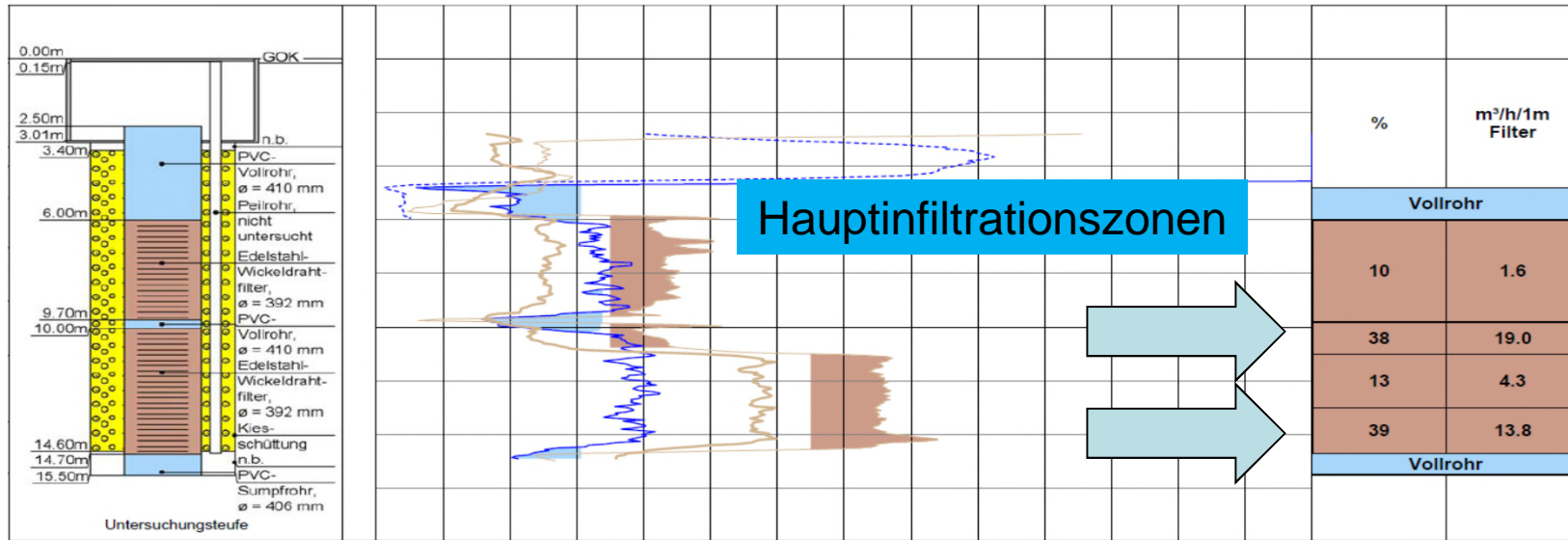
# Warum weichen die Infiltrationsleistung von SB von der Bemessungsmenge ab?



