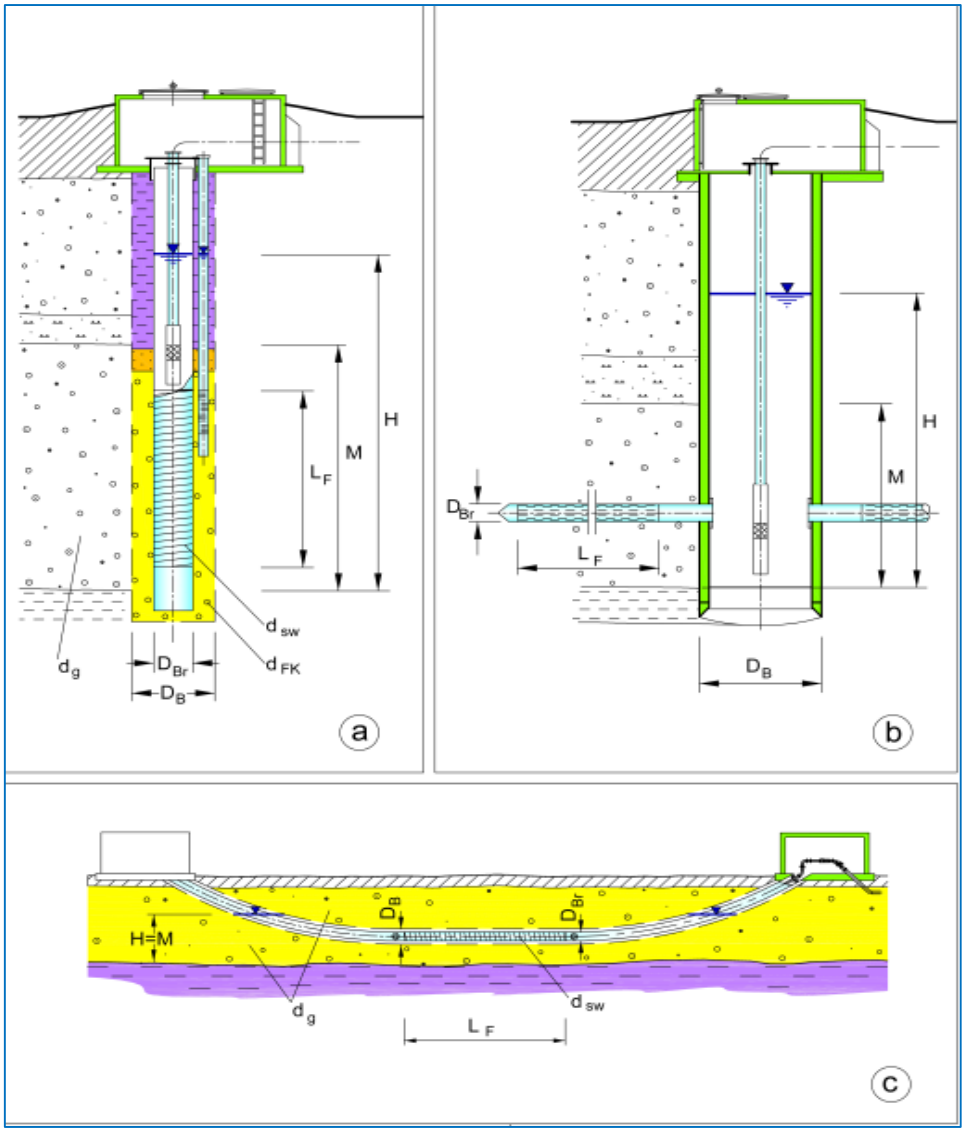
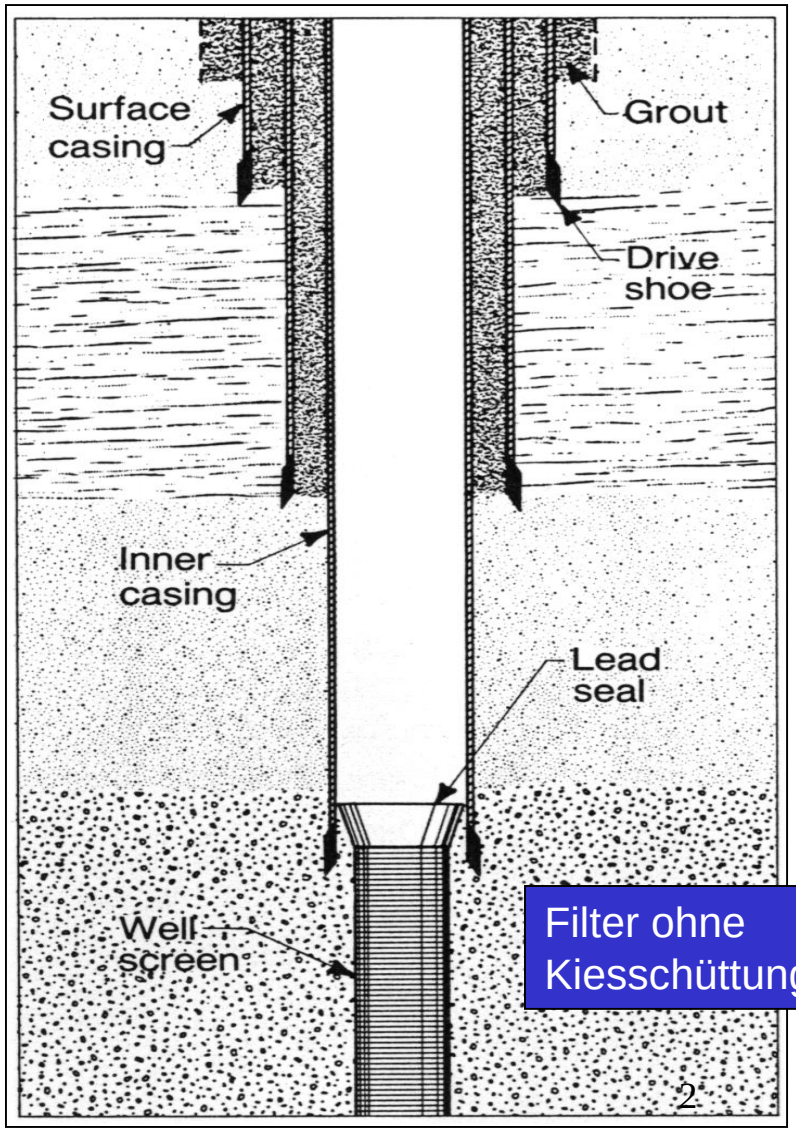
Ausbau von Bohrungen zu Brunnen

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

BIESKE UND PARTNER
Beratende Ingenieure GmbH
WASSERVERSORGUNG UND UMWELTTECHNIK

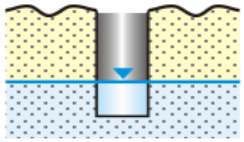
Brunnenausbauarten: vollverrohrte Brunnen



