

Alterung und Regenerierung von Brunnen

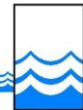
Prof. Dr. habil. Christoph Treskatis
apl. Prof. am Institut Wasser Abwasser
Raumplanung
der TU Darmstadt

Prof. Dr. Treskatis

BIESKE UND PARTNER

Beratende Ingenieure GmbH

WASSERVERSORGUNG UND UMWELTTECHNIK



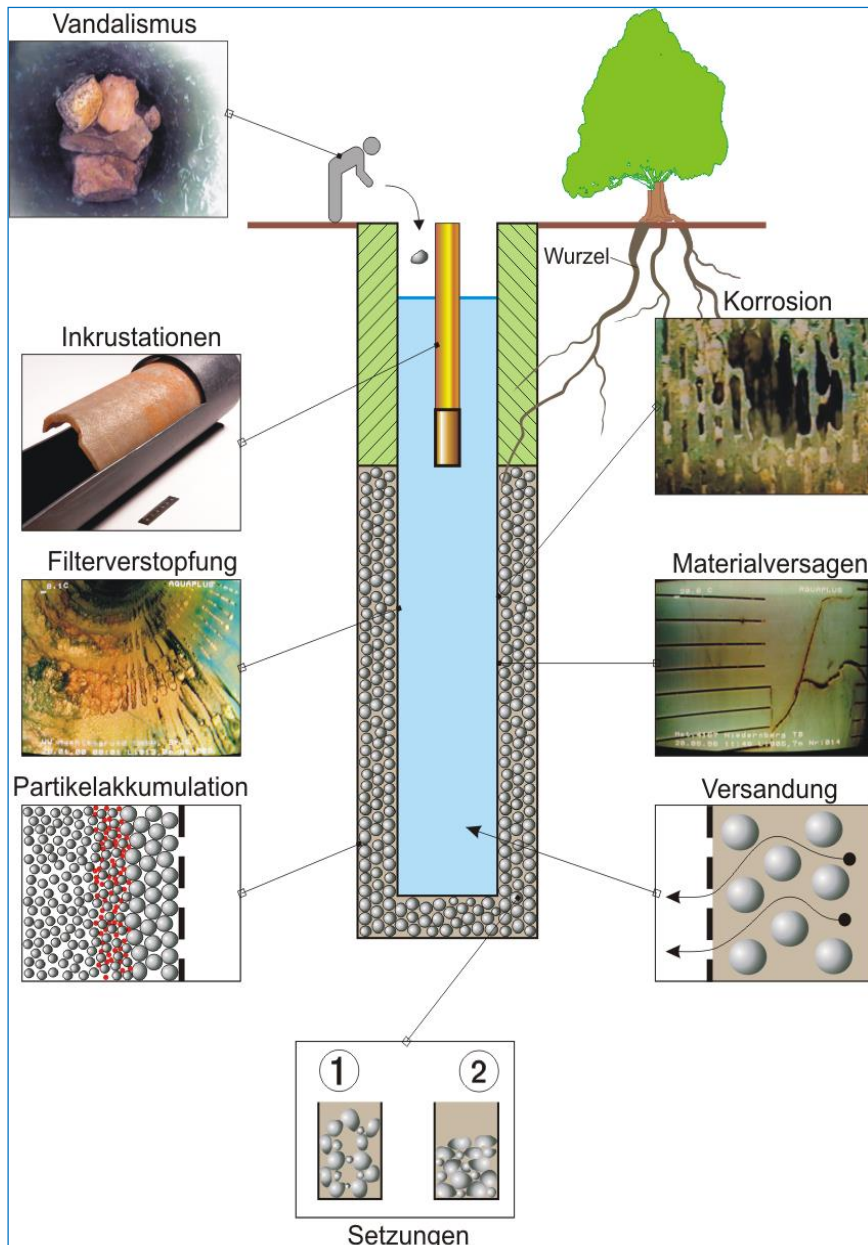
Brunnenfilter ohne sichtbare Alterungserscheinungen



Brunnenalterung... ein lange bekanntes Phänomen

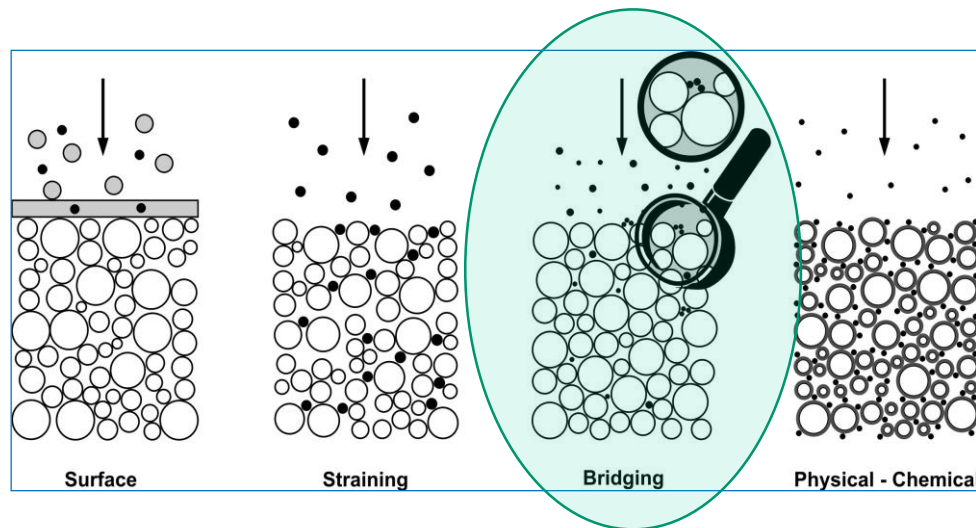
- Bereits **vor über 2.300 Jahren** beschrieb Aristoteles Beläge von Schwefelbakterien aus Brunnen.
- In Duderstadt beklagte ein gewisser Herr Barckefeldt im Jahr **1683**, dass „...Brunnen und Wasserrennen allenthalben mit Einschütten des Kehrigen, Knutten und anderen Unflats verunreinigt werden...“.
- Zur Abhilfe solcher Zustände wurden seit **1518** im Abstand von 2 bis 3 Jahren Brunnensäuberungen mit anschließendem „Brunnensauberfeste“ durchgeführt.
- Letztere wurden ab **1724** untersagt, da das dabei ausgeschenkte Freibier (5 Fass!) „....dann einerstheils zu vieller Ausgelassenheit, Schlägerey und sonderlich zu Profanierung der hl. Tage Anlaß gibt, anderen Theils aber zum Ruin deren Bürgern und Nachbahren....“.
- Auch die Verockerung ist kein neues Problem. Bereits **1545** beschwerte sich ein Spitalmeister aus Nürnberg über einen „...sunderlichen rotten schleyem,..., welcher aygentlich ungesund zu trinken ist.“...
- Das **modern anmutende Regenerierintervall** und die schöne Tradition der Brunnensauberfeste sind leider untergegangen, nur manche Wasserversorger beklagen den anstehenden Ruin wegen der hohen Kosten für Instandhaltung und Sanierung ihrer Brunnen...

Alterungserscheinungen an Brunnen

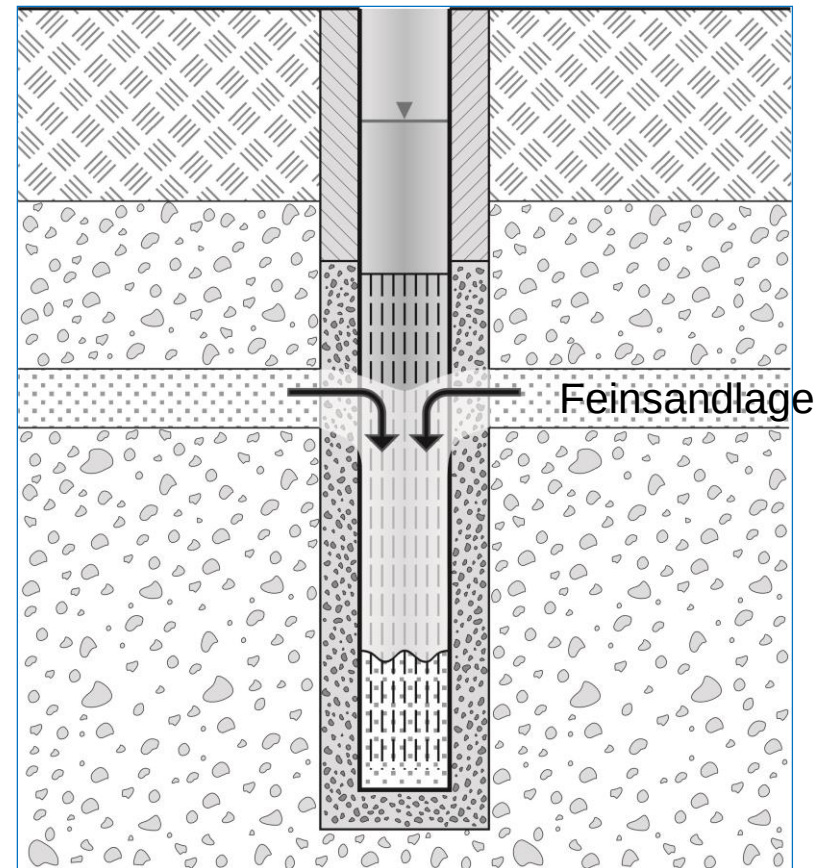


- Inkrustationen (biogeochemisch)
- Partikelfiltration
- Werkstoffalterung (Korrosion, Versprödung)
- Bodenbewegungen: Setzung von Boden und Kiesschüttung, Erdbeben
- Menschlicher Eingriff: Schäden bei Betrieb, Instandhaltung, Vandalismus
- Pflanzenwurzeln

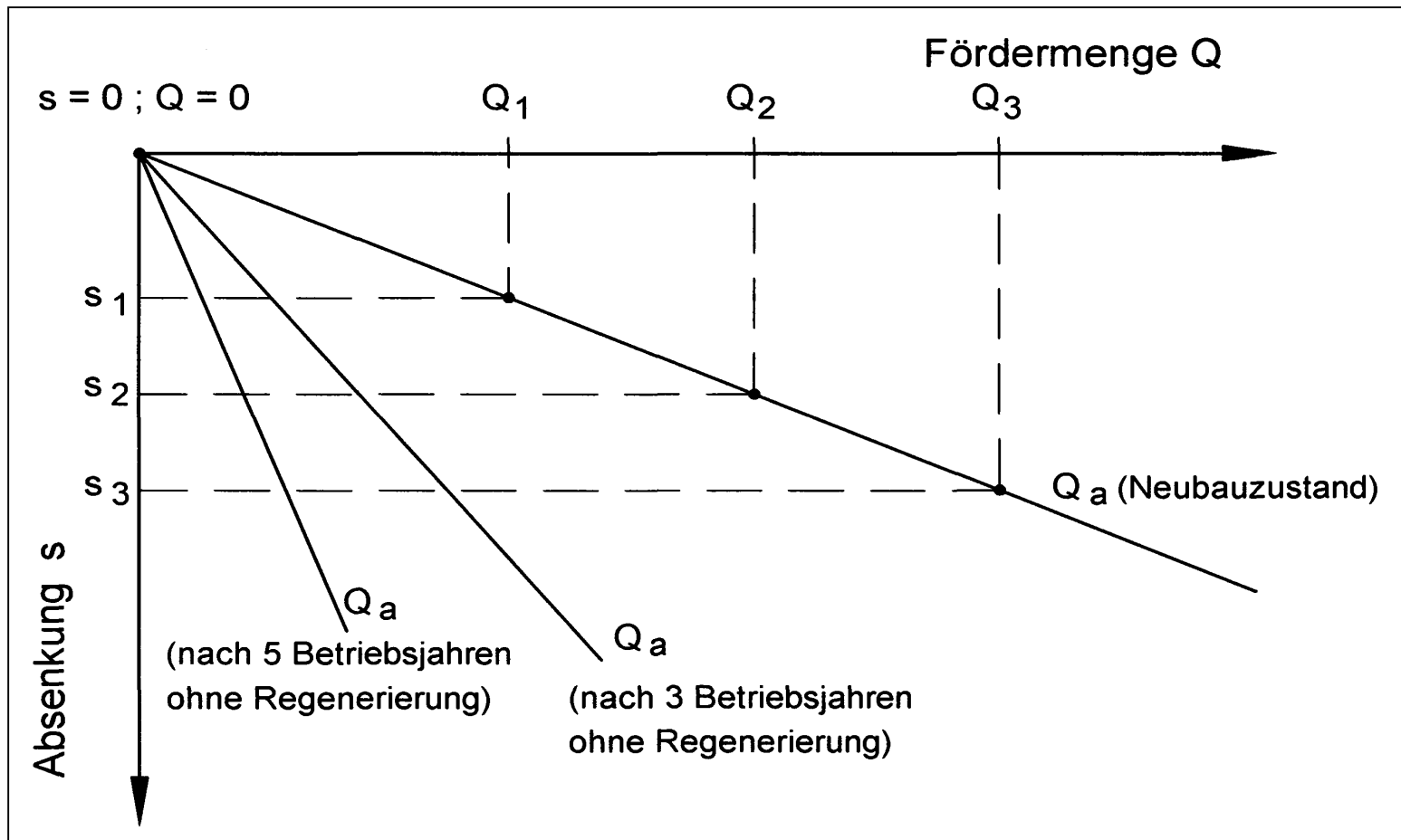
Sonderfall - Partikelinduzierte Alterung von Brunnen: Suffosion, Kolmation und Sandeinbrüche



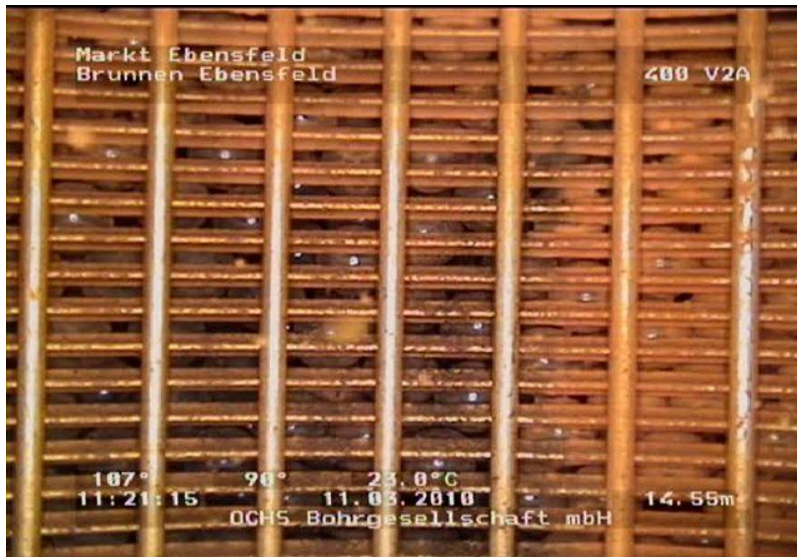
(Abbildungen aus: Houben & Treskatis 2007)



Wie erkennt man eine Brunnenalterung?