# Anisotropes Infiltrationsprofil



# Infiltrationsprofile (weitere Beispiele)





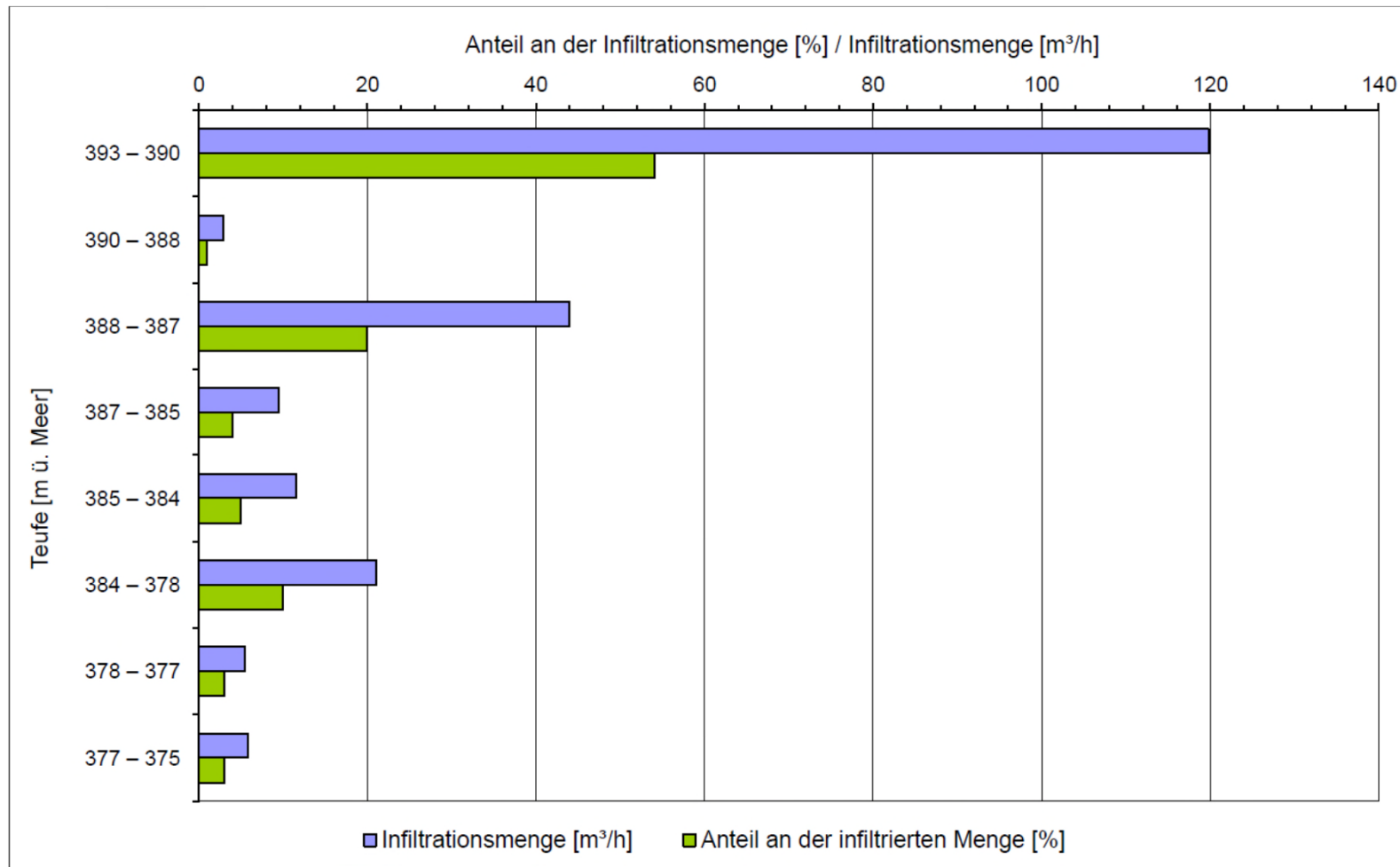
## Warum ist die standörtliche Entnahmeleistung oft geringer als die Infiltrationsleistung?

- Relativ zur Entnahme erhöhte Rohrreibungsverluste in der Falleitung, im Brunnenrohr und in den Filterschlitz sind höher als bei der Entnahme
- Die „hydraulische Kette“ (Zunahme der Durchlässigkeit von der Bohrlochwand zum Filterschlitz) wirkt bei SB umgekehrt: die Durchlässigkeit nimmt in Infiltrationsrichtung zur Bohrlochwand ab
- Horizontale Schichtungsanisotropien
- Rückverlagerung von Partikeln im Ringraum und an der Bohrlochwand beim Infiltrationsvorgang
- Einfluss von Partikeln im Infiltrat, von Ausgasungen und von chemischen Reaktionen („*Trinkwasserqualität*“ sagt diesbzgl. *nichts aus!*)