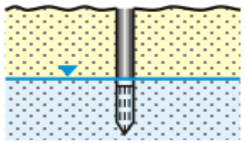


Filter ohne Kiesschüttung

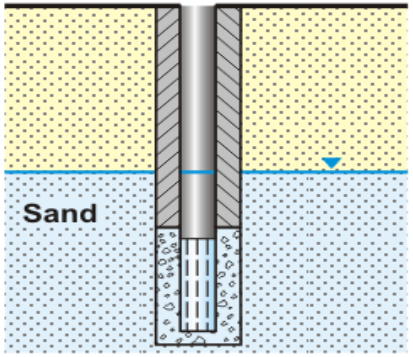
Schachtbrunnen



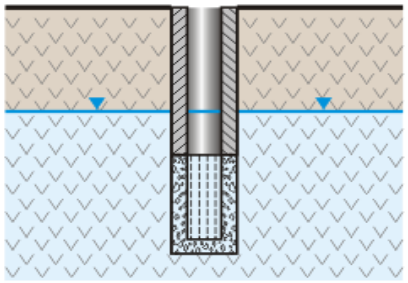
Rammbrunnen

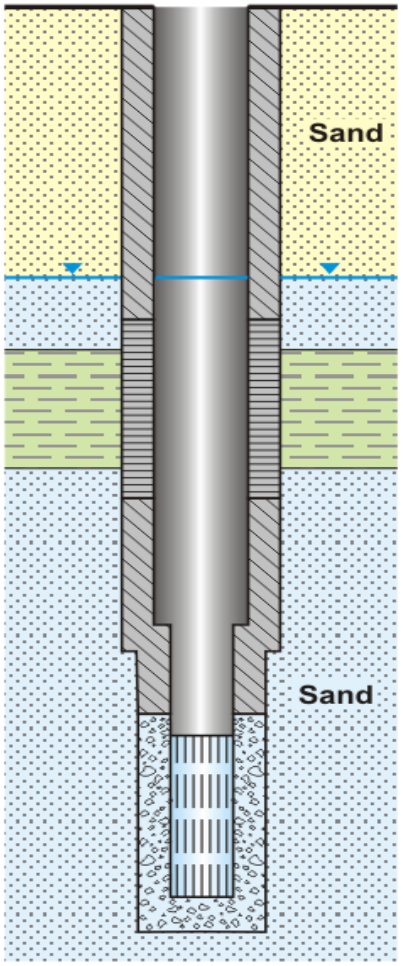


Bohrbrunnen
mit Filterkiesschüttung

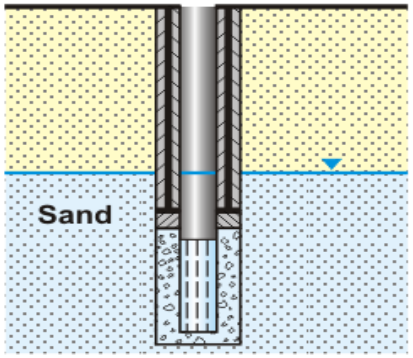


Brunnen im Festgestein
mit Filterkies

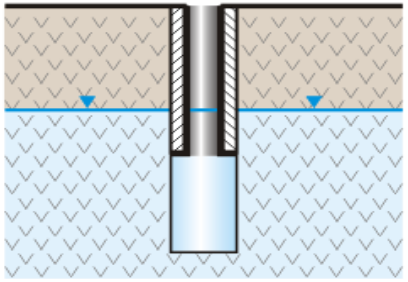




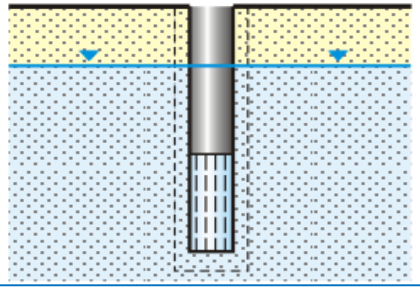
Bohrbrunnen
mit Sperrohr



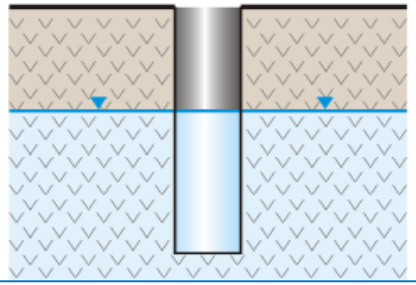
Brunnen im Festgestein
mit Sperrohr



Bohrbrunnen mit
natürlicher Entwicklung



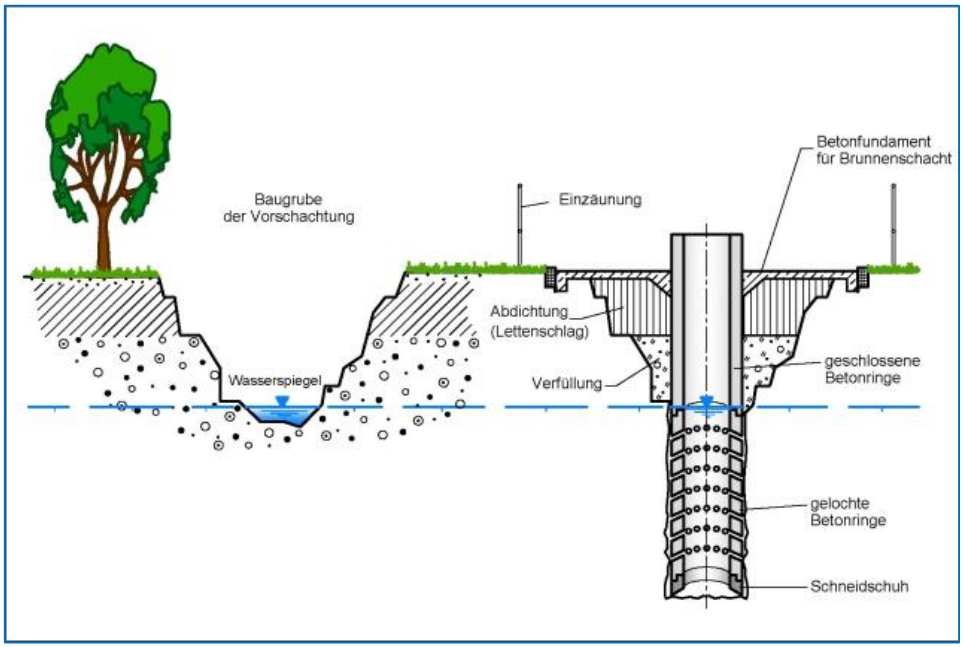
Brunnen im Festgestein
ohne Ausbau

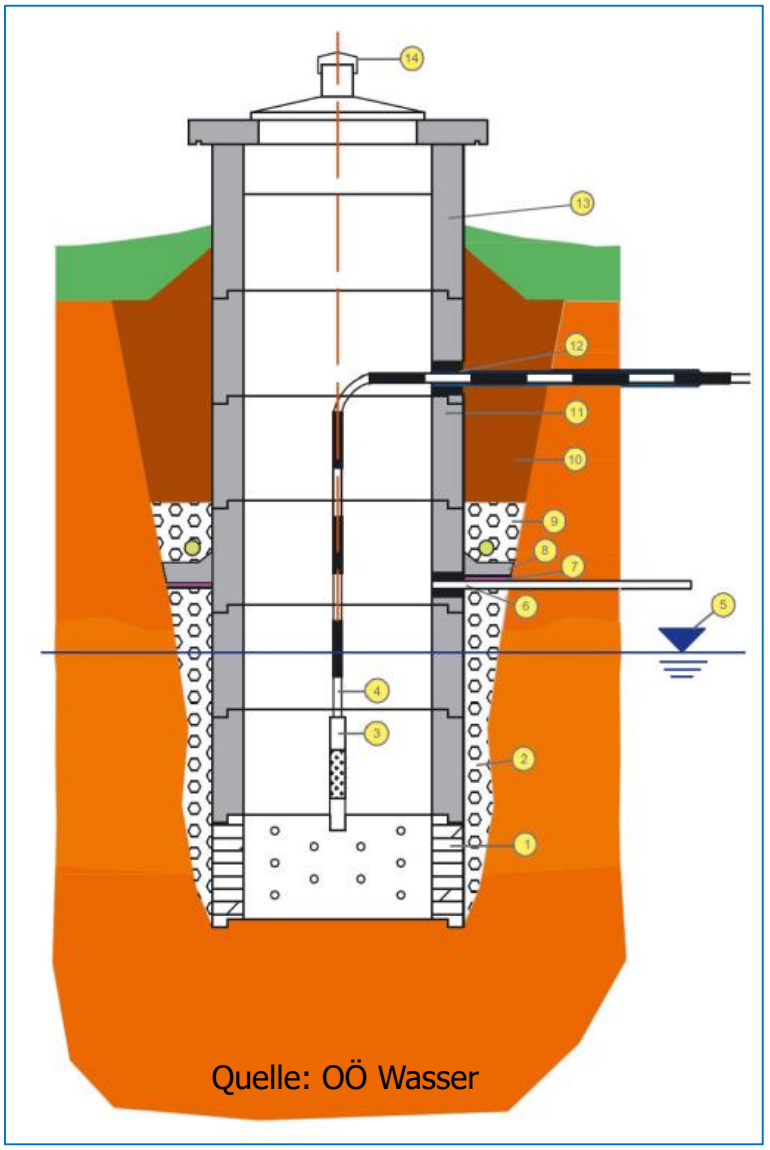


Bohrbrunnen mit
teleskopierendem Durchmesser
und selektiver
Ringraumabdichtung

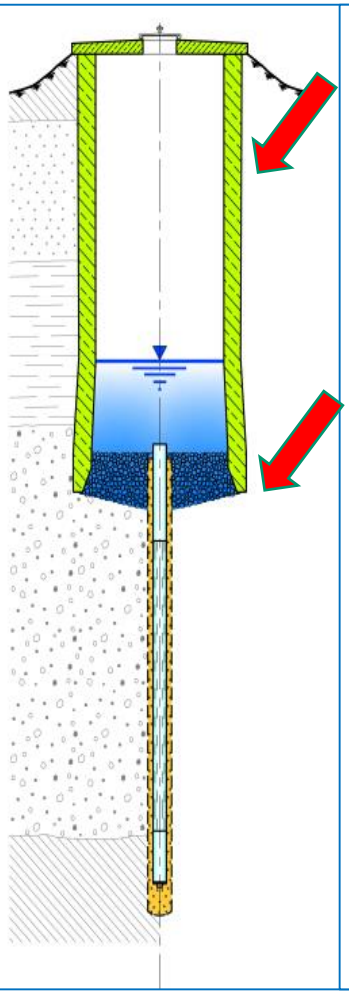
Aus Houben & Treskatis 2019

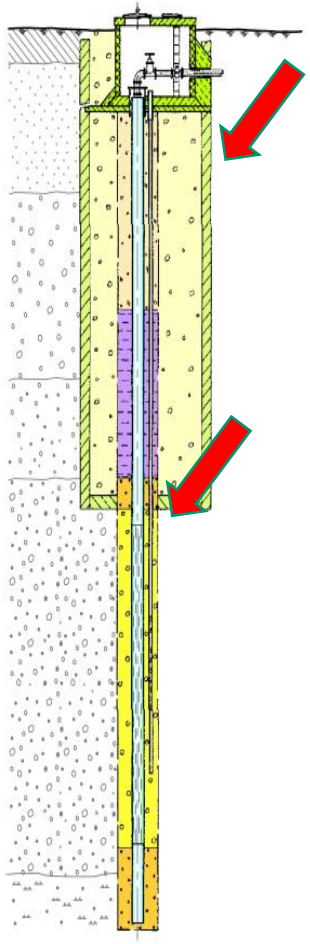
Schachtbrunnen





Exkurs: Bohrtechnisch vertiefter Schachtbrunnen