Anlagerung von Eisen deutlich erkennbar im Brunnen



Beläge an der Außenseite von Brunnenfiltern



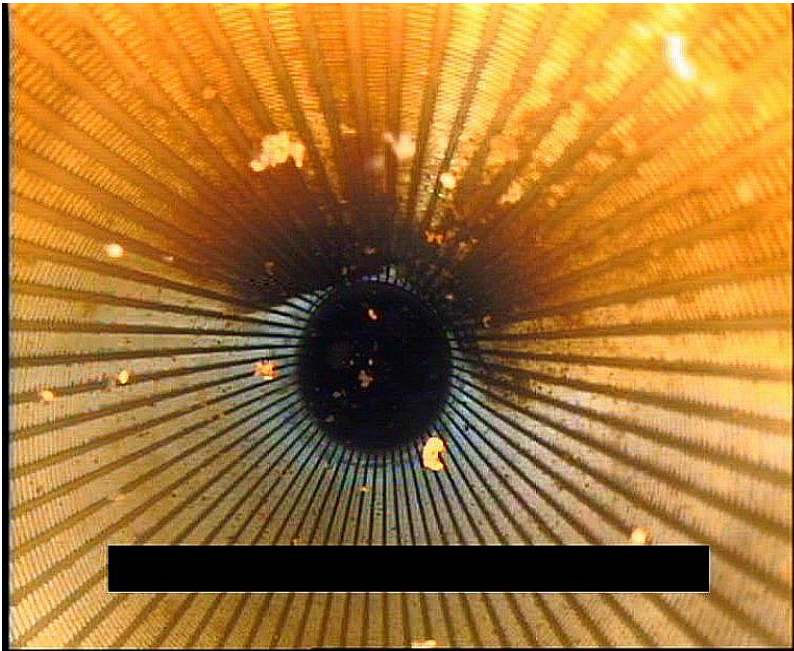
Bildungsort von
eisen- oder
manganhaltigen
oder untergeordnet
karbonatischen
Ablagerungen im
Filterkies und den
Filterschlitzten

Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Verockerung am Einlaufseiher und in der Steigrohrleitung



Abgrenzung von Regenerierung und Sanierung

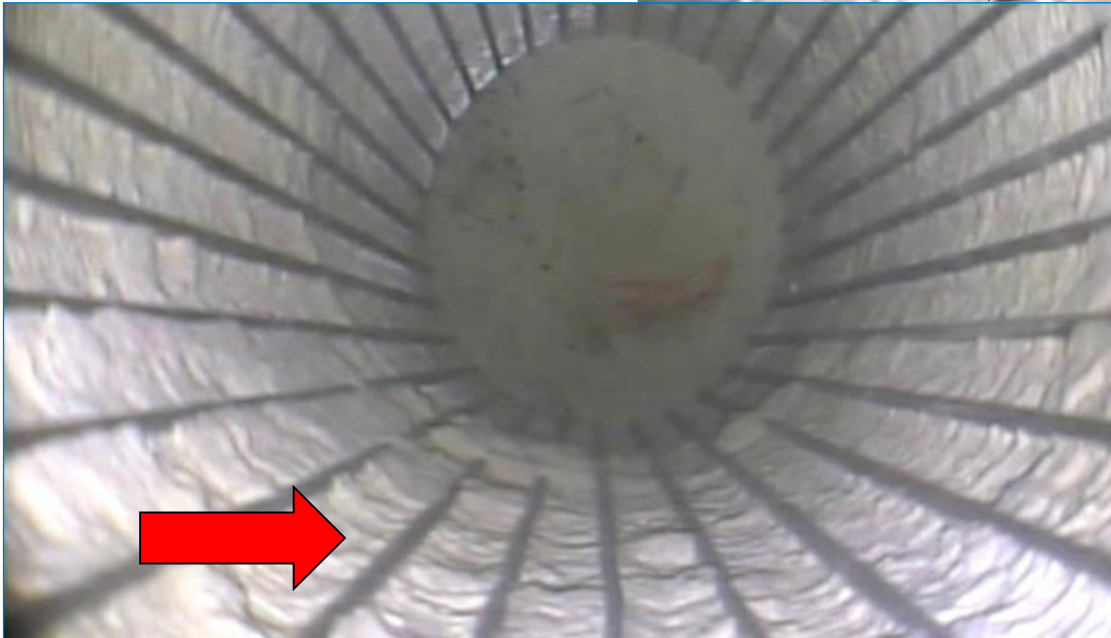
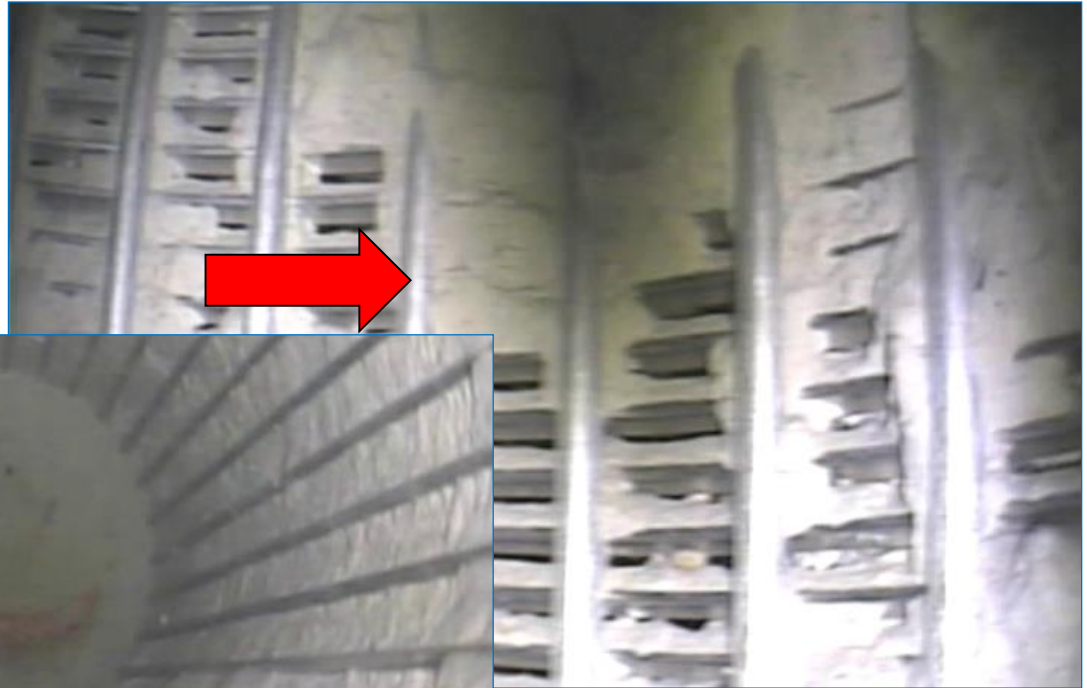


Regenerierfähig?



Sanierungsfähig?

Spülungsreste im Brunnenfilter



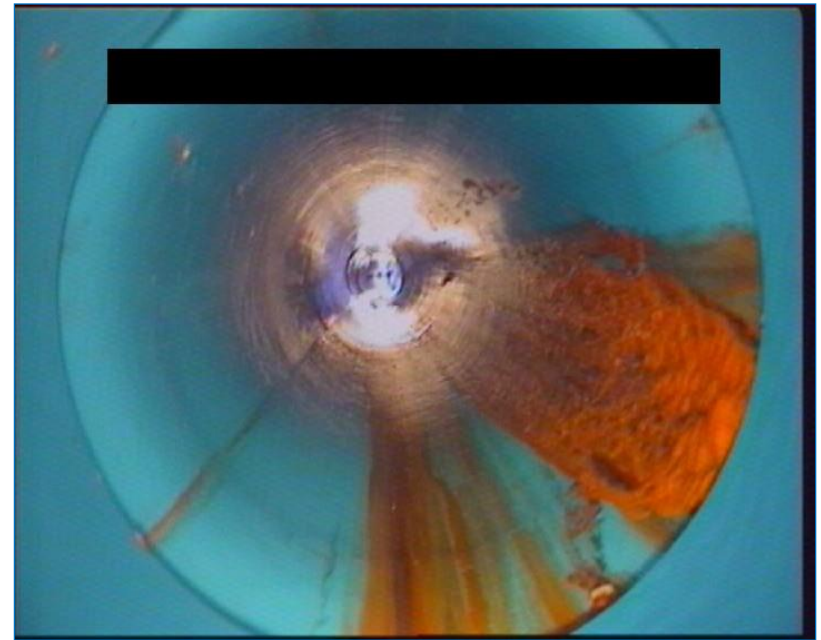
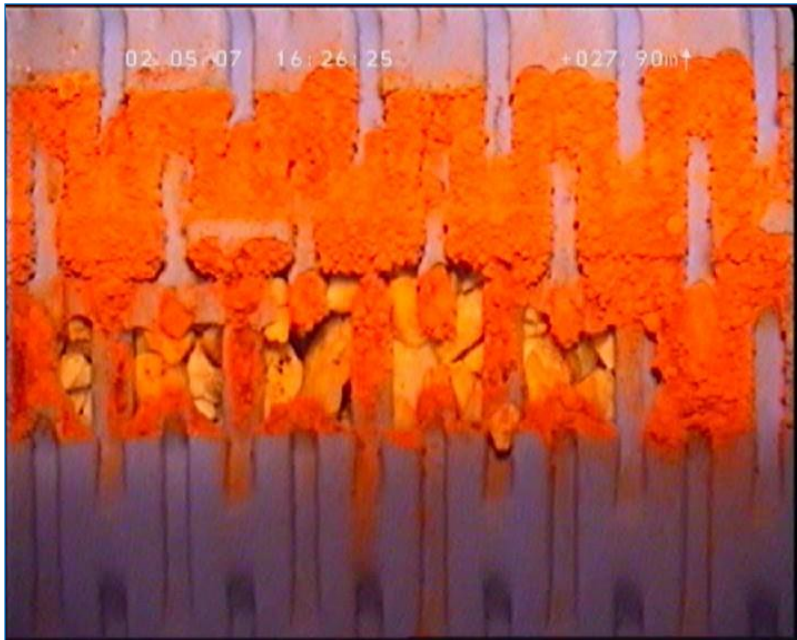
Sanierungsfall!

Zementierung im Filterrohr



Sanierungsfall!

Weitere typische Schadensbilder in Brunnen



Sanierungsfall!

Verstopfung der Schlitz mit Kiesbruchstücken: Regenerier- oder Sanierungsbedürftig?



Sanierungsfall!



Filterkuchen in Brunnen: Regenerier- oder sanierungsfähig?



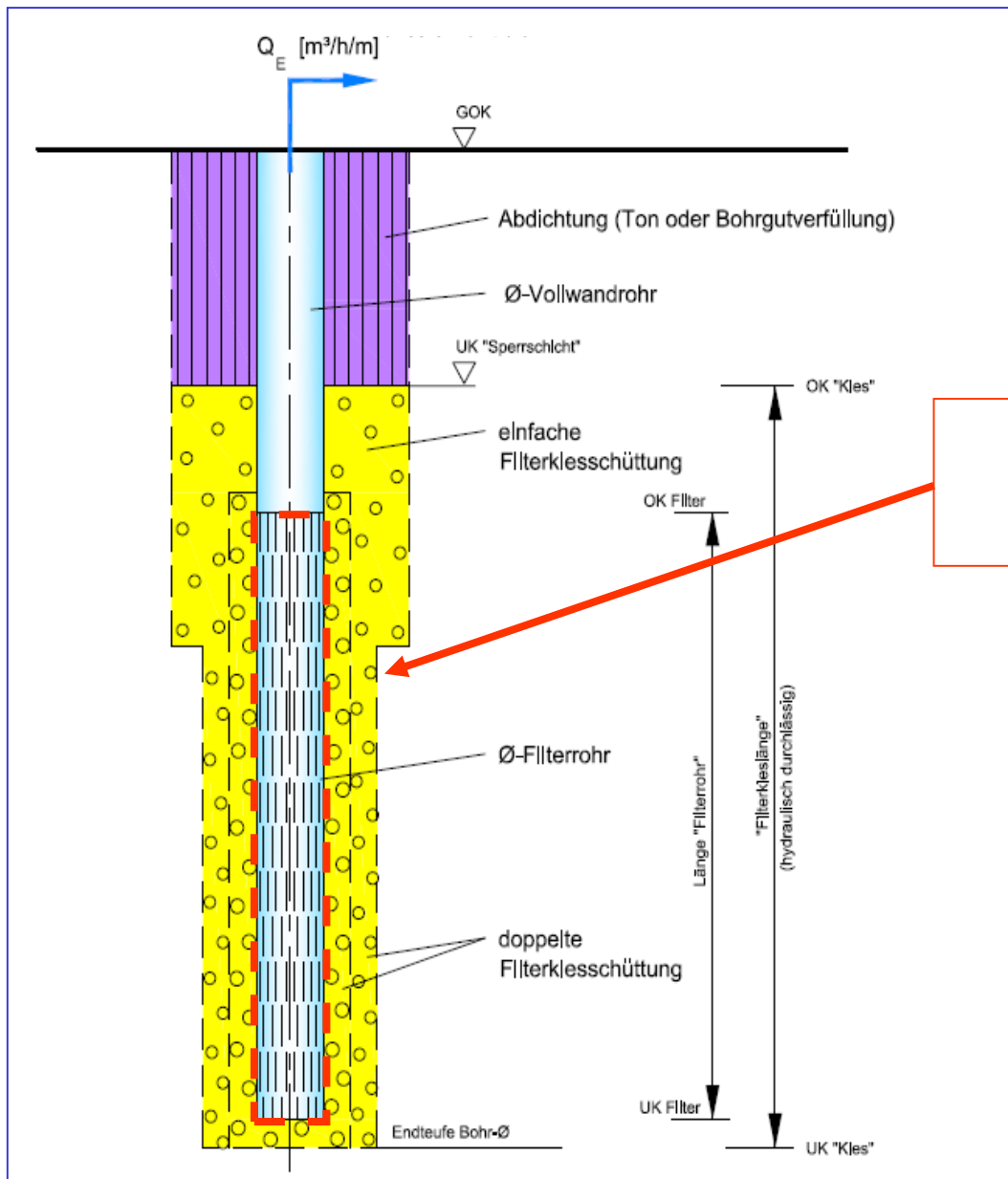
Sanierungsfall!

Bilder aus Tagebau Garzweiler, RWE Power, Köln

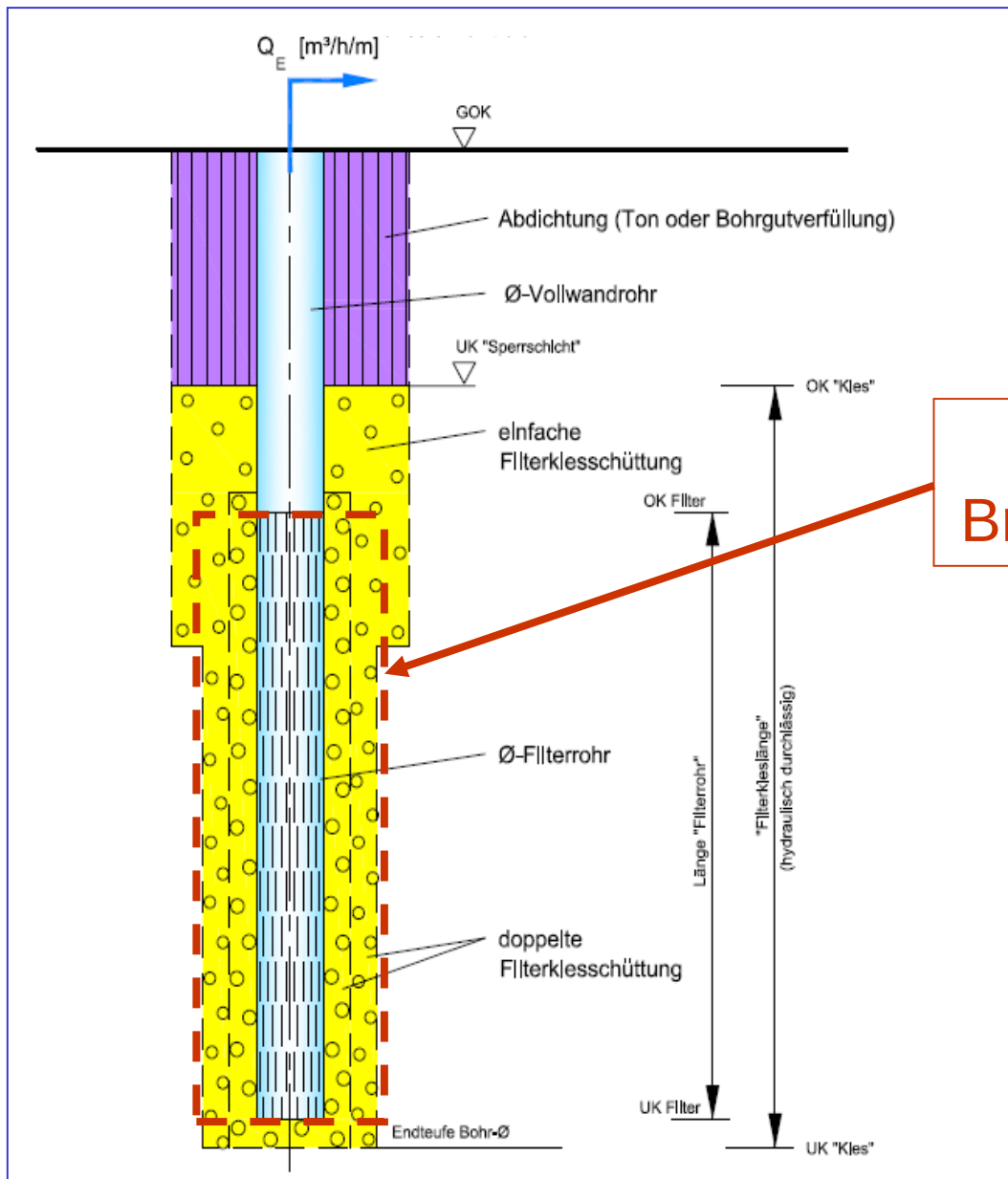
Daher immer beachten: Definitionen und Unterschiede zwischen „Reinigung“ und „Regenerierung“

- Unter der **Reinigung** von Brunnen wird das Entfernen von mineralischen und organischen Ablagerungen im Brunnenrohr verstanden (Maßnahmen: Bürsten, Kolben und Abpumpen des Brunnensumpfes etc.).
- Mit einer Brunnenreinigungsmaßnahme wird die Brunnenleistung i.d.R. nicht nachhaltig verbessert.