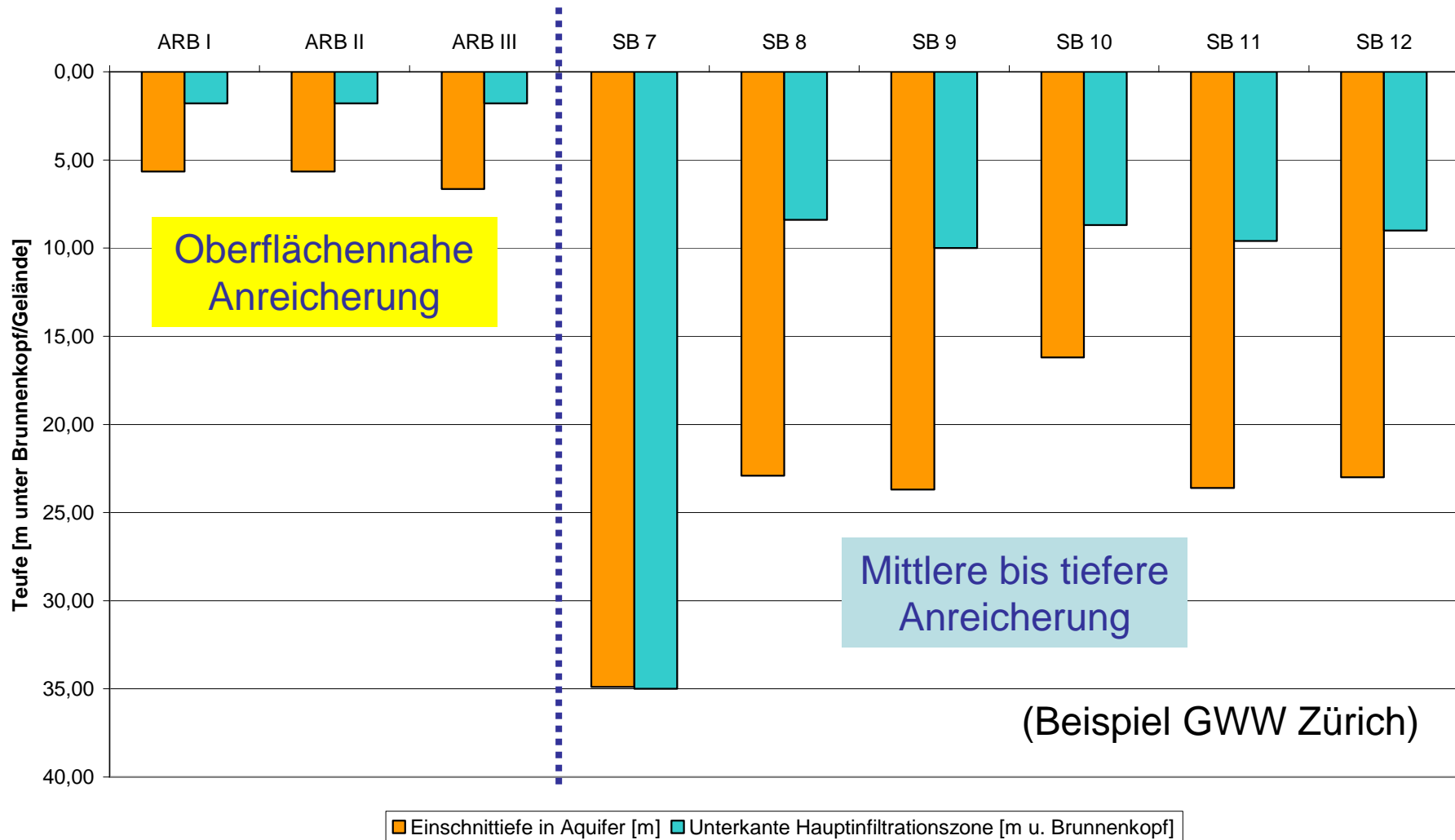
# Erkundung: Sickerversuche in Kleinsondierungen zur Detailerkundung – „open-end-test“