Eine **Vertiefung eines Schachtbrunnens durch eine verrohrte Bohrung** bis zur Grundwasserleiterbasis ist heute nur dann eine erfolgversprechende Sanierungsmaß-nahme zur Leistungsverbesserung, **wenn damit gleichzeitig eine Abdichtung der Bohrung sowie eine Verfüllung des alten Schachtes** einen sicheren Weiterbetrieb des Brunnens am gleichen Standort gewährleisten können.

Dazu muss zuvor überprüft werden, ob der Übergang zwischen dem Bestandsschacht und dem Gebirge ausreichend dicht ist und einen Schutz des in der Vertiefung gewonnenen Grundwassers gegenüber Beeinträchtigungen der Wasserbeschaffenheit darstellt.

Grundsätzliche Anforderungen an den Brunnenausbau

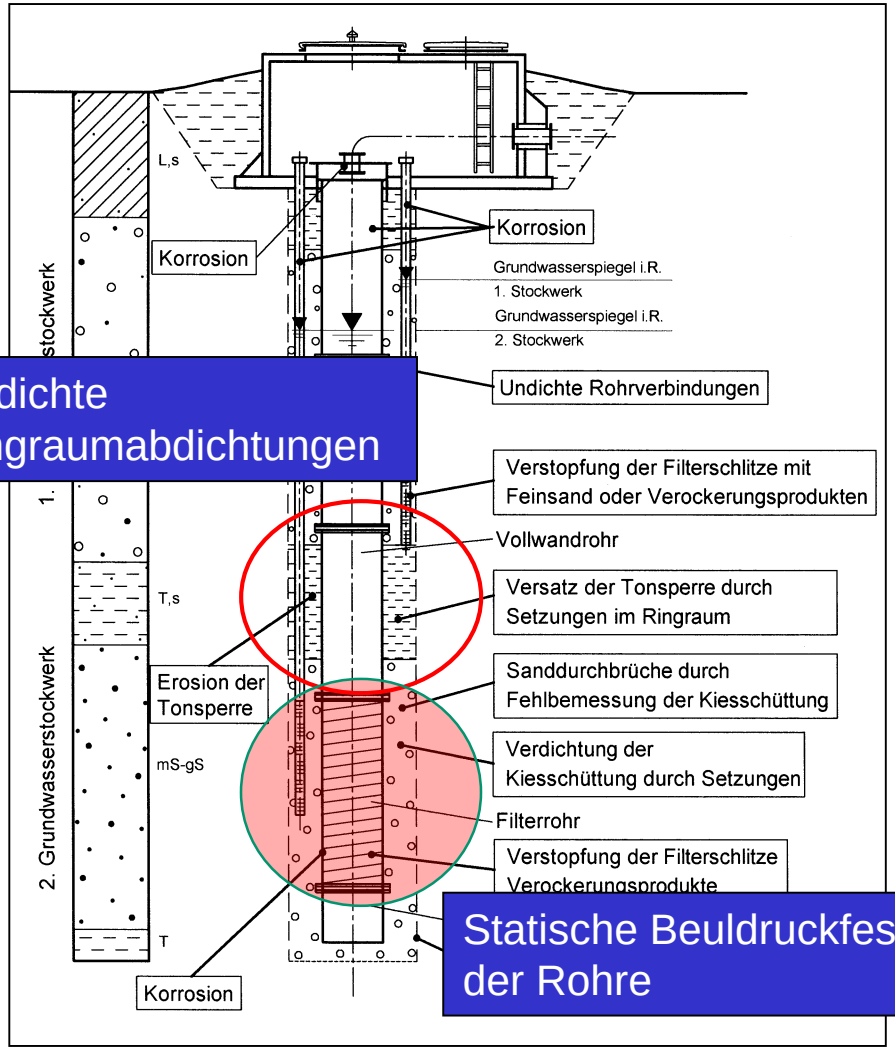
- Verfilterung der aktivierbaren Zuflusszonen
- Abdichtung des Bohrloches gegenüber Fremdwasser-zuflüssen
- Beachtung der Lage des abgesenkten Betriebswasser-spiegels in Relation zur Filteroberkante
- Wahl von korrosionsbeständigen Materialien
- Keine Abgabe von Stoffen an das Wasser (Trinkwasserhygiene)
- Ermittlung der statischen Erfordernisse
- Ausbauplanung hinsichtlich späterer Regenerier- und Sanierbarkeit