- Die **Regenerierung** eines Brunnens umfasst alle Maßnahmen, die zur Entfernung der mineralischen und organischen Ablagerungen aus dem Brunnenringraum und ggf. auch aus dem benachbarten Grundwasserleiter geeignet sind.
- Als Regeneriervverfahren werden alle Techniken bezeichnet, die die Leistungsfähigkeit des Brunnens wiederherstellen können.



Wirkbereich der
Brunnenreinigung

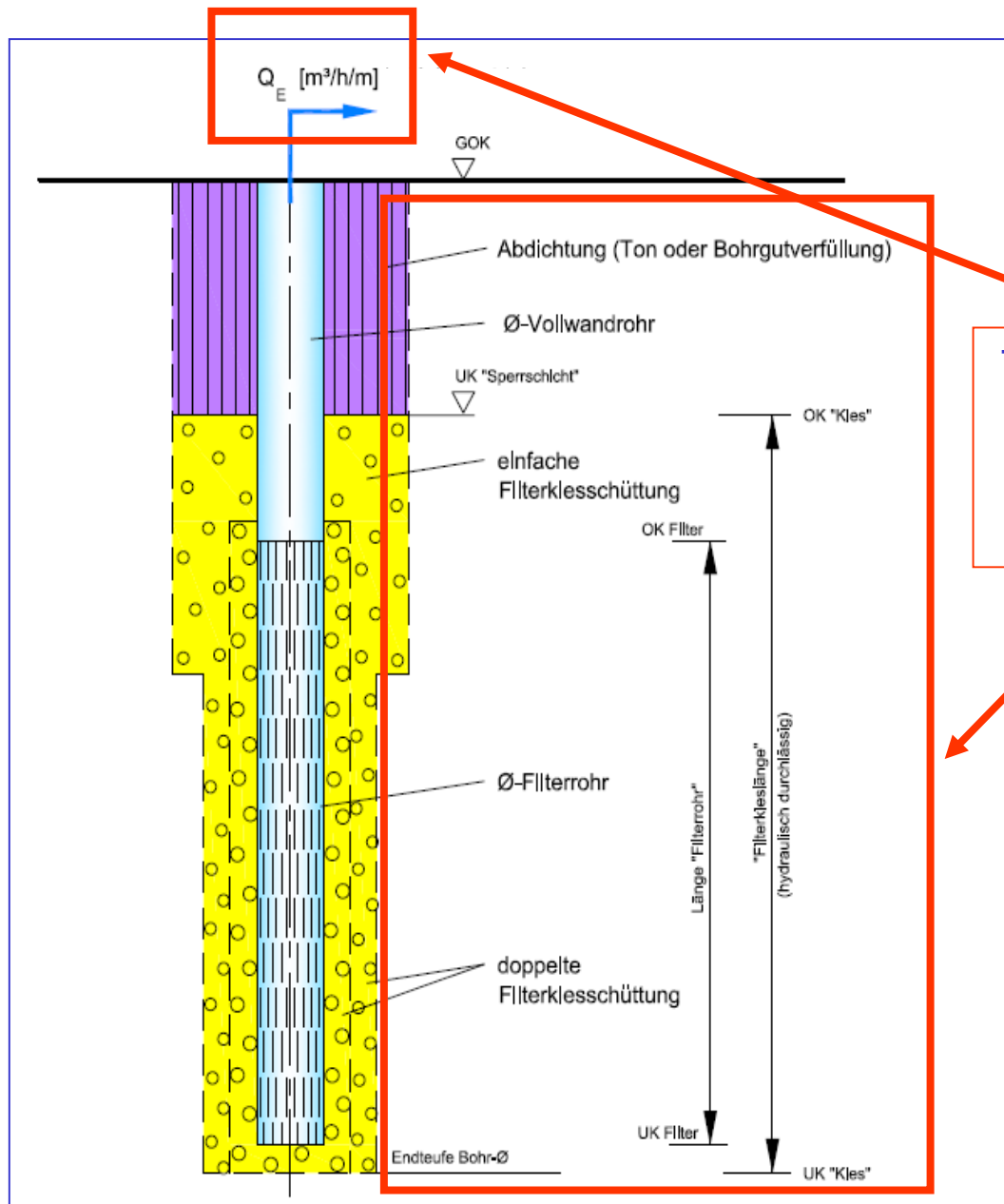


Wirkbereich der
Brunnenregenerierung

Daher muss bei einer Ausschreibung deutlich unterschieden werden:

„Sanierung“

- Als **Sanierung** wird die Verbesserung oder Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit sowie die Behebung von Bemessungsfehlern, Baufehlern oder den Ersatz ungeeigneter Materialien in einem Brunnen oder Bohrloch bezeichnet.
- Der **Rückbau** einer Bohrung oder eines Brunnens wird bei der endgültigen Außerbetriebnahme und Aufgabe von Gewinnungsanlagen oder bei Umbaumaßnahmen, z. B. bei Umbau eines Förderbrunnens in eine Grundwassermessstelle, zur langfristigen **Sicherung der Ressource „Wasser“** erforderlich.
- **Rückbaumaßnahmen** werden meist mit den gleichen Techniken wie Sanierungen durchgeführt.



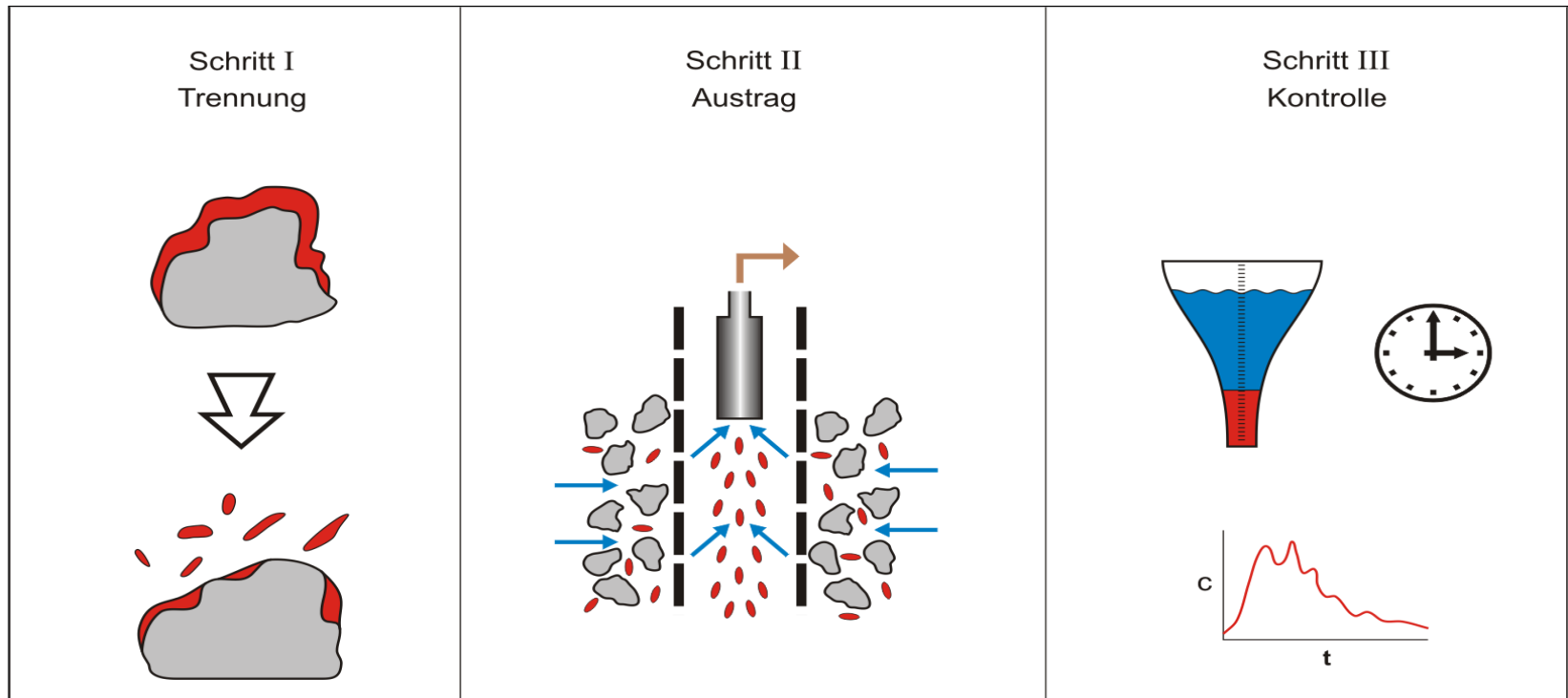
Technische Faktoren bei Brunnen, welche die Regenerierungs- und Sanierungsfähigkeit von Brunnen beeinflussen

Immer zu prüfen vor einer Maßnahme: *„Regenerierfähigkeit“*

Die **Regenerierfähigkeit** ist abhängig von

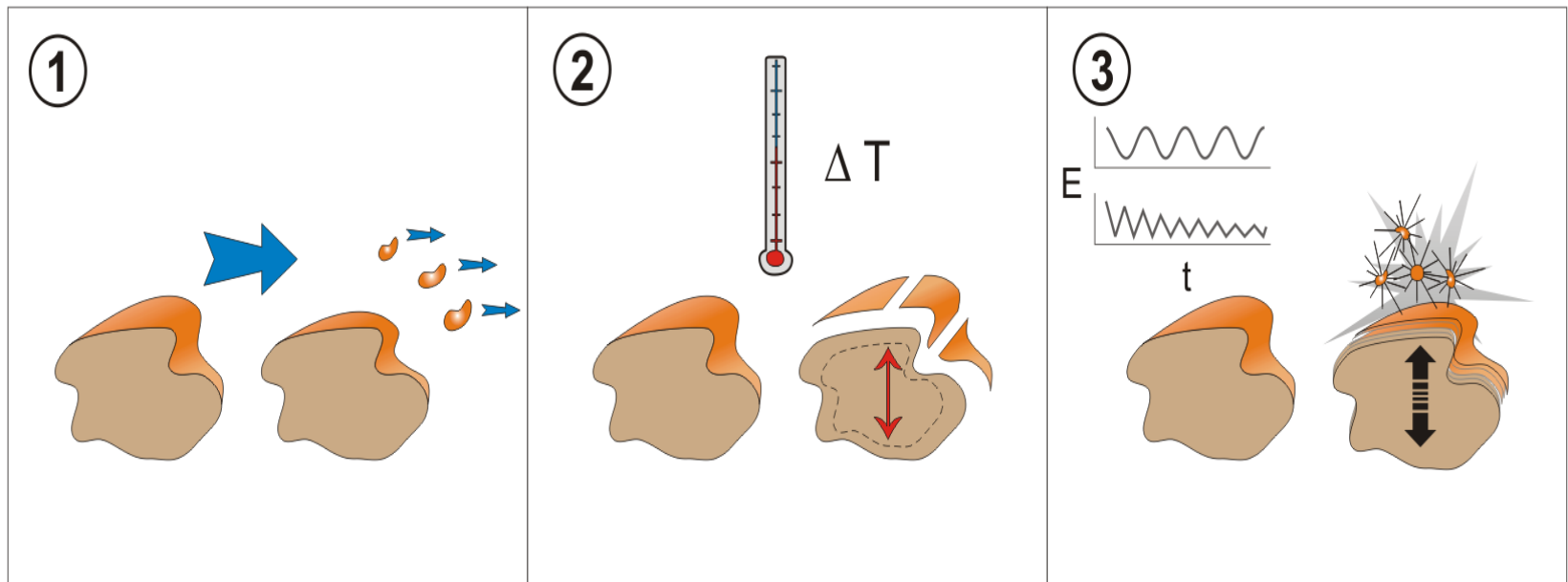
- der konstruktiven Gestaltung des Brunnens
- Zustand und Material des Ausbaus (Vorschädigungen der Rohre, der Ringraumschüttungen, Setzungsgefahr?)
- den Zuflussrandbedingungen (Schleppkraft des zuströmenden Wassers ausreichend für die Mobilisierung der Ablagerungen?)
- den hydrochemischen Randbedingungen (Mischwasser, Schichtungsunterschiede in der Filterstrecke?)
- der Nachhaltigkeit vorangegangener Regenerierungen (Kristallinität der Ablagerungen, Restleistungsvermögen in Bezug auf die Neubauleistung?)
- Umfeld des Brunnens (Zugangsmöglichkeiten, Vorhandensein von Einschüben, Innenrohrmanschetten etc.?)