# Aufnahmevermögen einzelner geologischer Schichten an einem SB



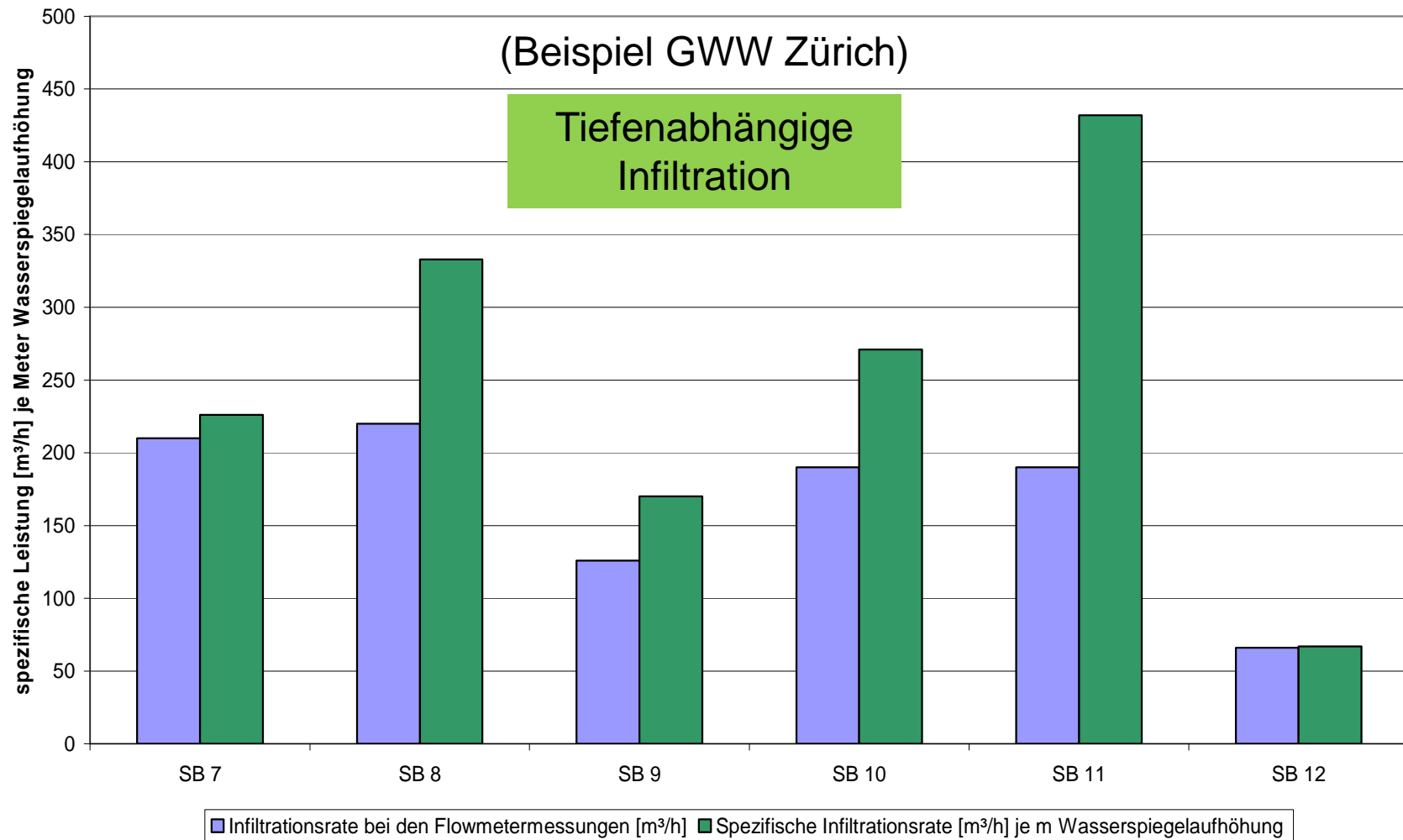
### Einschnitttiefe und Unterkante der Infiltrationszone



(Beispiel GWW Zürich)

Tiefenabhängige  
Infiltration

## Infiltrationsraten und spezifische Aufnahmeleistung bei den Flowmetermessungen



# Beispiel: Fließgeschwindigkeiten und Turbulenzen an SB

| Brunnen | Durchströmte Filterfläche in der Hauptanreicherungszone [m <sup>2</sup> ] | Resultierende Filtergeschwindigkeit bei 433 m <sup>3</sup> /h [m/s] | Resultierende Filtergeschwindigkeit bei 433 m <sup>3</sup> /h [m/d] | Reynoldszahl Re [-] |
|---------|---|---|---|---------------------|
| A       | 6,71  | 0,018   | 1.555   | 36                  |
| B       | 4,65  | 0,026   | 2.246   | 52                  |
| C       | 5,44  | 0,022   | 1.900   | 44                  |
| D       | 4,01  | 0,030   | 2.592   | 60                  |
| E       | 2,94  | 0,041   | 3.542   | 82                  |
| F       | 3,98  | 0,030   | 2.592   | 60                  |

Mögliches Grenzkriterium:  $Re < 30$  (Übergang laminar – turbulent)