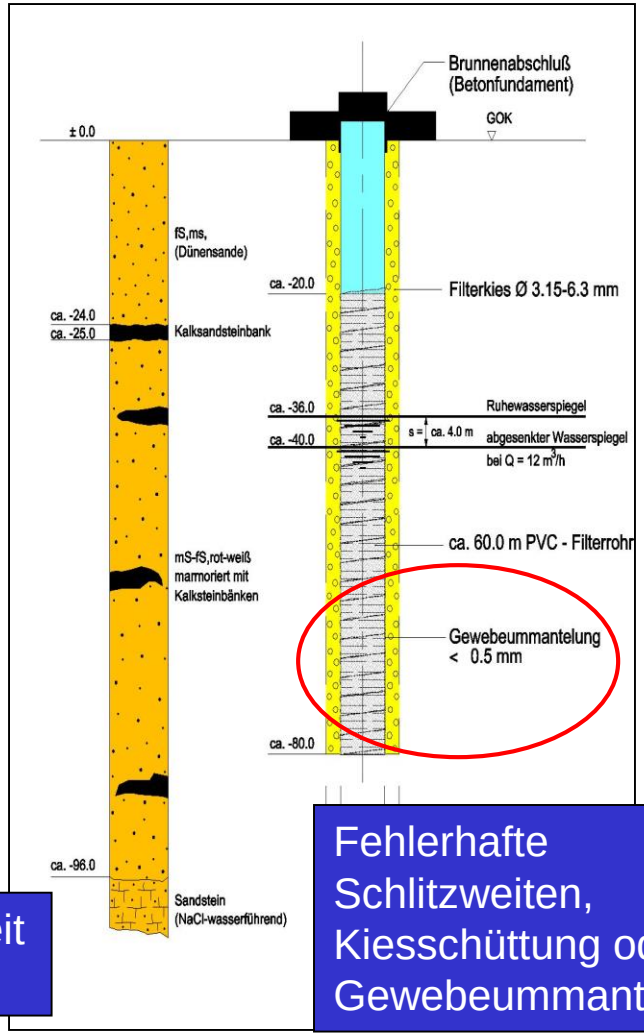
Qualitätsanforderungen beim Brunnenausbau

Einige Gedanken zu den Qualitätszielen bei…

1. ***Planung des Ausbaus***
2. ***Bau/Herstellung der Bohrung vor Ausbau***
3. ***Betrieb und Unterhaltung nach Ausbau***

Hauptproblemzonen in Ausbauten von Bohrbrunnen





Festigkeitsschäden beim Einbau

Qualitätsziele der Planung

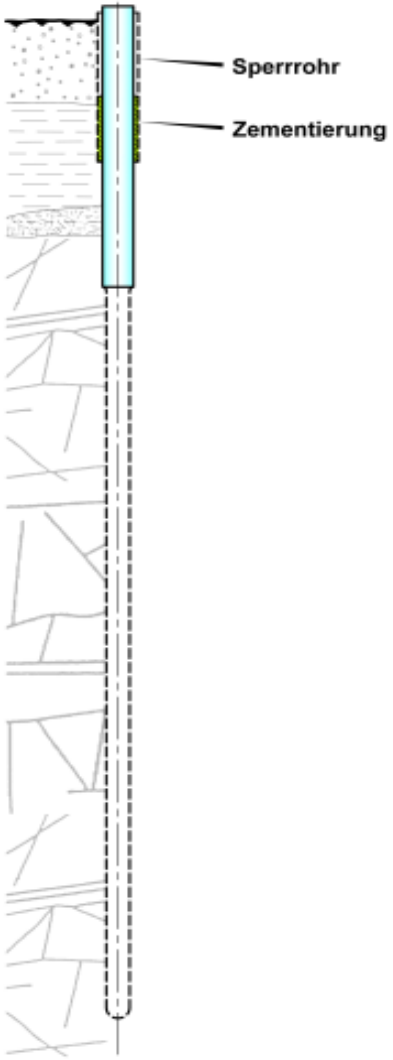
Optimale Standortnutzung

Hydraulische Anbindung des Brunnens unter Beachtung der „hydraulischen Kette“ (Zunahme des Durchlässigkeitsbeiwertes vom Gebirge über die Bohrlochwand, Ringraumschüttung bis zum Filterrohr…)

Ausbauplanung mit qualitativ ***geeignetem*** Material und Abstimmung auf die Zuflusszonen sowie die Kornzusammensetzung des Grundwasserleiters

Positioniertes LV mit klarer ***Definition der qualitativen Anforderungen*** an die Ausführung

Exkurs: Vorteile teilverrohrter, filterloser Brunnen



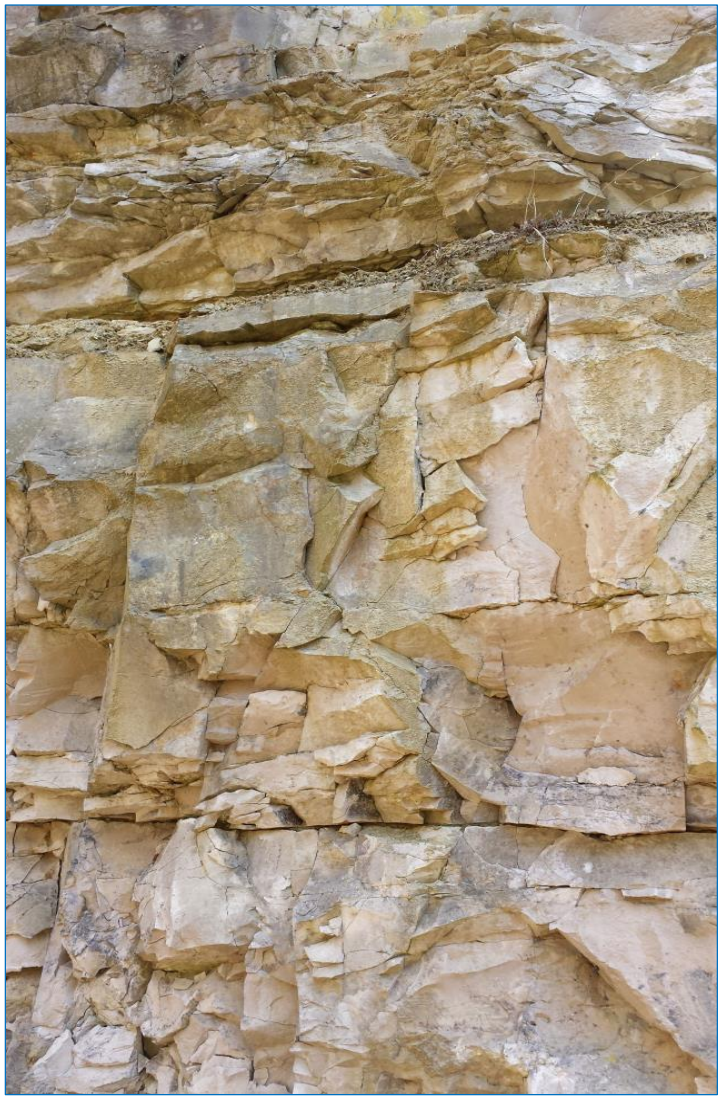
Filterlose Bohrbrunnen werden ohne Ausbauverroh-rungen und Ringraumschüttungen hergestellt. Meist schützt eine **Sperrverrohrung den Pumpensitz** und den oberen Teil des Bohrloches, damit die Verwitterungs-zone oder nicht standfeste Gesteinspartien z. B. gegen Nachfall oder Druckstöße der Pumpe gesichert werden. **Einige Gründe sprechen für den filterlosen Ausbau**

- Einsparung der Kosten für die Ausbaumaterialien
- keine Reduktion des Durchmessers und der Brunnenmantelfläche durch die Ausbauten
- Minimierung des Eintrittswiderstandes, der durch die Ausbauten entsteht (z. B. durch die Filterschüttung, die die Klüfte verschließen oder durch ausgewaschene die Kluftfüllungen kolmatieren kann)

Einblicke in teilverrohrte Brunnen

Prüfkriterien zur Entscheidungsfindung für oder gegen teilverrohrte Ausbauten

- Kriterien zur Einstufung der Festigkeit des Gebirges ? (***Dauerhafte*** Standfestigkeit? Teleskopierung erforderlich? Cuttings? Spülungsverluste? Zuflusszonen?...)
- Sandführung / Absandungsgefahr?
- Kolmatierung durch Spülung? Filterkuchenbildung und dessen schadlose Entfernung?
- Regenerierfähigkeit?