Verfahrensschritte einer Brunnenregenerierung



Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Wirkungsprinzipien der mechanischen Regenerierung



Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Beispielbaustelle einer Brunnenregenerierung



Verfahrenstechnisch unterschiedliche mechanische Regenerierverfahren

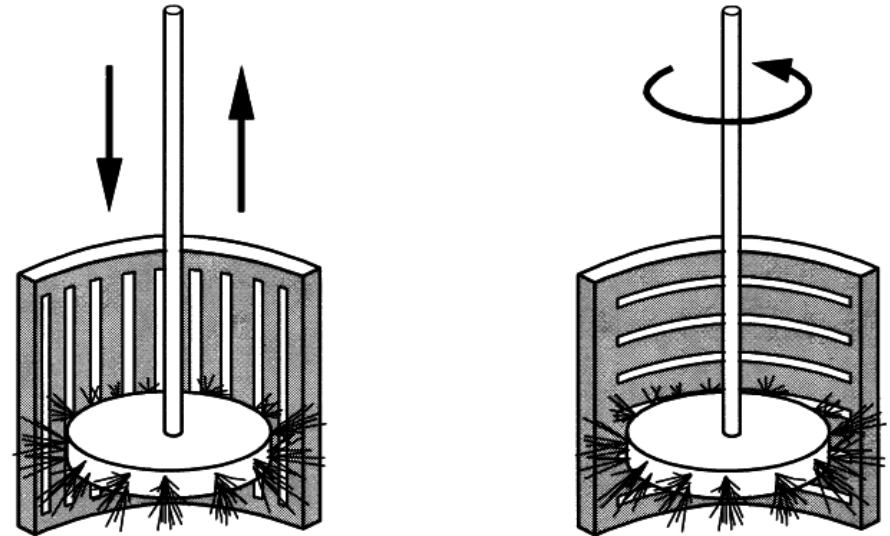
Brunnenreinigung:

- Bürsten
- Auspumpen mit Entfernung der Auflandung aus dem Sumpfrohr

Mechanische Regenerierung:

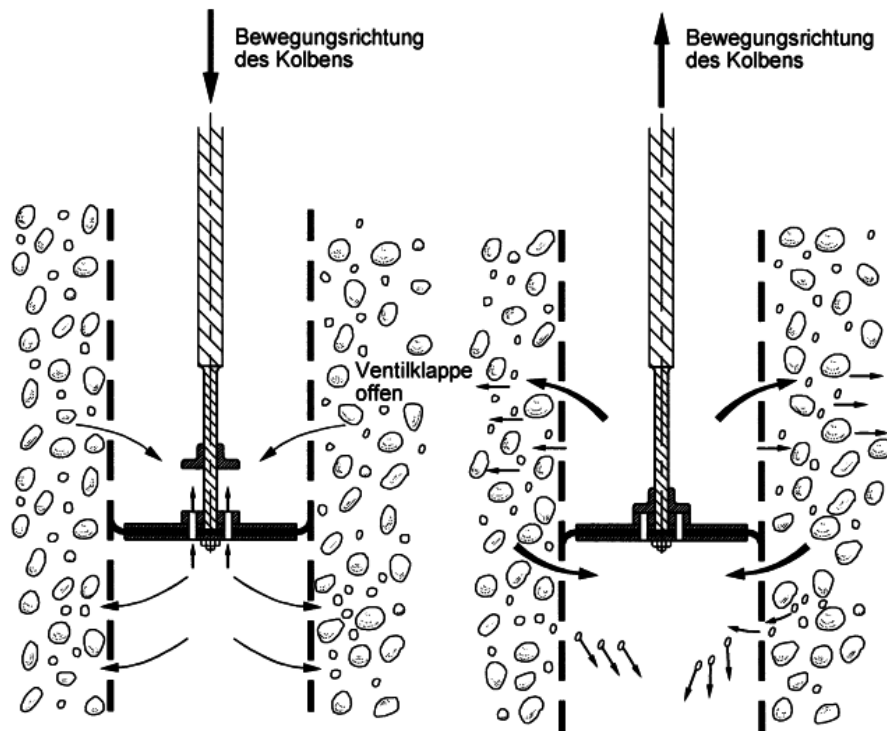
- Kolben
- Intensiventnahme mit bewegter Kammer
- Einsatz von sogenannten Kieswäschern (Mehrkammergeräte)
- CO₂-Injektion mit flüssigem oder gasförmigen Kohlendioxid
Niederdruckinnenspülung
- Hochdruckspülverfahren (Innenspülung im Brunneninnenraum sowie Außenspülung im Ringraum des Brunnens mittels Lanzen)
- Druckwellen/Impulsverfahren

Brunnenreinigen: Bürsten und Kolben



Quelle: Houben & Treskatis (2012, 2019)

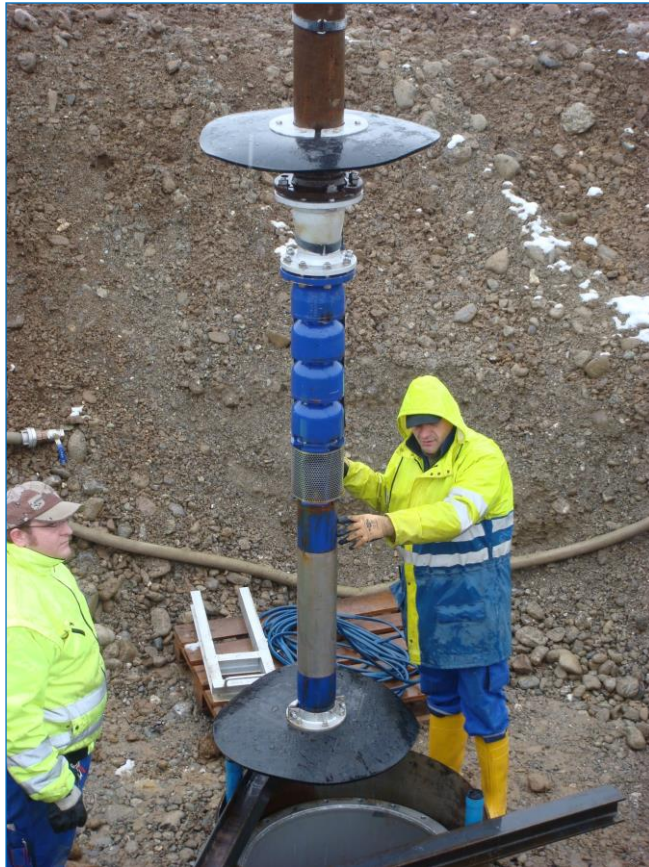
Kombination Reinigung mit Regenerierung (Hochdruckinnenspülung)



Quelle: Houben & Treskatis (2012, 2019)

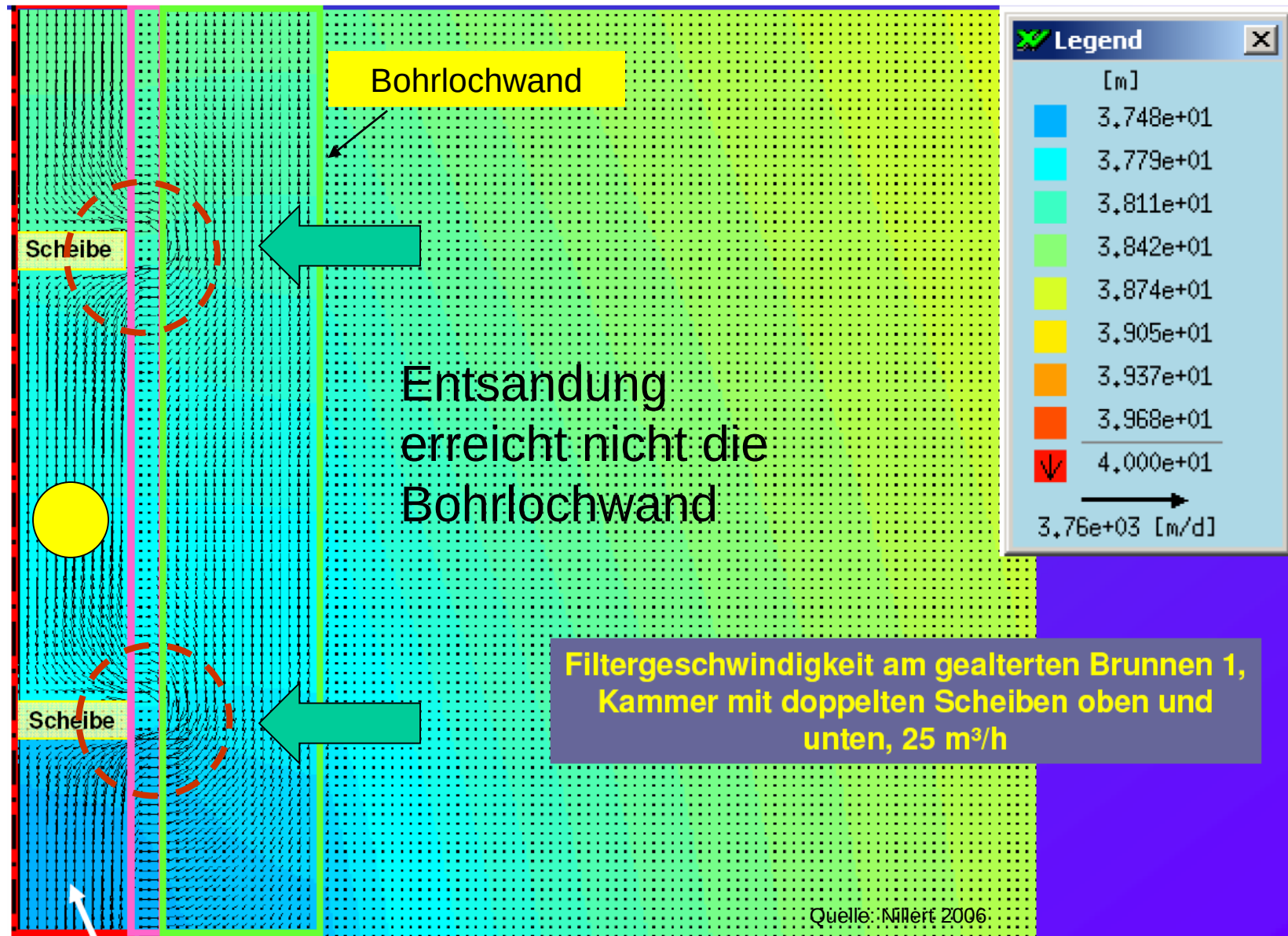


Intensiventnahme nach DVGW W 119: Packerscheiben an Pumpe mit **geringem Wirkungsgrad** bei der Brunnenentwicklung und -regenerierung



Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Modell der Entsandungswirkung am Brunnen



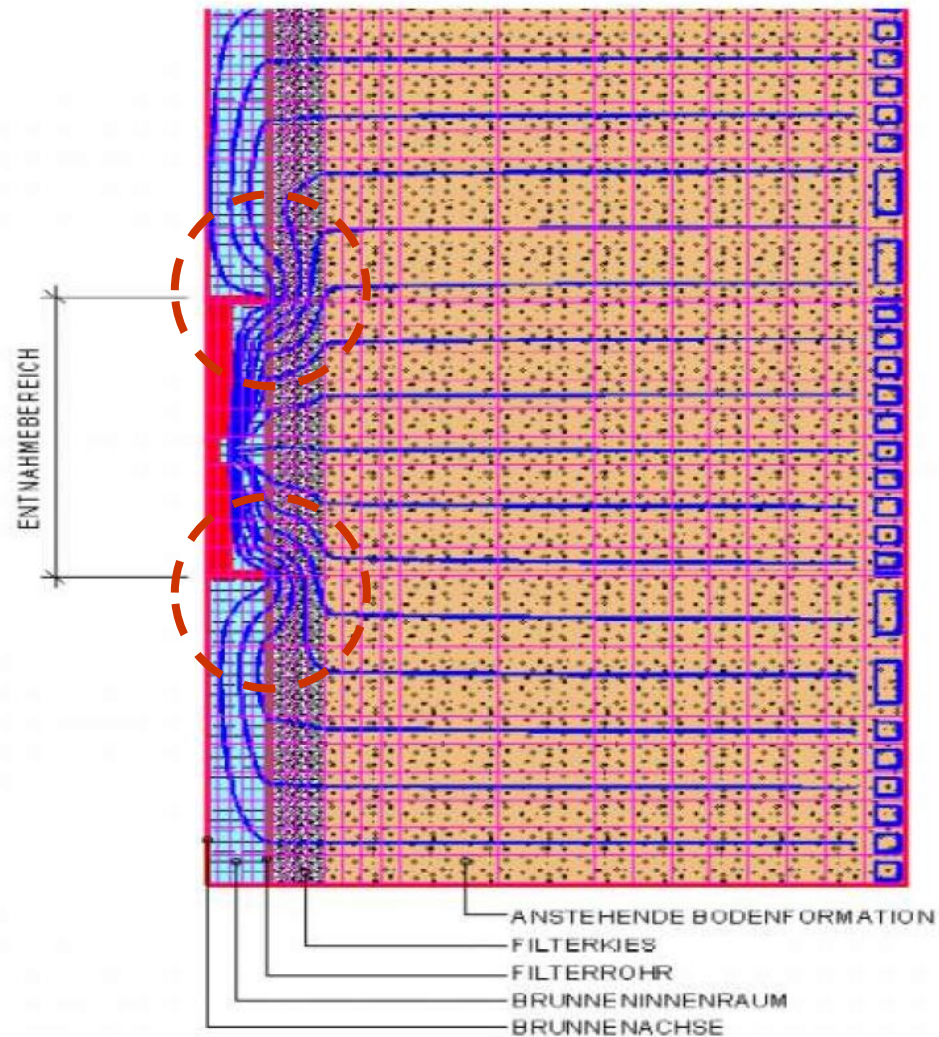
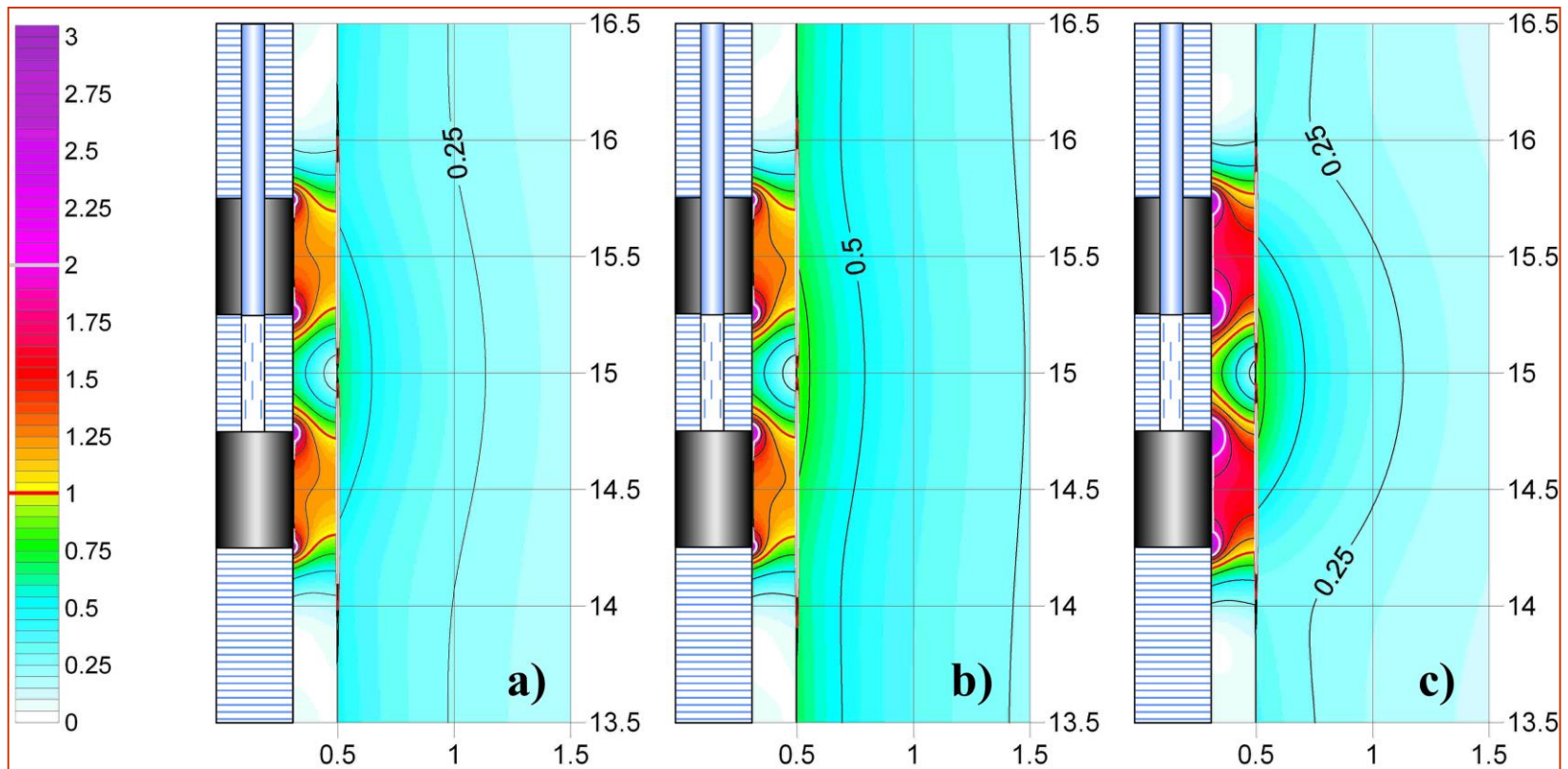


Abb. 6-2: Stromlinienverlauf bei der Intensiventnahme aus einem Vertikalfilterbrunnen mit einfacher Filterkiesschüttung

Simulation der Fließgeschwindigkeiten im Umfeld einer Entnahmekammer

(bei verschiedenen Durchlässigkeitskontrasten zwischen Gebirge und Kiesschüttung)



Aus: Nillert (2008)

Verfahren zur Brunnenregenerierung

(mechanische und hydromechanische Verfahren)