**Korrekturformel nach Huisman & Olsthoorn 1983:**

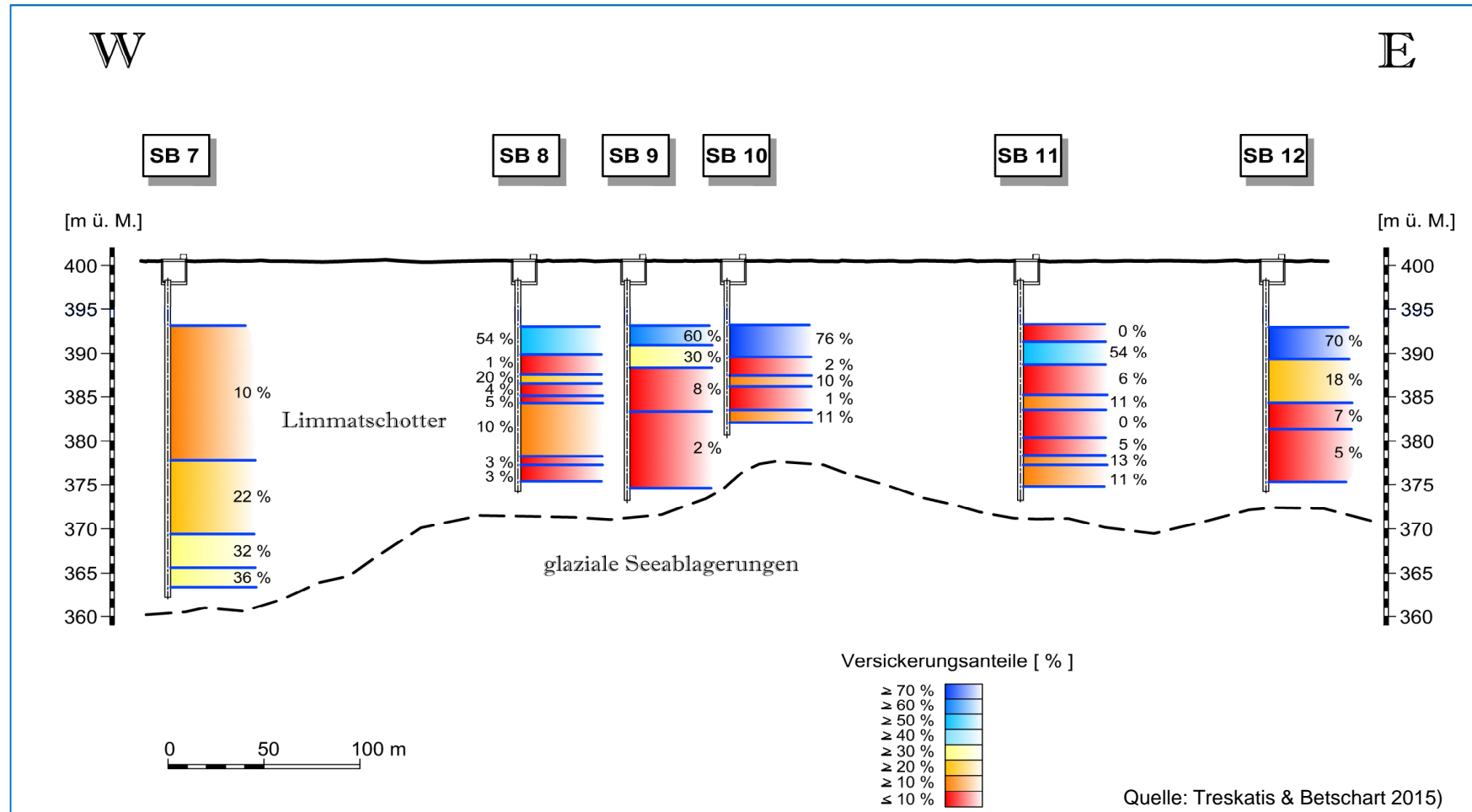
$$q_s = \frac{2\pi \cdot r \cdot h' \cdot (0,1 \dots 0,2) \sqrt{k_s}}{15}$$

# Schichtendifferenzierte Ermittlung der Infiltrationsleistung

| Schicht                   | $k_{fi}$ -Wert<br>[m/s] | $h_i$<br>[m] | $q_{si}$<br>[m <sup>3</sup> /h] | Frei durchströmte Mantelfläche (bei 30% Porenraum)<br>[m <sup>2</sup> ] | Austrittsgeschwindigkeit aus dem Ringraum in das Gebirge [m/s]<br>(Kriterium: $v < 0,00036$ ... 0,0014 m/s) |
|---------------------------|-------------------------|--------------|---------------------------------|---|---|
| 1                         | 0,005                   | 3            | 191                             | 3,39  | <b>0,016</b>  |
| 2                         | 0,001                   | 2            | 57                              | 2,26  | <b>0,007</b>  |
| 3                         | 0,0004                  | 4            | 72                              | 4,52  | <b>0,0044</b>   |
| 4                         | 0,00002                 | 6            | 24                              | 6,78  | <b>0,00098</b>  |
| Summe<br>Schicht 1 bis 4  | -                       | 15           | 344                             | 16,95   | -   |
| <b>Pauschalberechnung</b> | <b>0,001</b>            | <b>15</b>    | <b>429</b>                      | <b>16,95</b>  | <b>0,007</b>  |