Alterungsphänomene in filterlosen Brunnen

- Brunnen mit Absandungs-erscheinungen,
- Brunnen mit asymme-trischem Querschnitt
- Brunnen mit Auswaschun-gen an den Schicht- und Bankungsfugen
- Brunnen mit Kavernen-bildung
- Brunnen mit eingerutschten Gebirgsblöcken oder Kluftkörpern
- Brunnen mit Erosions-erscheinungen an den Klüften

- Brunnen mit signifikanter Sperrrohrhinterströmung und Freispülung des Zementationsfußes
- Brunnen mit mächtigen Auflandungen, die die Zuflusszonen absperren können
- Brunnen mit Lochfraß im Sperrrohr
- Brunnen mit Querschnittsreduk-tionen durch Inkrustationen

Verbesserungspotenziale für die Ausbauplanung durch…

- Vorschalten einer Aufschlussbohrung mit vollständiger Kernung der geplanten Fassungshorizonte (z. B. Inliner-Kernbohrungen, schichtenspezifische Siebanalysen)
- Hydraulische und mechanische Bemessung des Brunnens
- Verwendung von Filterkiesen mit hohen Reinheitsgraden und geringem Unterkorn oder Schluffkornanteil
- Anwendung der neuen DIN 4924 (erweiterte Schüttkorngruppen)
- Überprüfung der hydraulischen Wirkzusammenhänge, wie z. B. der Position der Filterstrecke in Relation zu den Zuflusszonen und zum Betriebswasserspiegel
- Beachtung der Korrosionspotenziale im Brunnenausbau
- Verwendung ***wirksamer und nachweisbarer*** Abdichtungen

Qualitätsziele für Herstellung der Bohrung…

Qualitätsziele:

Kaliberhaltigkeit und Vertikalität der Bohrung bis zur geplanten Endteufe

Durchführen eines **sinnvollen Spülungsaustausches** bzw. **Vermeidung irreversibler Filterkuchen** an der Bohrlochwand

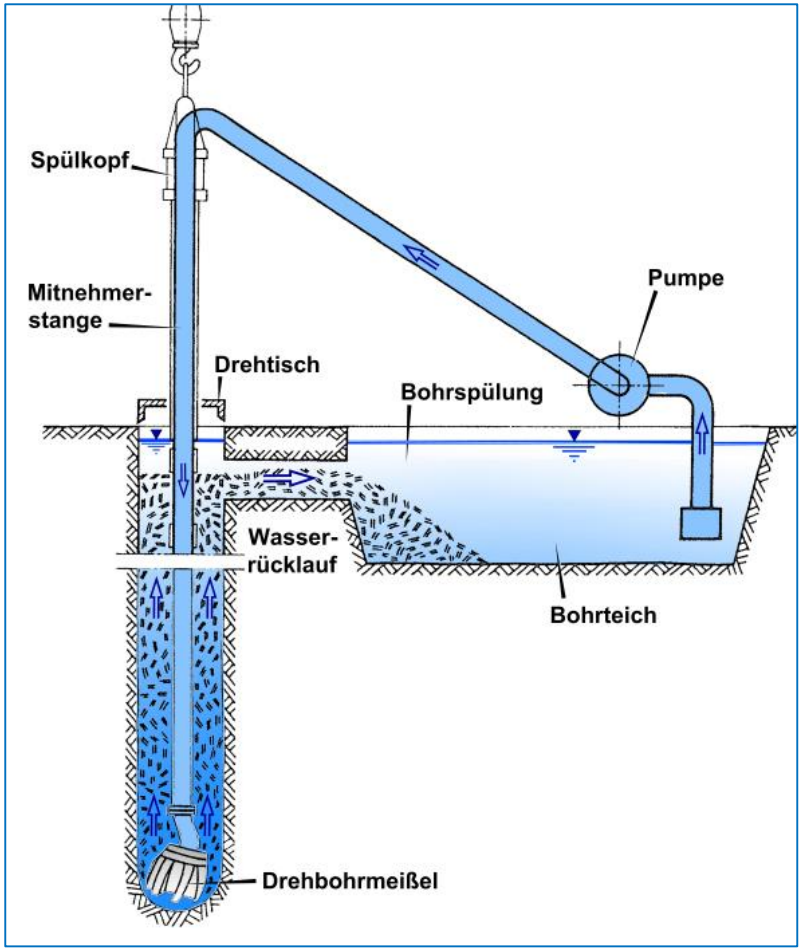
Sicheres Einbauen der Rohre und Schüttungen

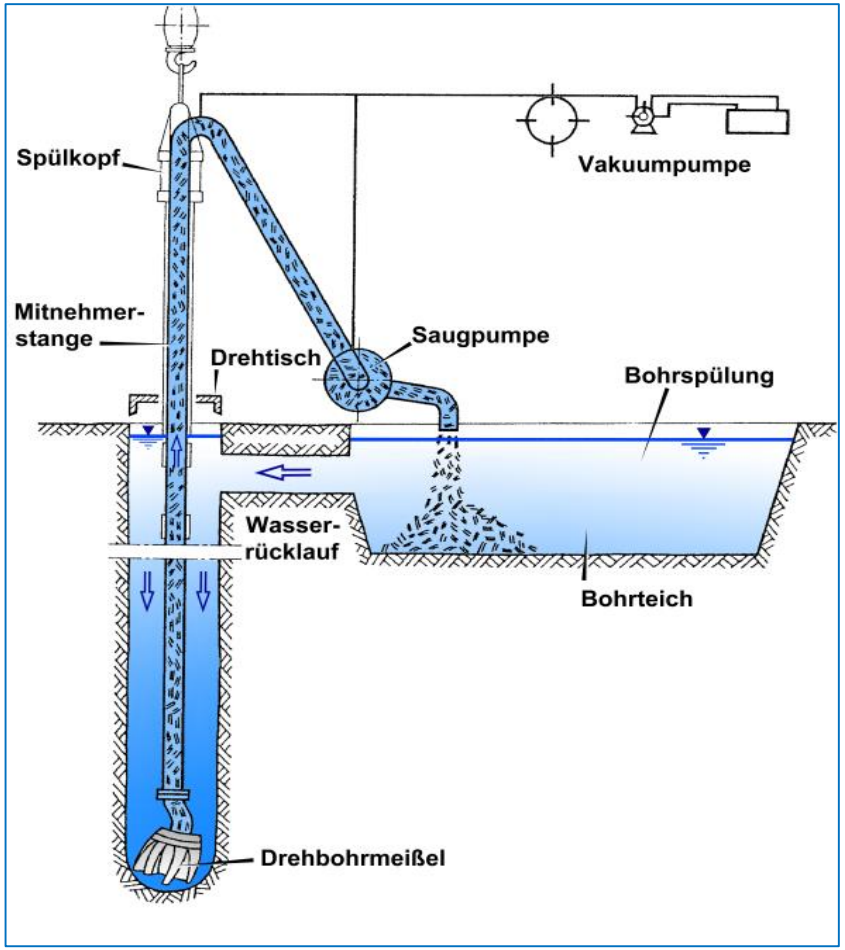
Abdichtung mit geeigneten und nachweisbaren Materialien

Entsandung mit geeigneten Methoden, die auch die Bohrlochwand erreichen und von dort einen Abtransport des Unterkorns ermöglichen (Voraussetzung: Bemessung nach Q und korrekte Bestimmung von d_g!)