Mehrkammergeräte zur
Niederdruckspülung

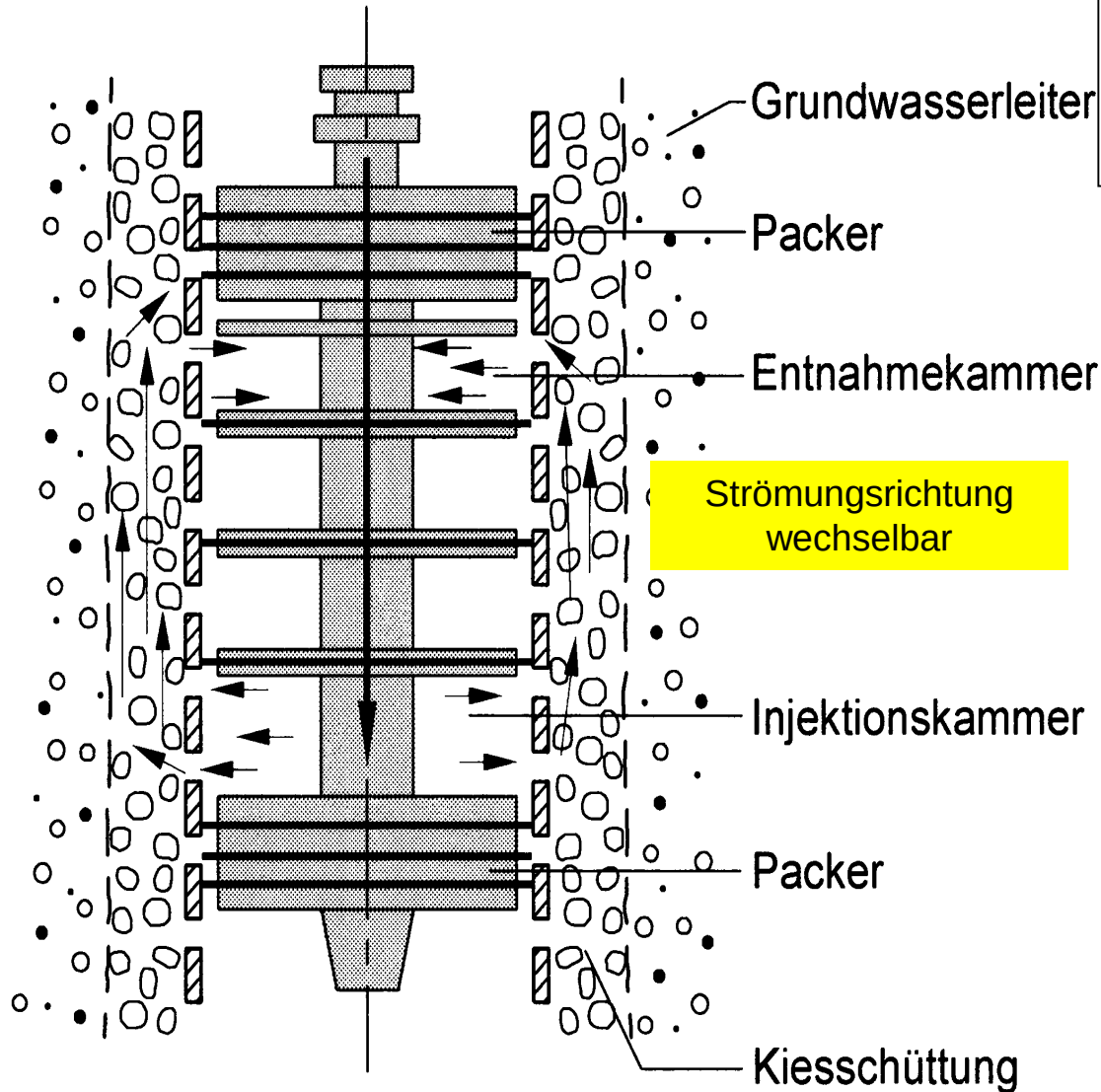


Hochdruckinnenspülung

Quelle: Houben & Treskatis (2012)

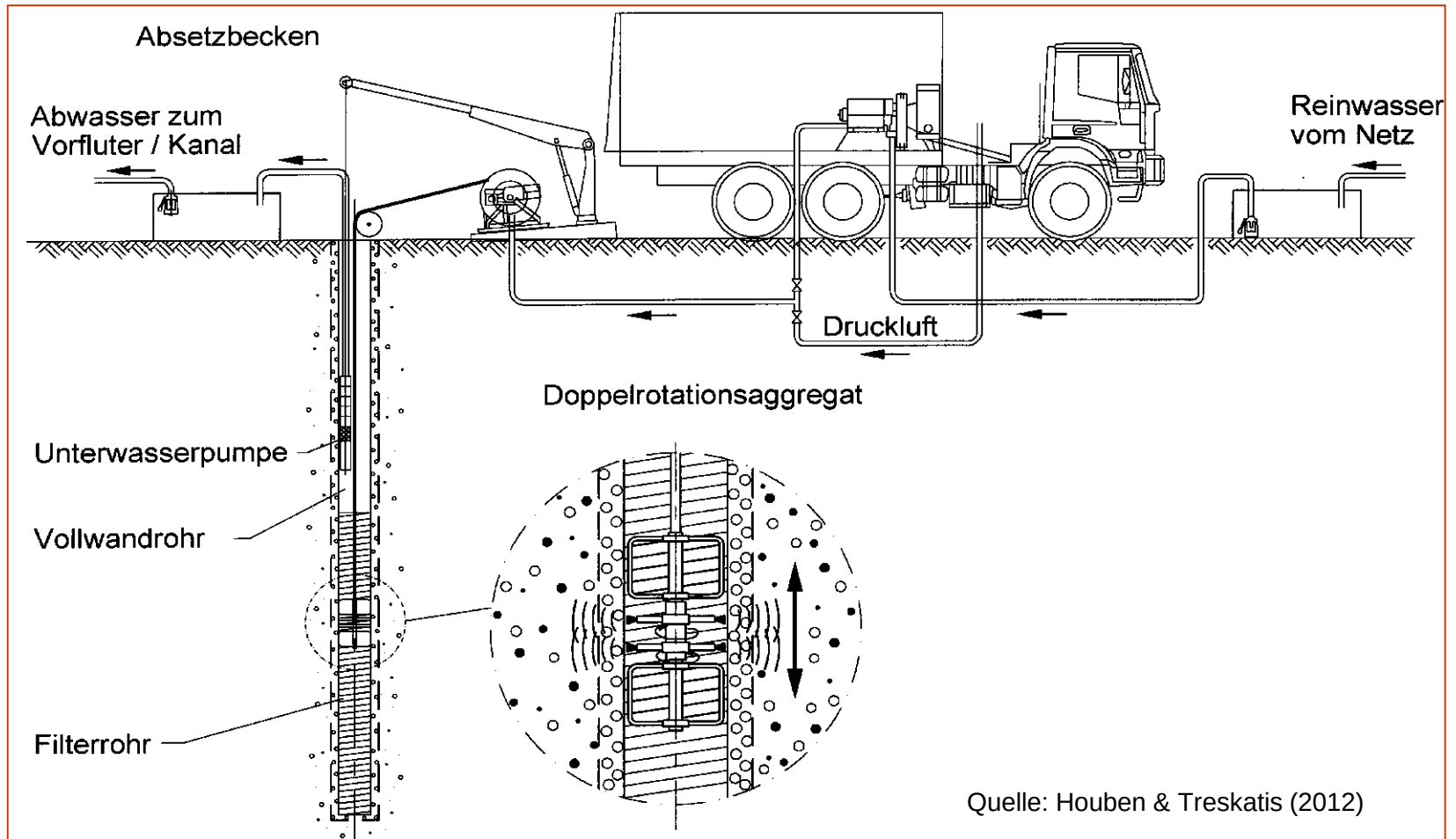
Mehrkammergerät (Beispielzeichnung)

Primär konzipiert für die
chemische Regenerierung

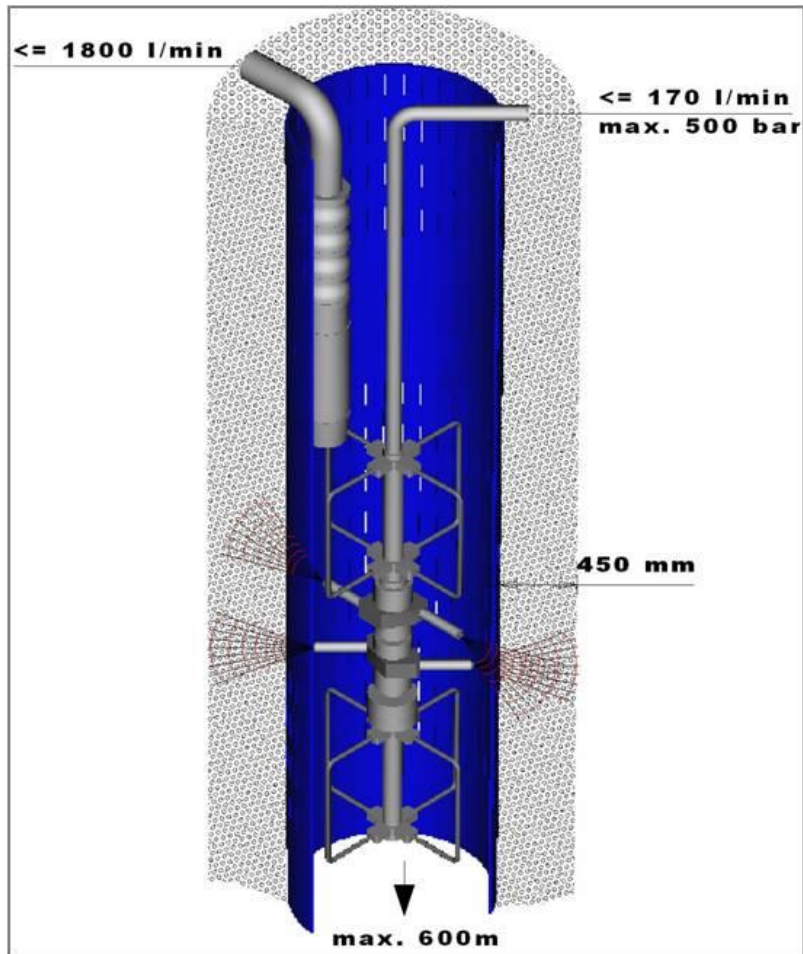


Der Spülprozess erfasst nur bei Mehrkammergeräten den Filterkies und die Bodenformation. Durch die Zwangsführung des Spülstroms können die Verluste und ein Abdriften in den Untergrund vermindert werden.

Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsgerät



Funktionsprinzip



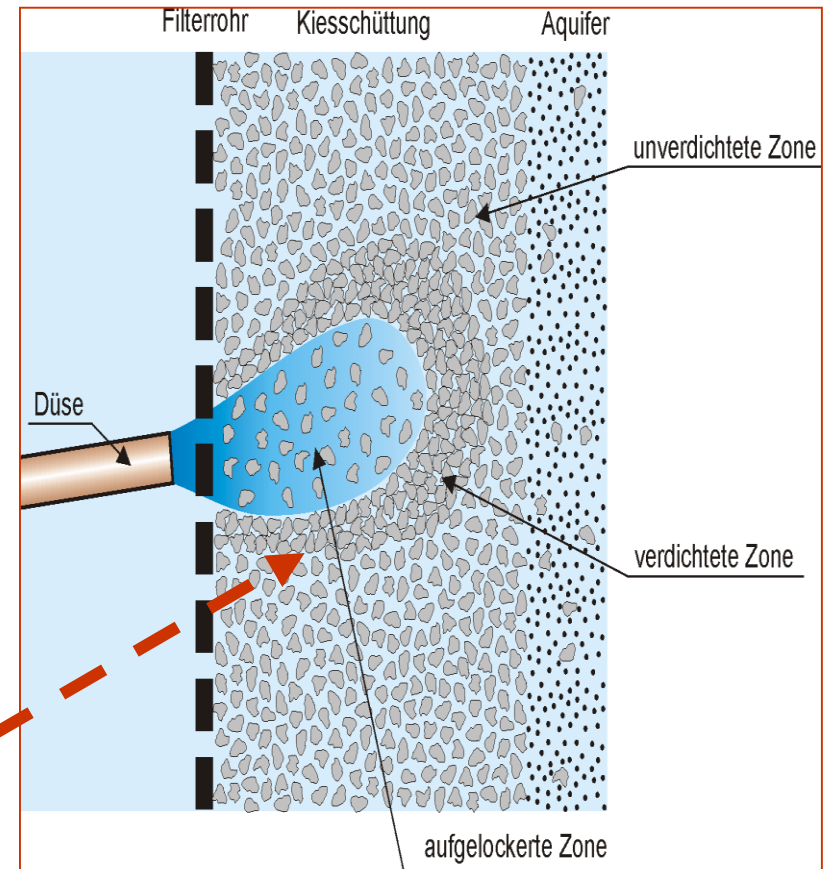
Quelle: Fa. ETBS, Planegg



Quelle: Houben & Treskatis (2012)

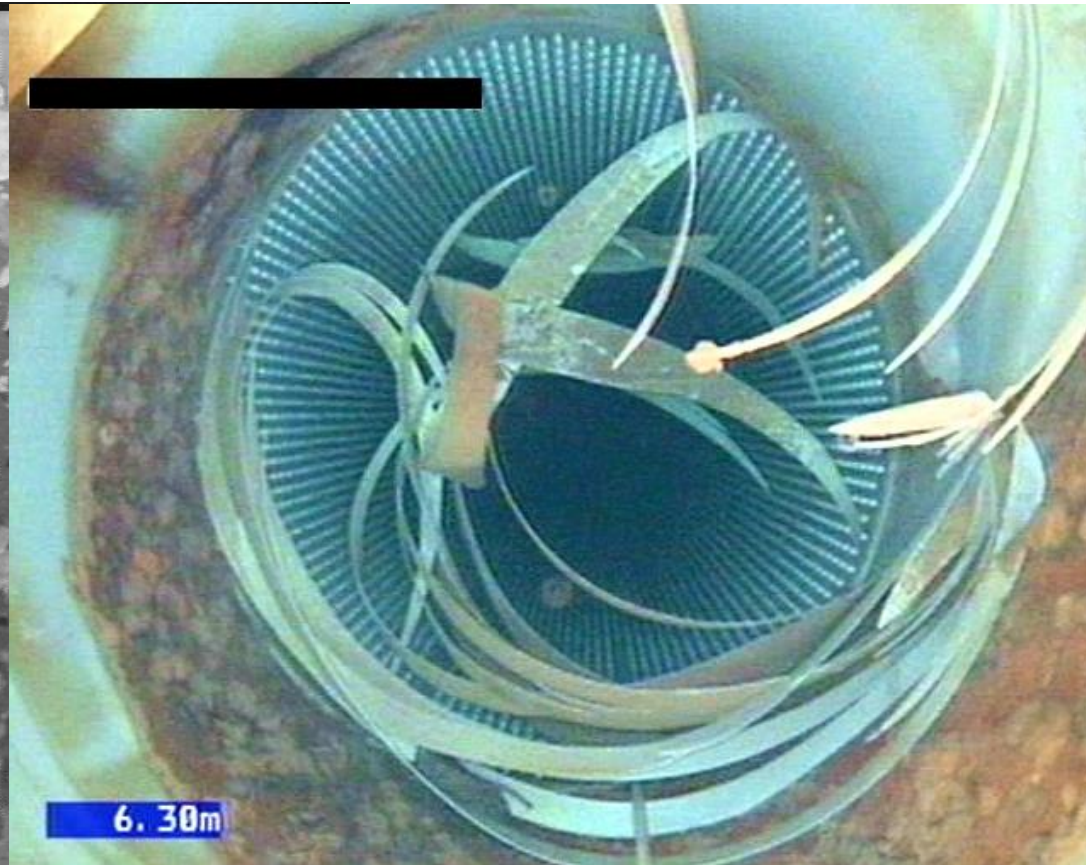
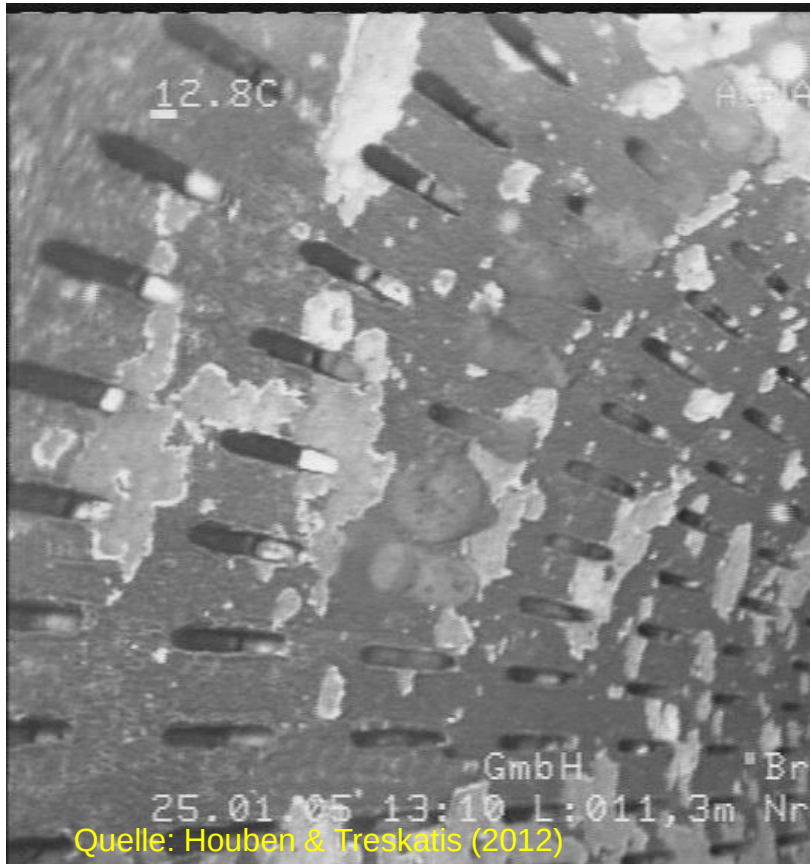
Probleme bei HD-Verfahren