25% Abweichung oder 85 m<sup>3</sup>/h

# Beispiel einer Ermittlung schichtspezifischer Aufnahmemengen





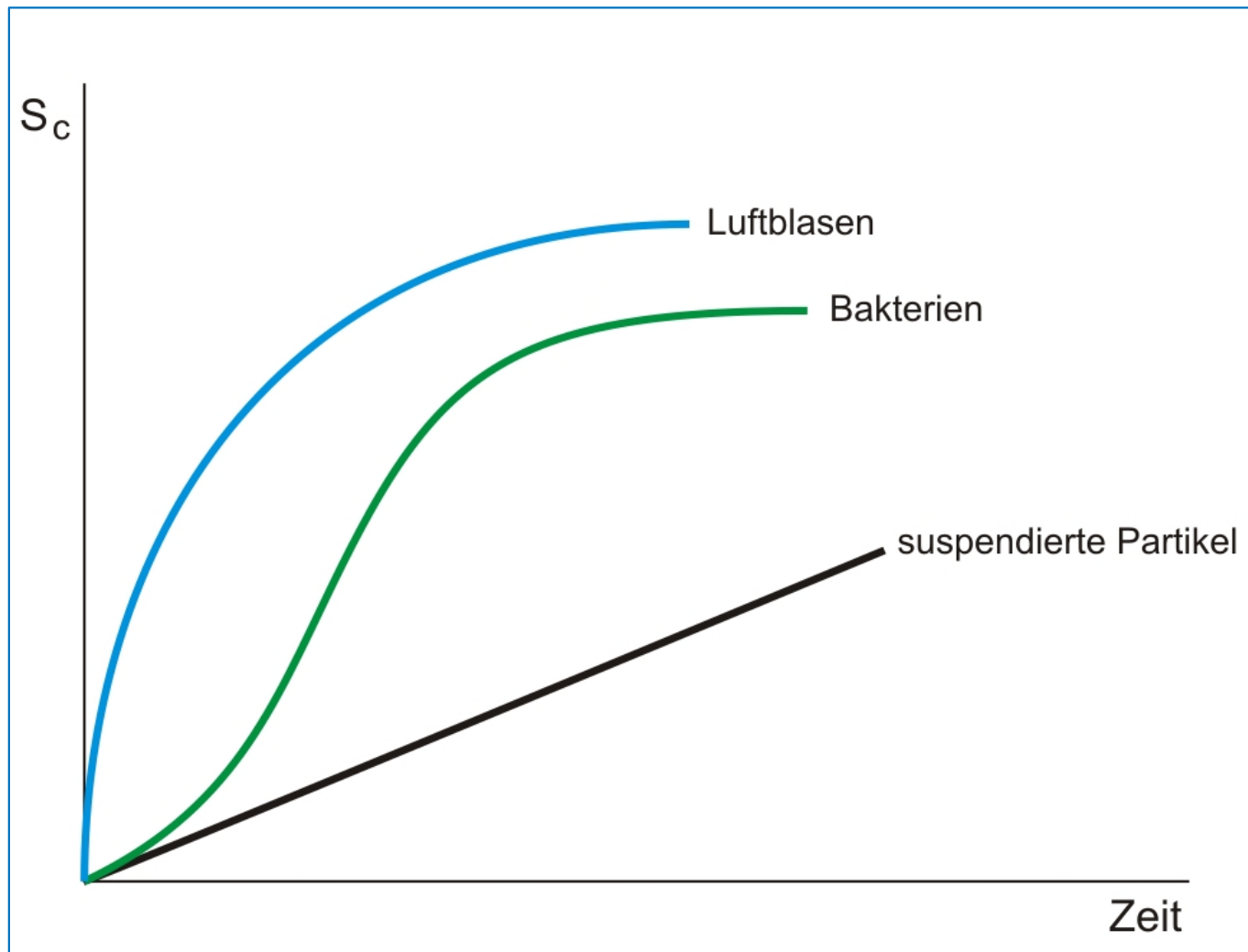
# Zusätzliche Leistungsbeeinflussung: Alterungsprozesse am SB

- Verschleimung/Biofouling
- Mischwasserbildung mit Inkrustationen
- mineralische Inkrustationen
- mechanische Verstopfung
- **Skineffekt** aus der Herstellphase des Brunnens
- Einschluss von Gasblasen
- Kombinationen der o. g. Prozesse