Leistungspumptest mit mindestens drei Stufen bis zur Quasibeharrung und einer ausreichend langen Wiederanstiegsmessung

Bohrverfahren und Spülungszusätze





Bohren ohne Verrohrung

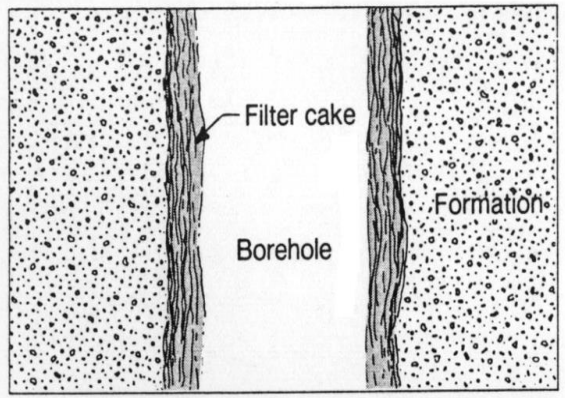
Beim Bohren ohne Verrohrung werden Bohrspülungen, in der Regel Bentonit-Wasser-Gemische, die mittels hochtourigem Spezialmischer zu einer Suspension aufbereitet werden, verwendet. Sie dienen zur Stützung eines Bohrloches, zur Kühlung des Bohrwerkzeugs und zum Austrag des erbohrten Bodenmaterials. Im Brunnenbau werden folgende Spülungsarten unterschieden:

- **Klarwasserspülung** (Spülung ohne Zusätze, die sich aber im Laufe der Bohrarbeiten mit den nicht absetzbaren Partikeln der durchteuften geologischen Schichten beladen kann)
- Spülung mit einem Zusatz von **Bentoniten** (zur Vermeidung von Spülungsverlusten in durchlässigen Schichten)
- Spülung mit einem Zusatz von **Polymeren** (z. B. CMC zur Vermeidung des Quellens von Tonen in den durchteuften geologischen Schichten)
- Spülung mit einem Zusatz von **Beschwerungsmitteln** (z. B. Baryt oder Kreide bei erwarteten artesischen Drücken in den durchteuften geologischen Formationen)

Bild: David Urban

Bohranlage mit Spül- und Absetzcontainern

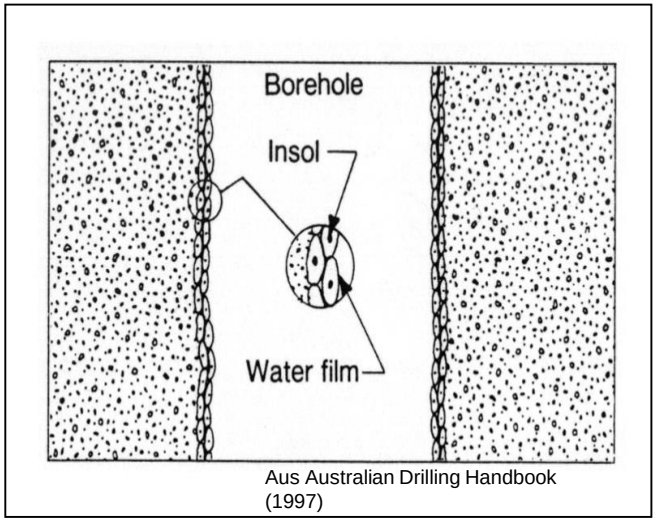
Wirkung von Bohrspülungen



Aus Australian Drilling Handbook (1997)

Bentonit-Filterkuchen

Spülungsaufbereitung an der Bohranlage



Aus Australian Drilling Handbook (1997)

Polymer-Filterkuchen

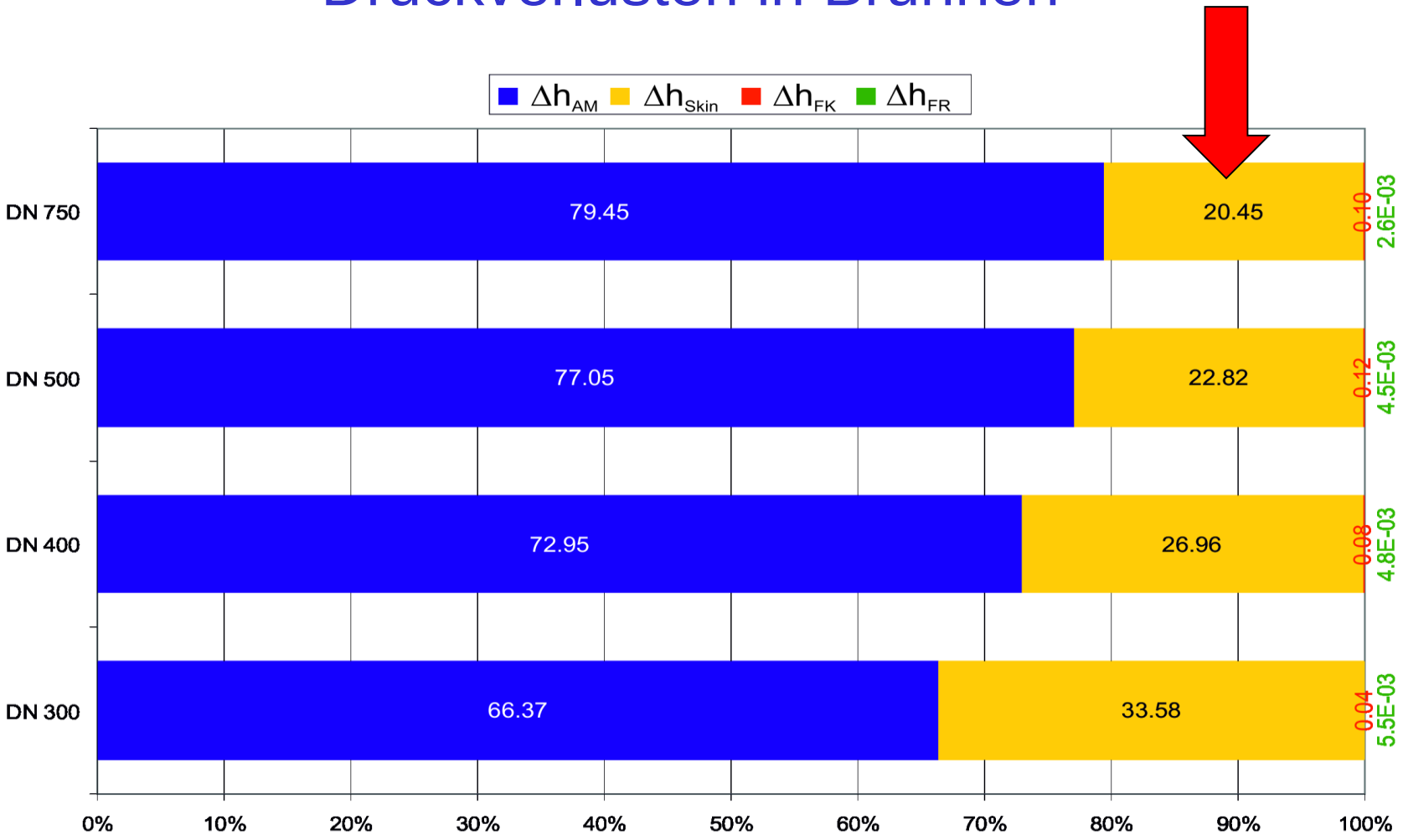
Problembereich: Irreversibler „Filterkuchen“

Bentonitspülungen sind durch folgende Eigenschaften geprägt:

- Es werden **Na-aktivierte Bentonite** zugegeben, die im Wasser quellen, einen ***möglichst vollständig reversiblen Filterkuchen*** an der Bohrlochwand aufbauen und somit Spülungsverluste verhindern sollen. Sie werden überwiegend beim Durchbohren grobkörniger Lockersedimente und beim Einsatz von Großbohrtechnik eingesetzt.
- **Filterkuchen** können sich nur in den porösen, also in den potenziell wasser-führenden Schichten bilden, was im Brunnenbau oft zu einer unerwünschten Veränderung der Geohydraulik und Ergiebigkeit des Bohrlochs führen kann.