- Die Hochdruckinnenspülung mit Doppelrotationsgeräten ist mit hohem Wirkungsgrad vor allem **bei Brunnen mit Versandungsneigung** durchführbar.
- Die hohen Drücke an den Austritten **belasten das Ausbaumaterial stark**.
- Drücke von mehr als 300 bar können PVC-Rohre in einer Entfernung von 25 mm (Düsenabstand zur Brunnenrohrwand) **zerschneiden** konnten.
- Drücke < 200 bar waren für PVC-Rohre unschädlich; bei Stahlrohren konnten Drücke von mehr als 500 bar keine Schäden hervorrufen.
- Eine **permanente Überwachung** des Rotationsvorgangs der gegenläufig arbeitenden Düsenköpfe und der Drücke ist erforderlich, um eine Beschädigung der Ausbauten zu vermeiden.
- **Neben der mechanischen Beschädigung der Ausbauten führen die Impulse und Schwingungen zu einer Verdichtung und Setzung der Ringraummedien**



Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Ergebnis einer unsachgemäßen HD-Anwendung in einem Steinzeugrohr und einem beschichteten Stahlrohr



Kombiniertes Intensiventnahmeverfahren mit Impulstechniken

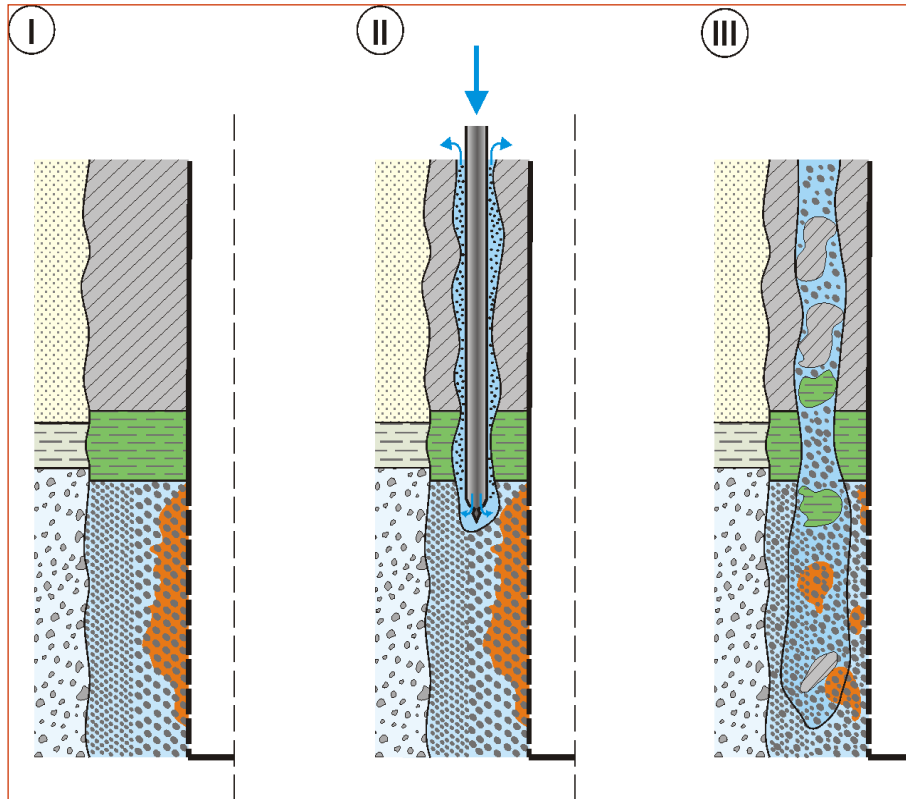


Symmetrische
Doppelkolbenkammer



Fotos: P. Nillert

Selten angewendet: Außenspülung mit Lanzen



- I = Brunnenringraum vor der Verfahrensanwendung (dunkel gefärbter Bereich deutet die Lage der Inkrustierungen an)
- II = Einführung der Spüllanze
- III = Aufbrechen der Inkrustationen und Vermengung mit dem Filterkies; **die Ringraumabdichtung ist ebenfalls zerstört und unwirksam.**

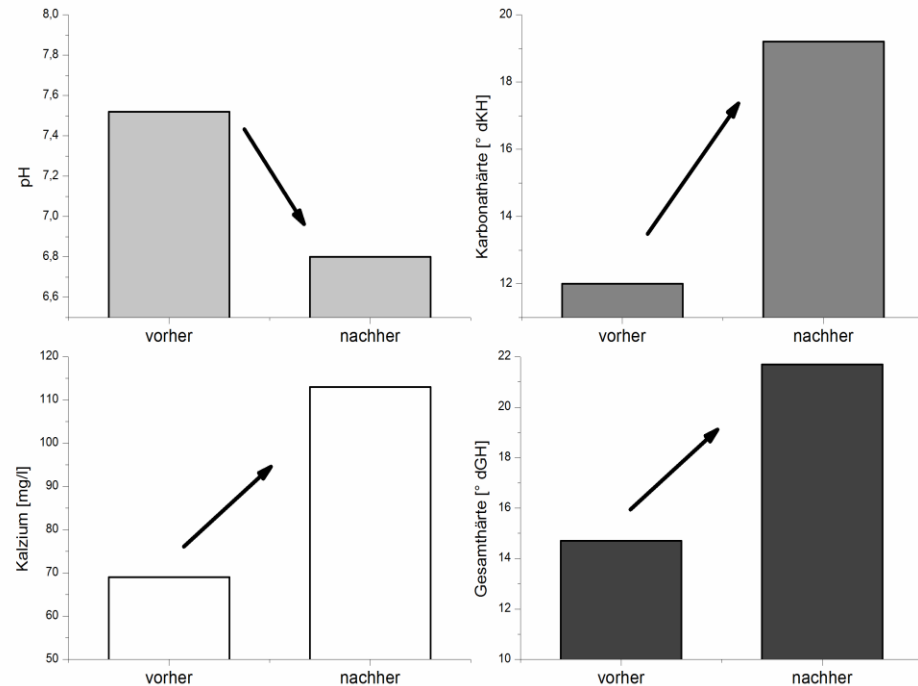
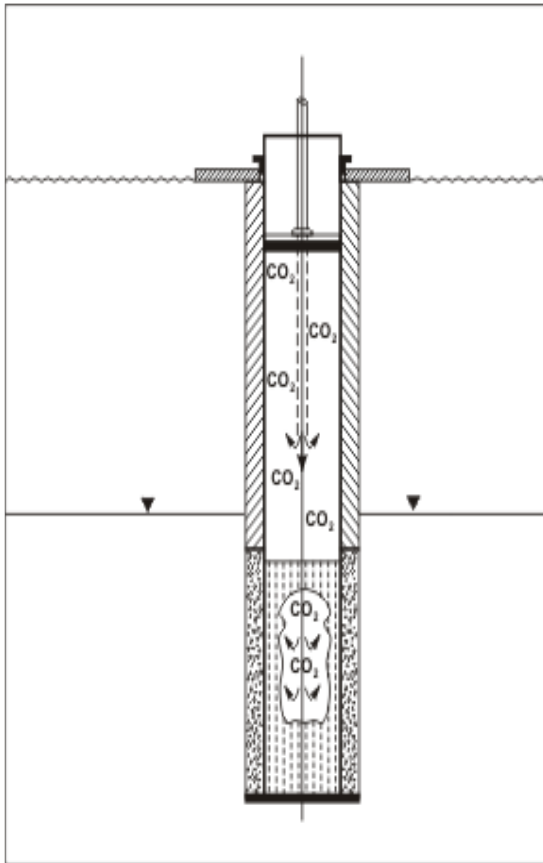
Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Gründe: Nachteile der Außenspülung

- irreversible Zerstörung der Ringraumabdichtung
- Zerstörung der Textur der Kiesschüttung, insbesondere bei differenzierten und Mehrfachschüttungen
- Verdichtung der Kiesschüttung
- Beschädigung der Brunnenrohre

Auswirkungen einer CO₂-Regenerierung auf die Wasserbeschaffenheit

Regenerierung mit tiefkalter CO₂



Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Impulsverfahren und thermische Verfahren

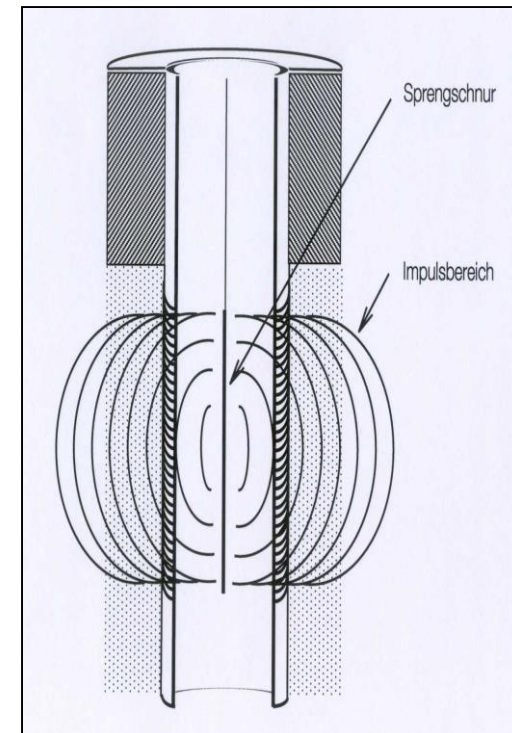
Regenerierung mit
Ultraschall



Regenerierung mit
Impulsgenerator

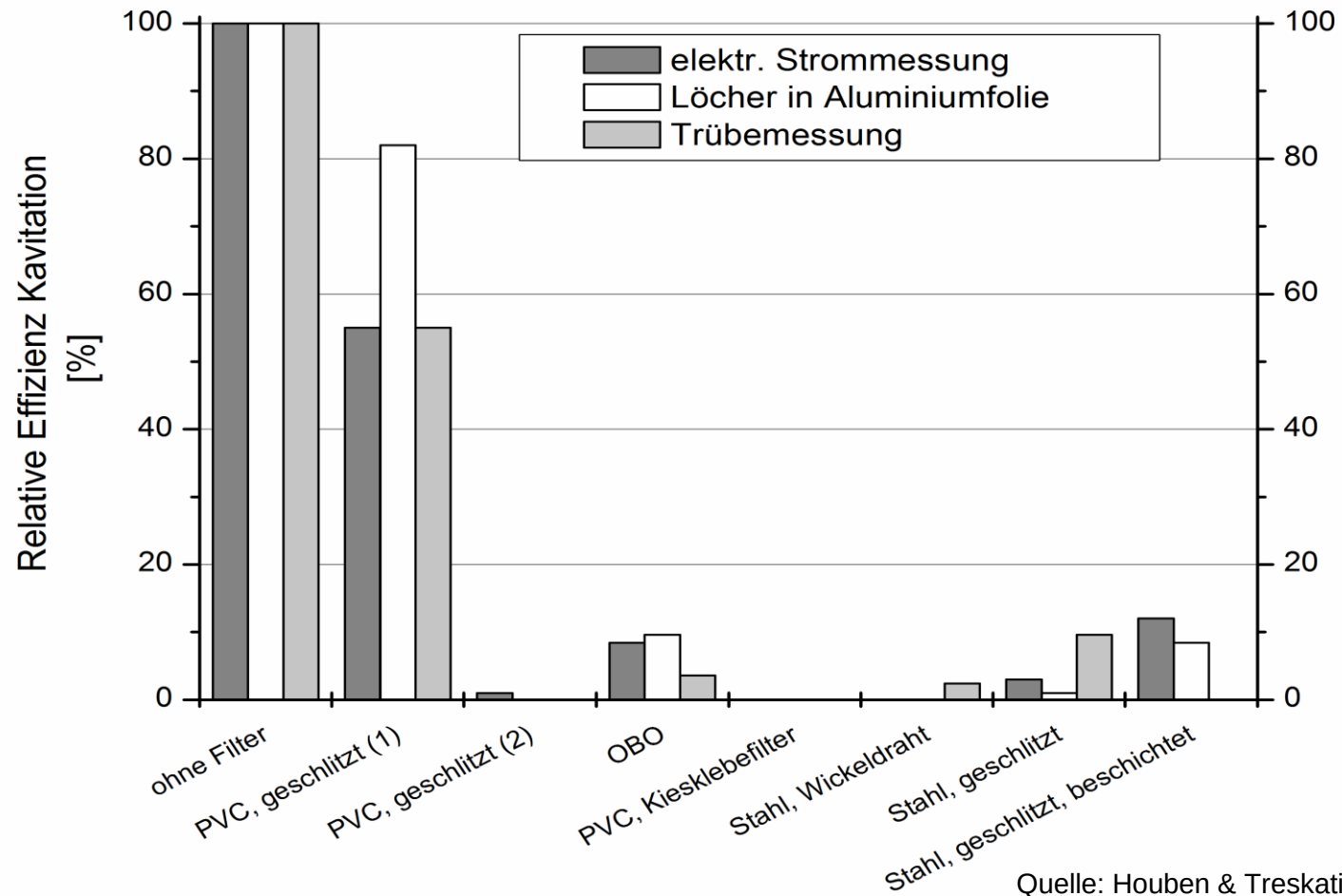


Regenerierung mit
Sprengschnüren



Quelle: Houben & Treskatis (2012)

Energieverluste beim Durchgang von Ultraschall durch verschiedene Filtermedien



Wirkungsweise und Nachteile der Ultraschalltechnik und Impulsverfahren

Die Wirkung von Impulsen beruht auf

- unterschiedlichen Bewegungs- bzw. Schwingungsraten aufgrund verschiedener elastischer Eigenschaften der Komponenten des Brunnens (Ausbaumaterialien, Filterkies, Inkrustationen), die zu gegeneinander wirkender Reibung führen, wodurch es zur Trennung von angelagerten Inkrustationen kommt.
- Resonanzeffekte (nur bei Impulsfolgen), die bei einer bestimmten Frequenz, der sogenannten Eigenfrequenz, Schwingungen eines beschallten Objektes auslösen.
- Verflüssigung thixotroper Fluide, z. B. von Gelen (Alltagsbeispiel Ketchup, der erst nach mechanischer Anregung (Schütteln) flüssig wird).