# Phasen der Reduzierung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von SB

- An Grenzflächen (z.B. im Bereich der Bohrlochwand) beginnt in der **Phase 1** eine allmähliche Abnahme der Porendurchlässigkeit durch physikalische Kolmationsprozesse (Quellen von Tonmineralien, Partikelanlagerungen in den Porenhälsen etc.)
- In **Phase 2** entweicht die eingespeicherte Bodenluft und die Durchlässigkeit des Systems nimmt kurzfristig wieder zu (Übergang von ungesättigter zur gesättigten Strömung)
- In **Phase 3** der Brunnenalterung reduziert die einsetzende Kolmation mit biologischem Material (Biofilm, Zucker etc.) die Durchlässigkeit stetig

# Zeitliche Entwicklung des Druckverlustes am SB



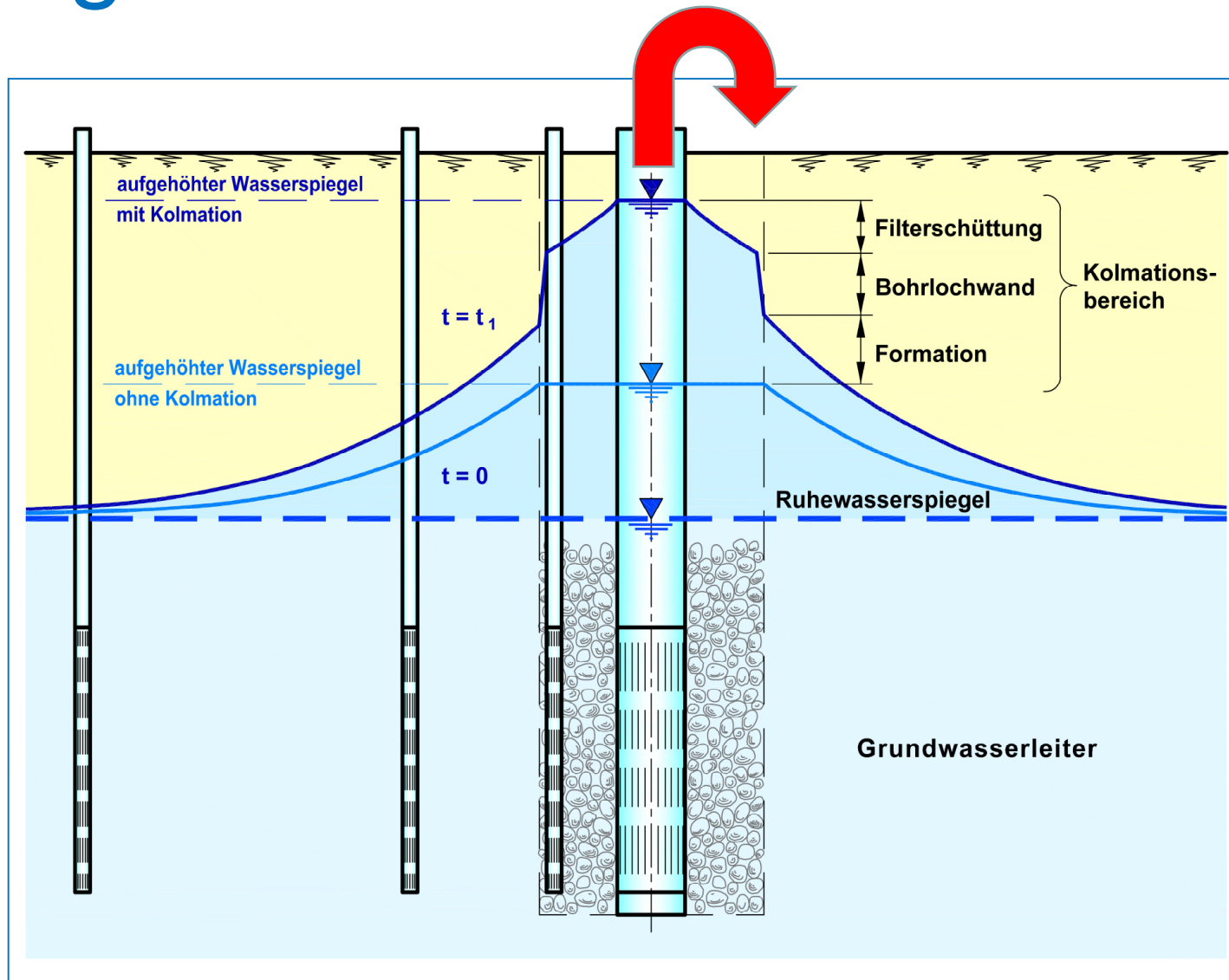
# Was passiert bei Wasser-Wasser-Anlagen ?