- Der Filtrationsprozess ist ein **dynamischer Vorgang an der Bohrlochwand**, da durch die Bewegung des Bohrstrangs und die Fließvorgänge im Ringraum der Filterkuchen immer wieder auf- und abgetragen wird.
- Daher ist eine **laufende Spülungs-kontrolle** bei Spülbohrungen unab-dingbar, da zu stark beladene Spülungen u. a. einen irreversiblen Filterkuchenaufbau fördern

Anteil des Filterkuchens („Skineffekt“) an den Druckverlusten in Brunnen



aus: Klauder & Treskatis 2011

Daher wichtig: Spülungskontrollen

- Einhaltung der Rezepturen der Hersteller
- Verwendung sauberer und geeigneter Mischer
- Verwendung von geschlossenen und abgedeckten Spülungskreis-läufen
- Kontrolle der Dichte Kontrolle der Auslaufzeiten (Viskosität)
- Kontrolle der Wasserabgabe, des Wasserverlustes und des Filter-kuchens
- Messung von pH-Wert und Tempe-ratur (der vorzeitige Abbau der Polymere wird durch diese beiden Parameter beeinflusst)
- Kontrolle des Spülungsaustauschs vor der Bohrlochkomplettierung oder Aktivierung (bei unverfilterten Bohrlöchern im standfesten Fels)

Lösungsmöglichkeit gegen irreversible Filterkuchen: Klarwasserspülung

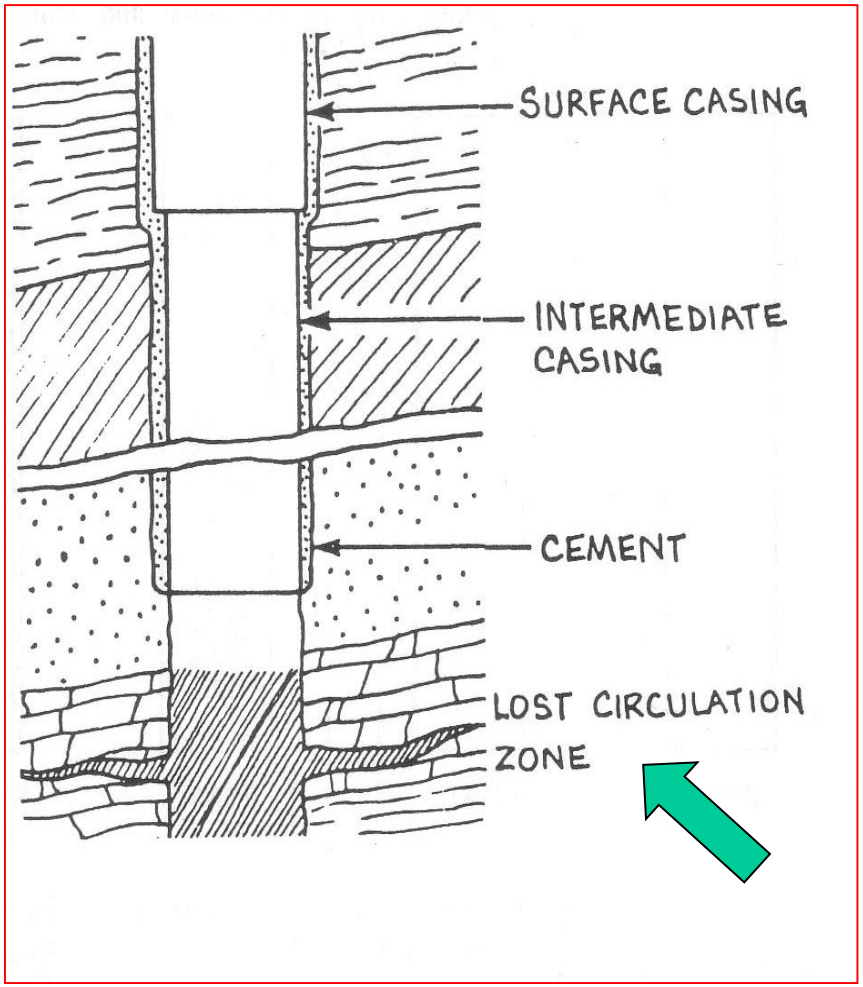
Anstelle einer Spülung ***mit hoher Dichte*** sollte möglichst nur eine sogenannte Klarwasserspülung genutzt werden. Diese Spülungsart hat folgende Aufgaben und Eigenschaften:

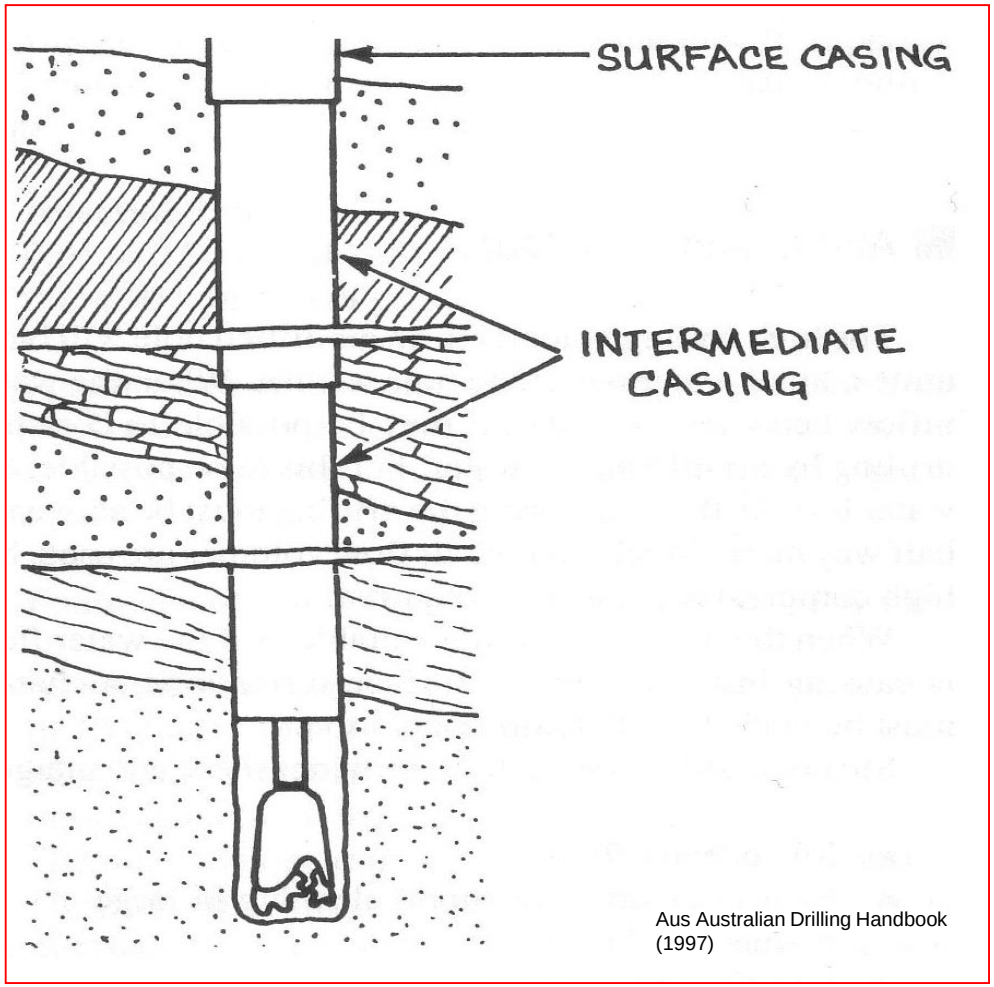
- Bei Klarwasserspülungen werden die natürliche Beladung der Spülung und der Wasserdruck gegenüber den wasserleitenden Horizonten genutzt, um das Bohrloch zu stabilisieren.
- **Vor allem in Schichten mit bindigen, nicht quellenden Tonen werden Klarwasserspülungen verwendet, da diese sich im Verlauf des Bohrfortschrittes automatisch mit Tonmineralien beladen.**
- Das Absetzen der Spülungsbeladung muss daher über spezielle Vorrichtungen am Absetzcontainer erfolgen (z. B. ein Desander oder Desilter oder durch Zugabe von Flockungshilfsmitteln), da sich ansonsten die Spülung zu stark mit Feststoff auflädt und nicht mehr für weiter anfallendes Bohrgut aufnahmefähig ist.
- **Die Klarwasserspülung erfüllt in Sinne des Schutzes des Grundwasserleiters und der späteren Brunnenfunktion alle Anforderungen hinsichtlich Hygiene und Verhinderung von irreversibel abdichtenden Filterkuchen an der Bohrlochwand.**