Nachteile:

- Beschädigung von spröden oder vorgeschädigten Ausbauverrohrungen.
- Setzung bzw. Kompaktion der Kiesschüttung, die zu einer Verringerung der Durchlässigkeit und zu einem Verrutschen der Ringraumabdichtung führen kann.

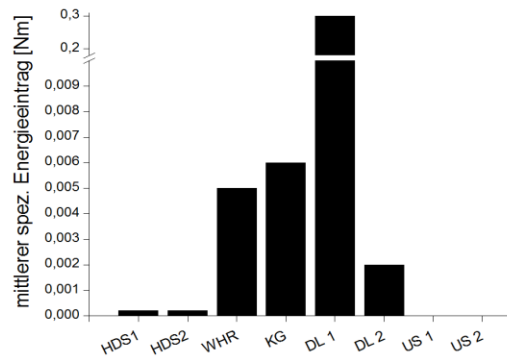
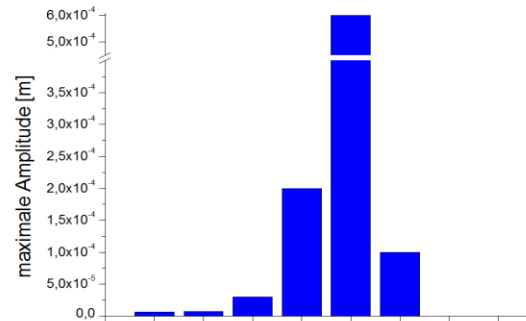
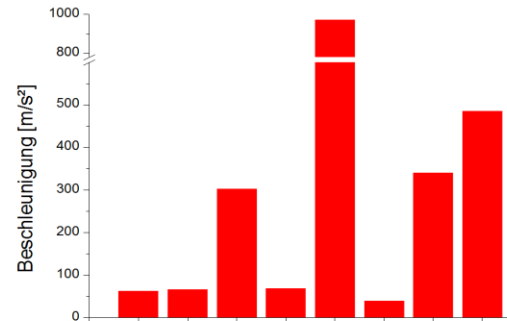
Methodenvergleich:

Reichweite des Energieeintrags bei der Regenerierung von Brunnen

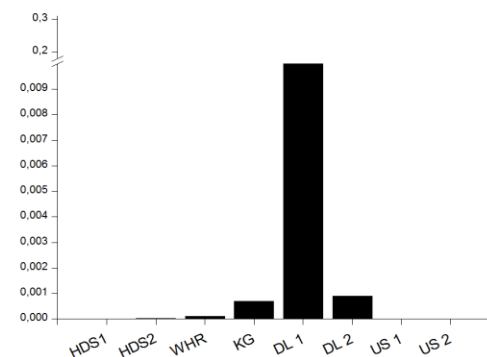
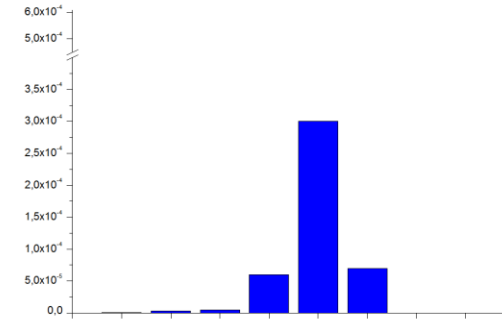
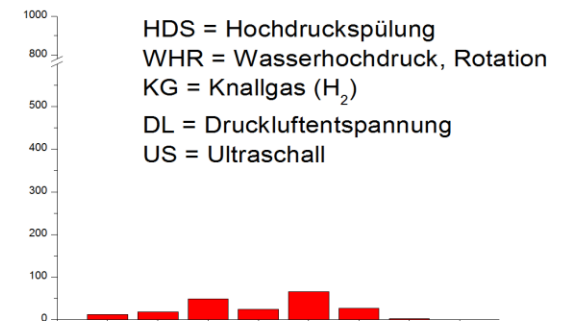
Fazit:

Die meisten Regenerierverfahren sind nur im unmittelbaren Filternahbereich wirksam; nur wenige regenerieren den gesamten Kiesraum um den Filter.

Kiesschüttung
4 cm hinter Filterrohr

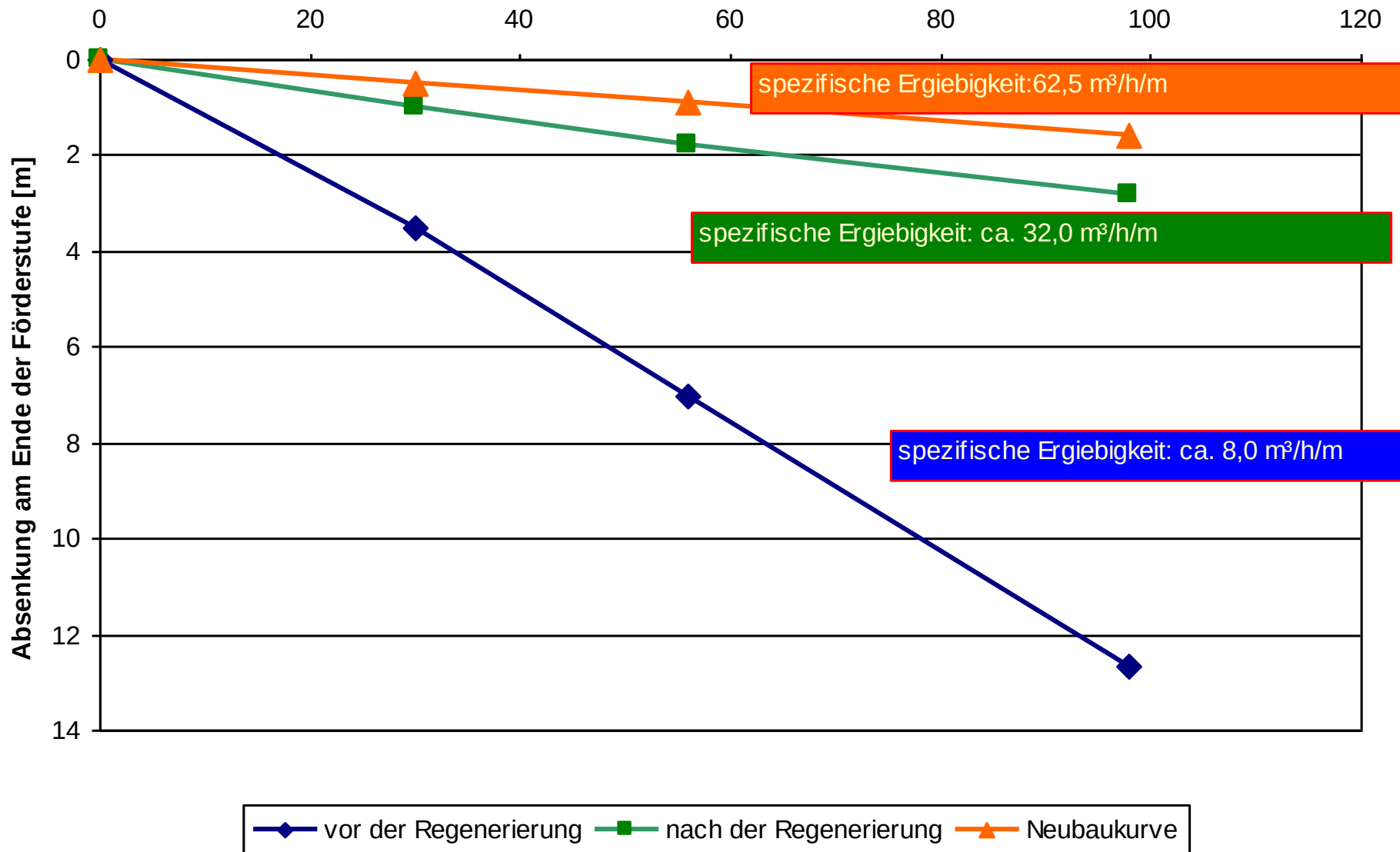


Grundwasserleiter
10 cm hinter Bohrlochwand

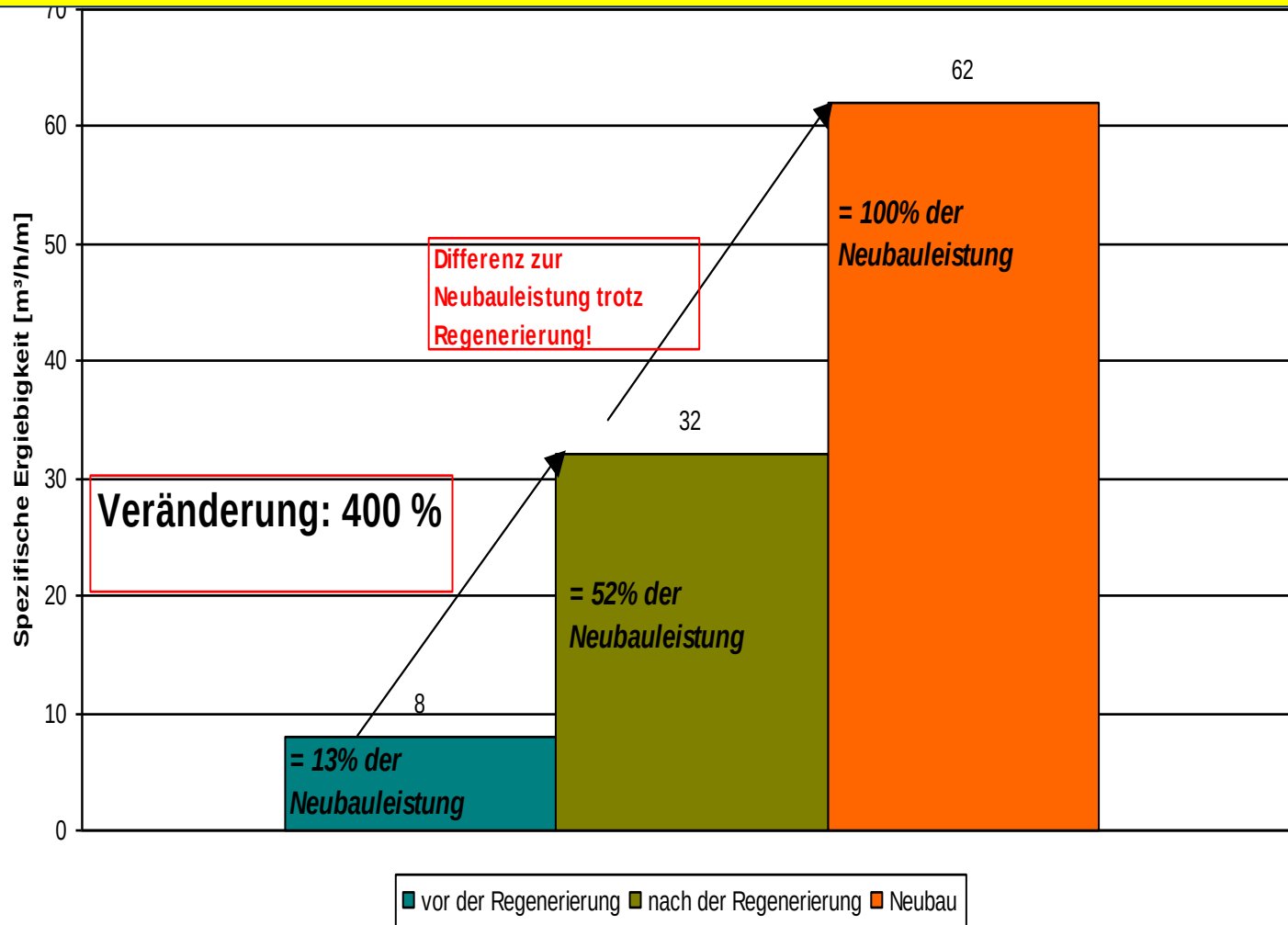


HDS = Hochdruckspülung
WHR = Wasserhochdruck, Rotation
KG = Knallgas (H₂)
DL = Druckluftentspannung
US = Ultraschall

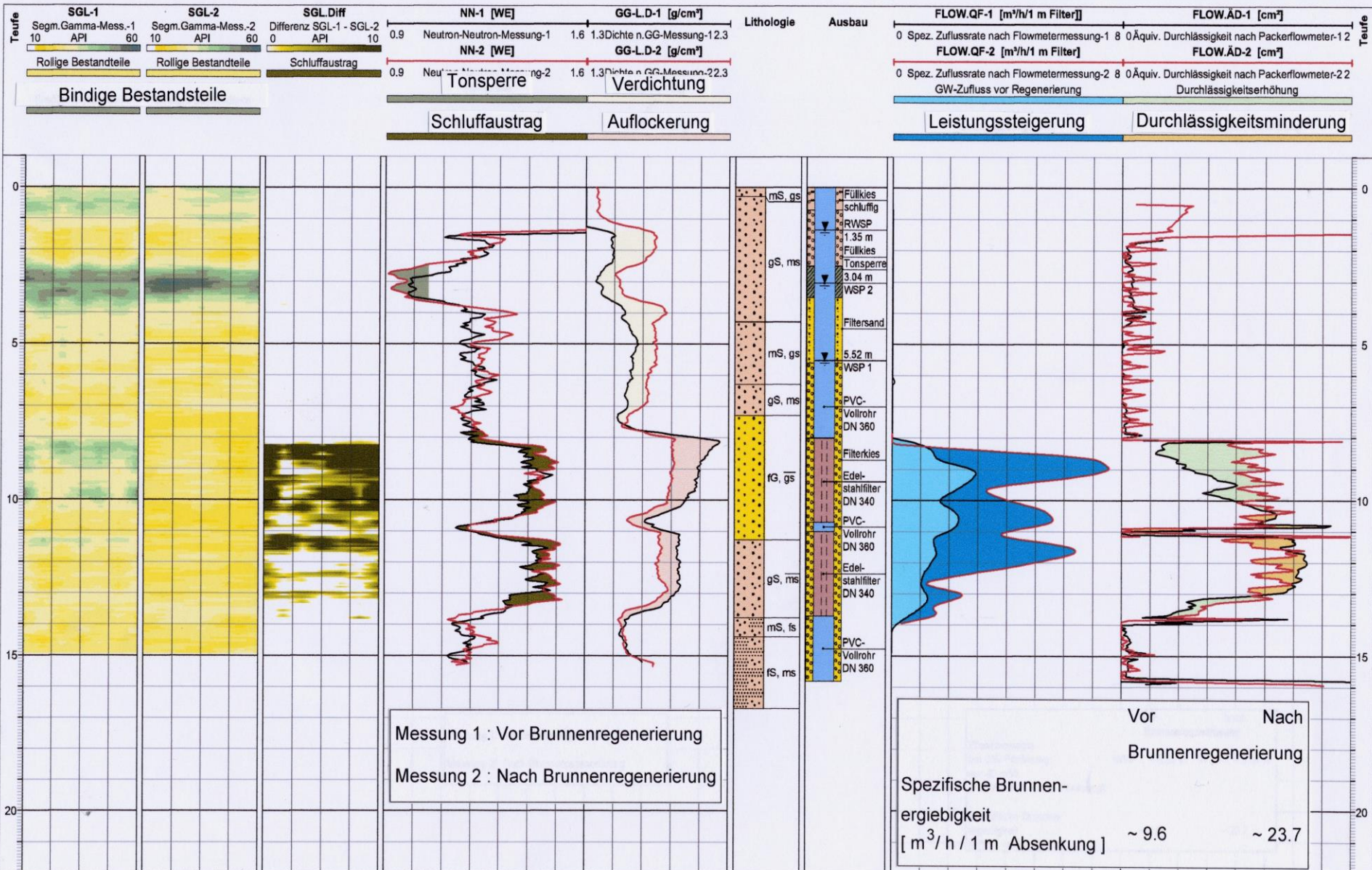
Erfolgskontrolle: Leistungskurven eines Brunnens vor, nach der Regenerierung und im Vergleich zur Neubauleistung