- **Mischwasserbildung**
- **Eintrag von Partikeln**
- **Versickerung von erwärmten oder trübstoffhaltigem Wasser**

Um eine Verockerung auszulösen müssen die Reaktionspartner, d.h. die reduzierten Spezies wie z.B.  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Mn}^{2+}$  auf der einen Seite und die oxidierten Spezies wie z.B. der Luft- oder Nitratsauerstoff zusammengeführt werden.

Dies geschieht in Wasser-Wasser-Anlagen beim Entnahmebrunnen durch die Absenkung der Grundwasserdruckoberfläche und die dadurch ausgelöste vertikale Verlagerung von sauerstoffhaltigem Grundwasser in das tiefer anstehende, meist sauerstoffarme oder –freie Grundwasser.

# Folgen am SB $\longrightarrow$ Überlaufen



Indikatorwerte zur Bewertung des Kolmationspotentials von  
Infiltrationsbrunnen. Nach Perez-Paricio (2001). Aus: Houben &  
Treskatis 2012).

| Kolmations-<br>potential | Qualität des Infiltrationswassers<br>(Indikatoren) |                  |               | Art der Regenerierung und<br>Regenerierungsintervall<br>(standörtlich an jeden Brunnen<br>anzupassen) |                              |
|--------------------------|--|------------------|---------------|---|------------------------------|
|                          | TSS<br>[mg/L]                                      | Trübung<br>[NTU] | TOC<br>[mg/L] | Klar- oder<br>Abpumpen  | mechanische<br>Regenerierung |
| gering                   | < 10   | < 5              | < 10          | häufig  | monatlich                    |
| mittel                   | 10 < TSS<br>< 20                                   |                  | 10 < TOC < 25 | täglich   | wöchentlich                  |
| hoch                     | > 20   |                  | > 25          | täglich   | nach Bedarf                  |

**Abkürzungen:** TSS = total suspended solids (Konzentration suspendierter Partikel), TOC = total organic carbon (Konzentration organischer Kohlenstoff)

# Kolmationsfaktoren in Brunnen

| verstopping door                           | grenswaarde   |
|--|---|
| neerslag van mangaan, ijzer en/of biomassa | Mn > 0,1 mg/l, Fe > 0,1 mg/l,<br>CH <sub>4</sub> > 0,1 mg/l, O <sub>2</sub> > 0,01 mg/l |
| aluminiumhydroxiden                        | Al > 0,3 mg/l, pH > 6,5   |
| kalk                                       | SI <sub>kalk</sub> > 0  |
| biomassa                                   | AOC > 10 µg ac-C eq/l   |
| deeltjes                                   | MFI > 3 s/l <sup>2</sup>  |

70414kvb

Quelle: Kiwa, NL

# Zusammenfassung: Einflussfaktoren auf die Infiltrationsleistung und Standzeit von SB

- Anschluss des SB an die wasseraufnahmefähigen Schichten
- Zulauftrate und kritische Filtergeschwindigkeit (Turbulenzen, Ausgasungen, Strahlströmung mit Materialumlagerung und –sortierung...)
- Anwesenheit reaktiver Mineralien und Partikel (und Organik)
- Qualität des Infiltrates (Trübung, Reaktionspartner für die autochtonen Mineralien und Partikel im Brunnenwasser)
- Mischung mit dem autochtonen Grundwasser (sauerstoffhaltiges Infiltrat trifft reduziertes Grundwasser)
- Skin an der Bohrlochwand
- Ausbauart des Brunnens/Rohrreibungsverluste
- Art der Bewirtschaftung (mit oder ohne Überstau, Dauerbetrieb, intermittierend...)



# Vielen Dank für Ihr Interesse!



## **Anschrift des Verfassers:**

**Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis  
apl. Professor am IWAR der TU Darmstadt  
c/o Bieske und Partner Beratende Ingenieure GmbH  
Im Pesch 79  
D-53797 Lohmar  
E-mail: [c.treskatis@bup-gup.de](mailto:c.treskatis@bup-gup.de)  
Tel.: 0049-(0)2246-9212-22; Fax: -99**