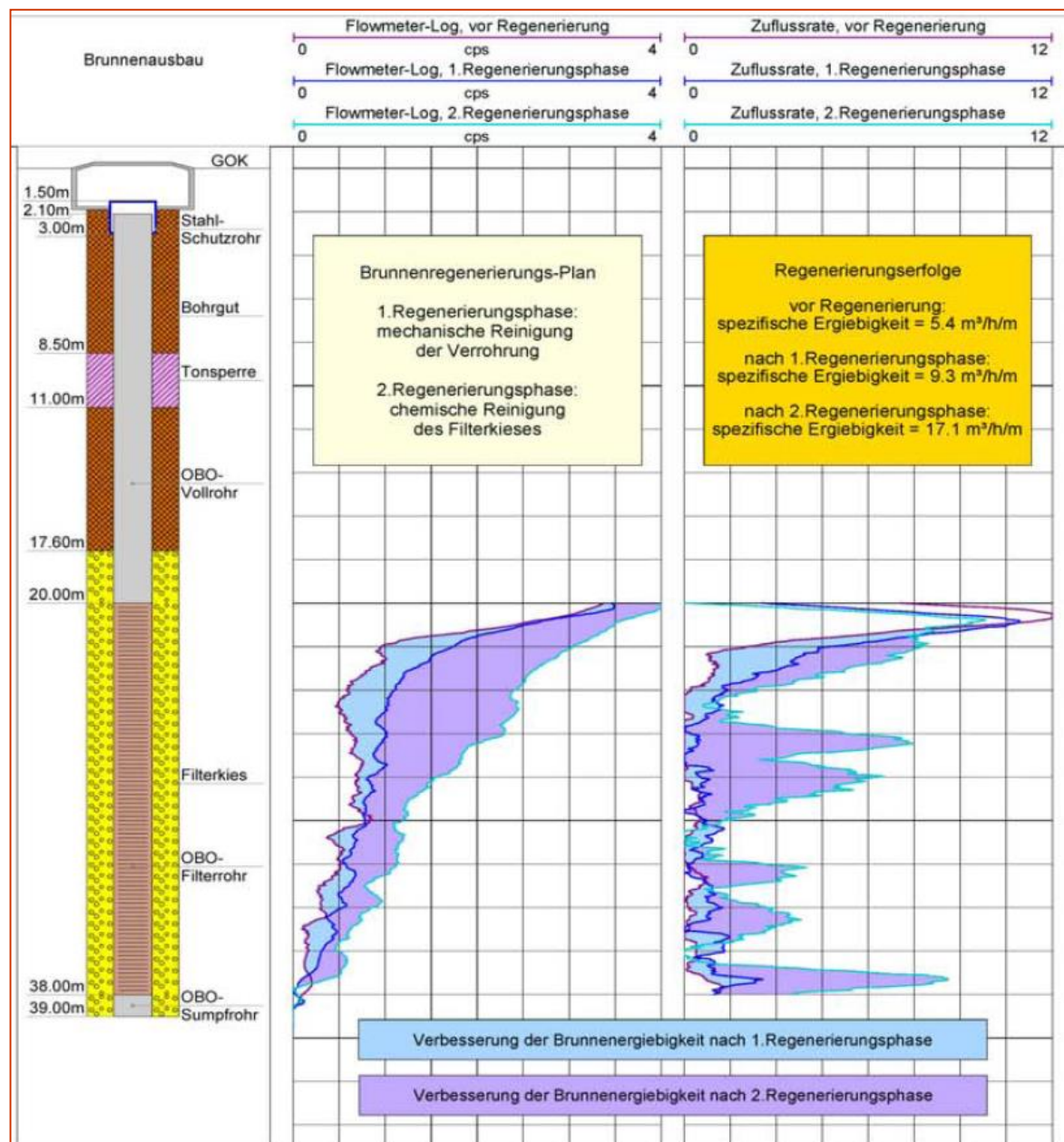


Erfolgskontrolle: Leistungszuwachs eines Brunnen vor, nach der Regenerierung und im Vergleich zur Neubauleistung

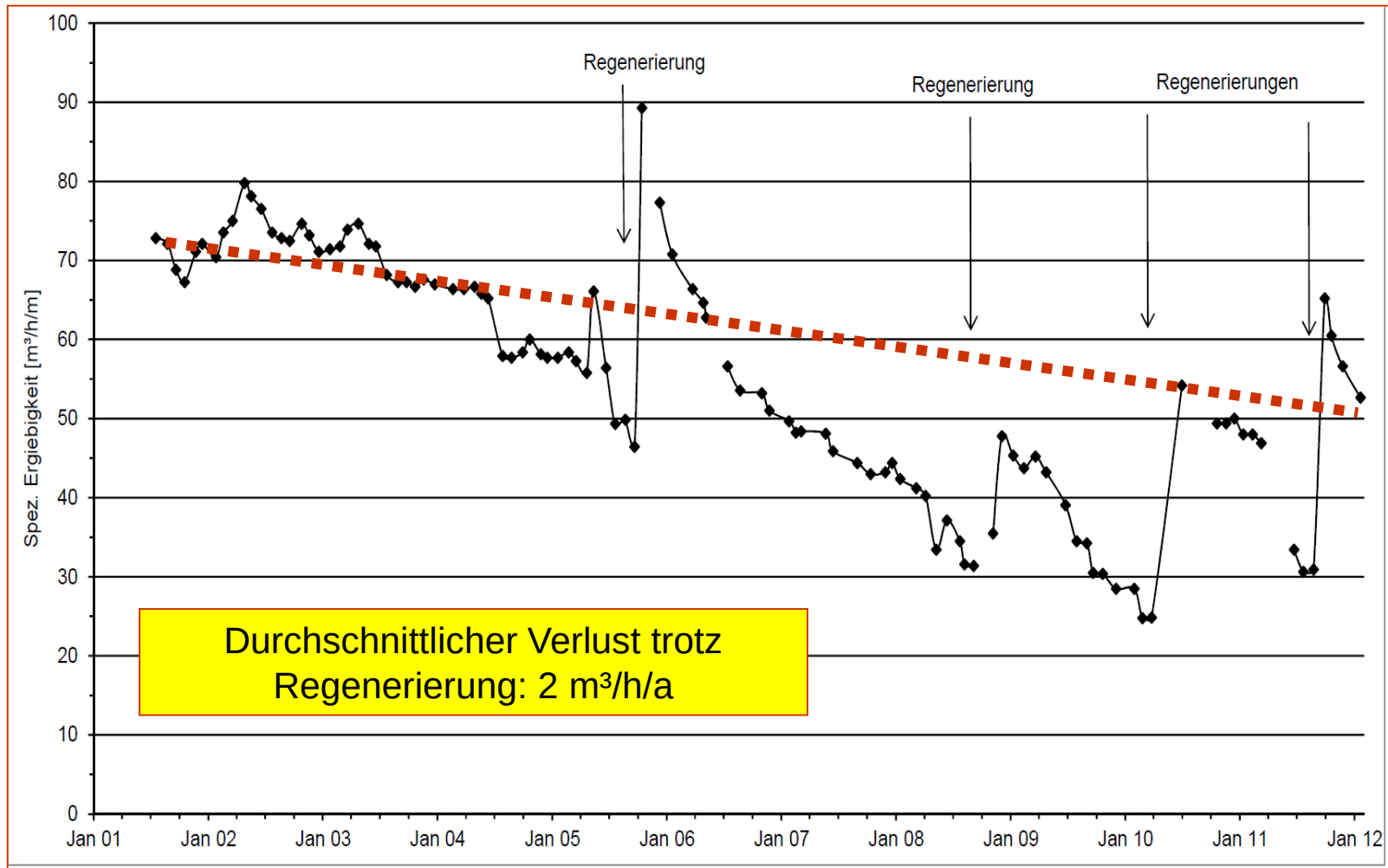


GEOPHYSIKALISCHE ÜBERPRÜFUNG DES REGENERIERUNGSERFOLGES IN BRUNNEN



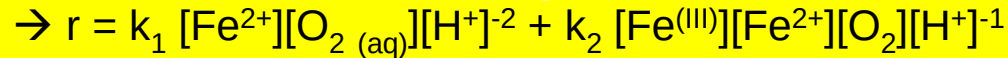


Nachhaltigkeit der Regenerierung???



Eine der Ursachen geringer Nachhaltigkeit

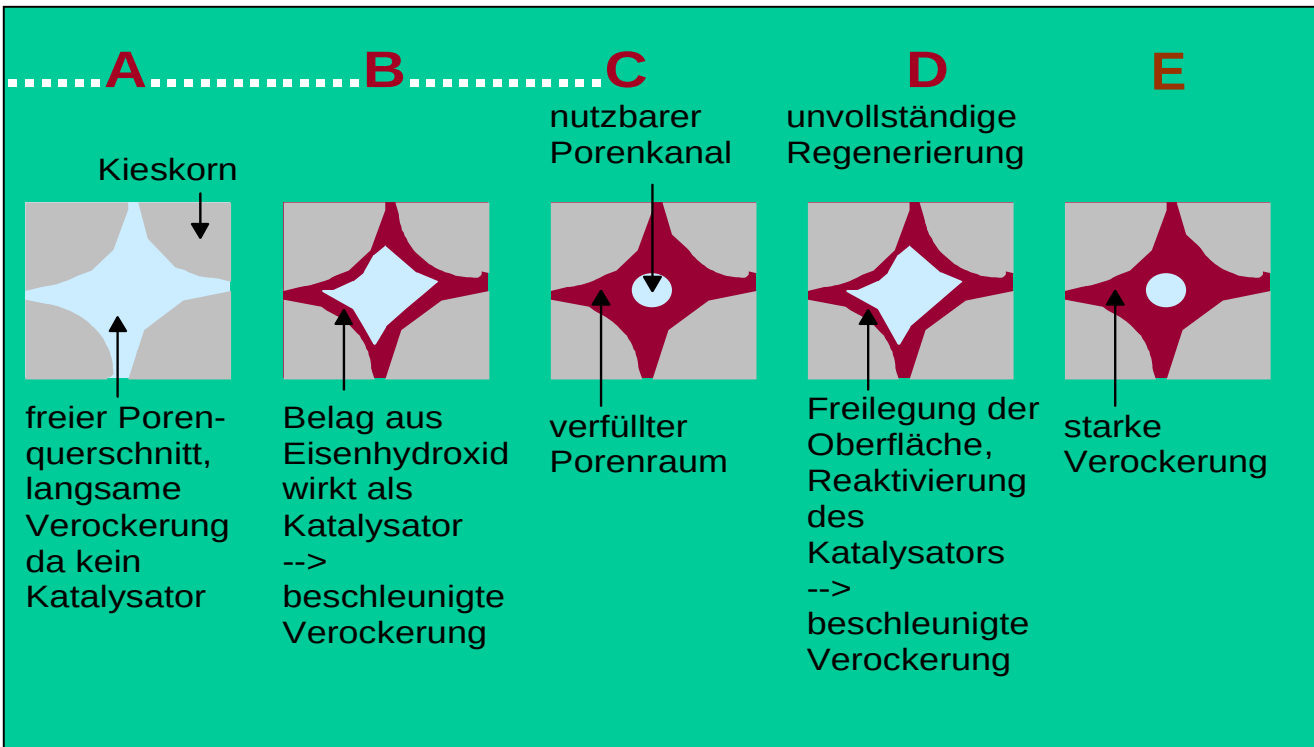
Eisenoxide wirken als **Katalysator** für die **Eisenausfällung** (Autokatalyse)



→ Verockerungsrate steigt mit **zunehmender Oberfläche** des Katalysators

→ nach der Regenerierung größere Oberfläche

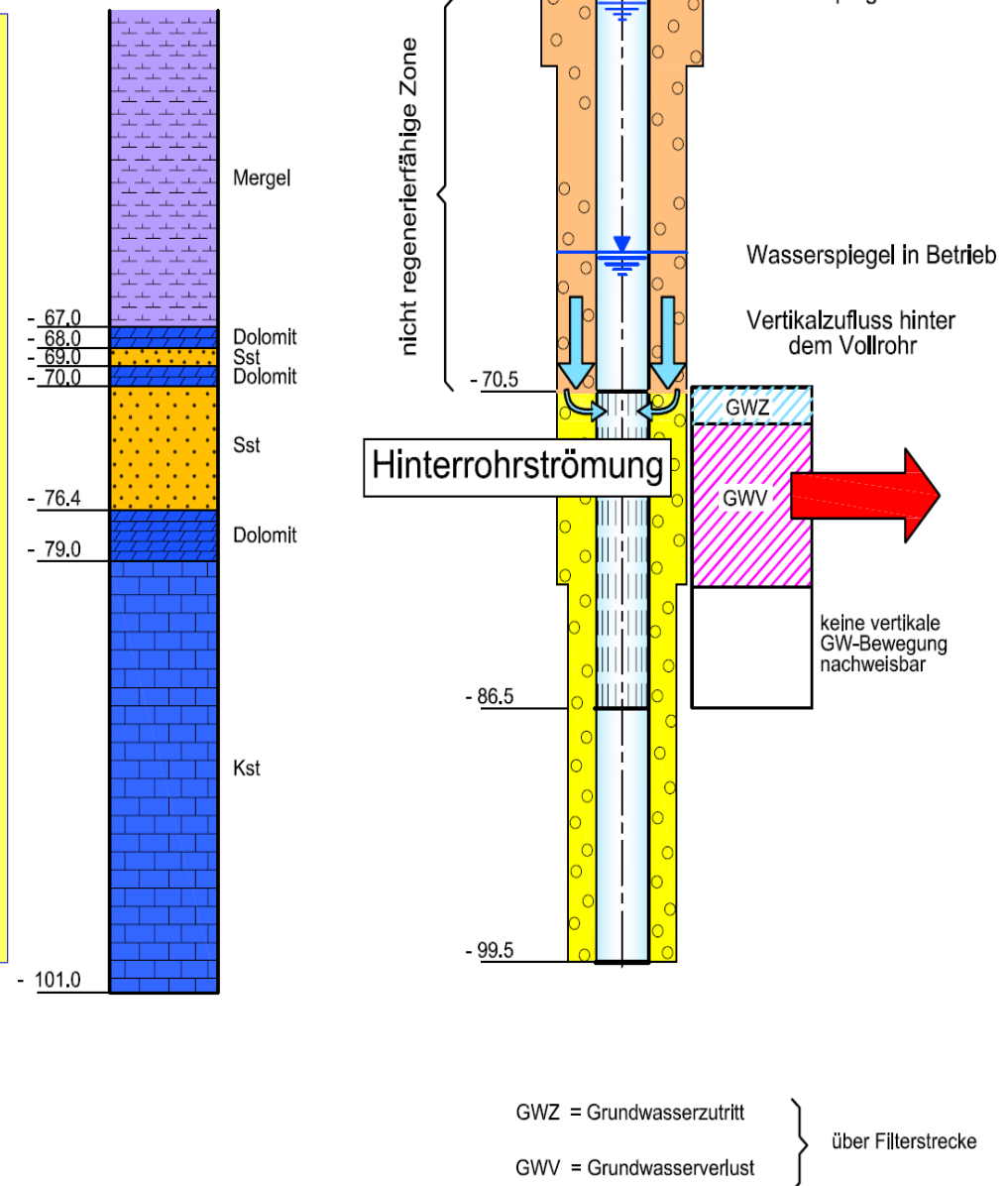
→ **beschleunigte Verockerung** bei entsprechendem **Eisendargebot** aus dem Grundwasser



Zu hohe **Überschüttungen**,
Fehlplatzierung der
Filterstrecke und eine
 vertikale **Hinterrohr-**
strömung limitieren die
 Einwirkungsmöglichkeiten
 der Entsandung und
 Regenerierung

Folge: Irreversible Kolma-
 tion der Zuflusszonen
 oberhalb der Filterober-
 kante;

Ergiebigkeitsrückgang



Vielen Dank fürs
Zuhören!



© für Bilder und Texte (sofern nicht anders vermerkt):
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@bieske.de

© Alle Bilder vom Autor (aus dem Fachbuch „Bohrbrunnen“ bzw. „Regenerierung und Sanierung von Brunnen“) sofern nicht anders indiziert