Absetzcontaineranlage und Desander

Bei Verwendung von Bentonitspülungen und „Filterkuchengefahr“:

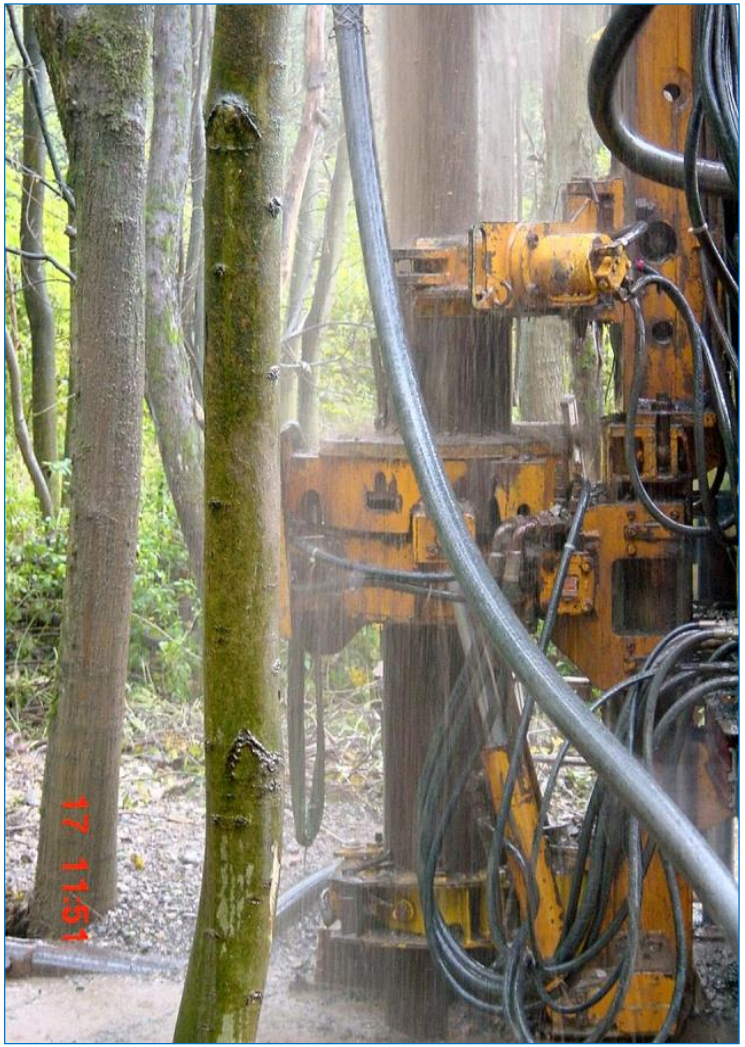
Verrohrung und Zementierung der Bohrung über dem GWL



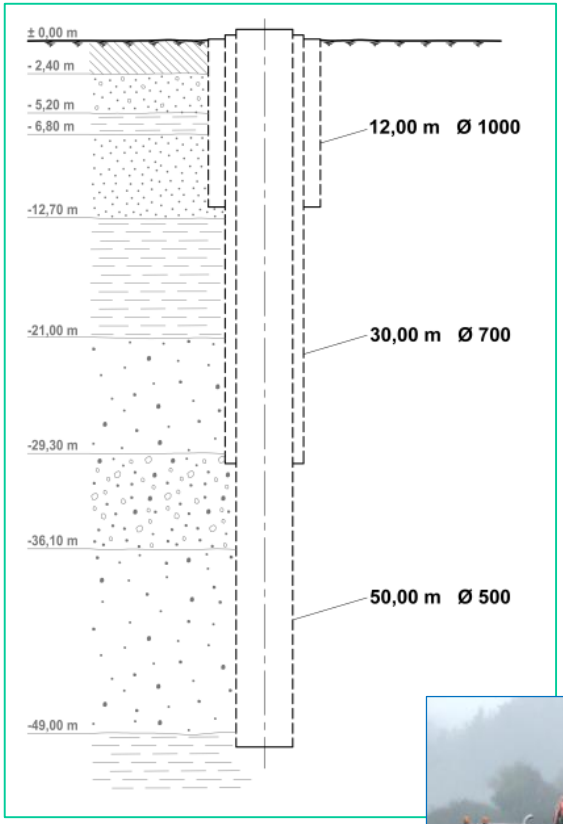


Aus Australian Drilling Handbook (1997)

Alternative Imlochhammer: Bohren ohne Spülungszusätze



Alternative: Bohren mit Verrohrung



Teleskopierte Trockenbohrung

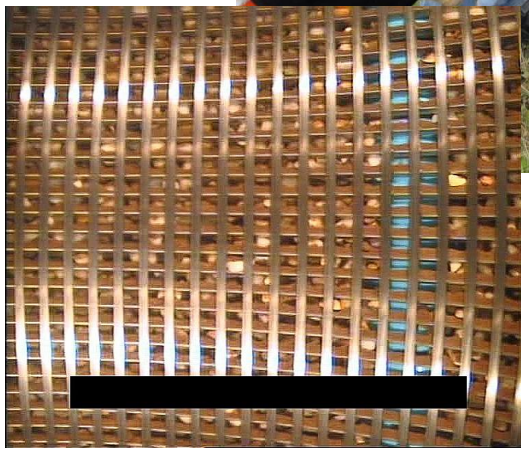
Schlagmeißel für Festgesteine

Schalengreifer für Lockergesteine

Verbesserungspotenziale für die Bohrung durch…

- Wahl eines standörtlich geeigneten Bohrverfahrens
- Verzicht auf Spülungszusätze mit mikrobiologischen Folgen (unsachgemäß eingesetzte Polymere) und Kolmationen (Filterkuchen)
- Nutzung von Verrohrungen z. B. bis in den hangenden Stauer
- Verzicht auf Widerstandsfilter und Sumpfrohr (Vermeidung von vorzeitigen Alterungsprozessen und mikrobiologischen Problemen)
- Nutzung von Schüttrohren (grundsätzlich) und „gravel pack“ - Messungen beim Einbau der Ringraumschüttungen (z. B. bei Tiefbrunnen)
- Verzicht auf quellfähige Tonformlinge in der ungesättigten Zone
- Verwendung von nachweisbaren und wirksamen Abdichtungen im Ringraum, am Schachtbauwerk und im Bereich der Anschlussleitungen
- Entsandung mit „bewegter“ Kammer mit geringer Kammergröße (optimal 0,5 bis 0,75 m)

…



Qualitätsziele für Betrieb und Unterhaltung…

Qualitätsziele:

Wartungsarmer Betrieb mit guter Zugänglichkeit zum Brunnen und sinnvoller Datenerhebung zum Brunnenmanagement

Regenerierfähigkeit zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit

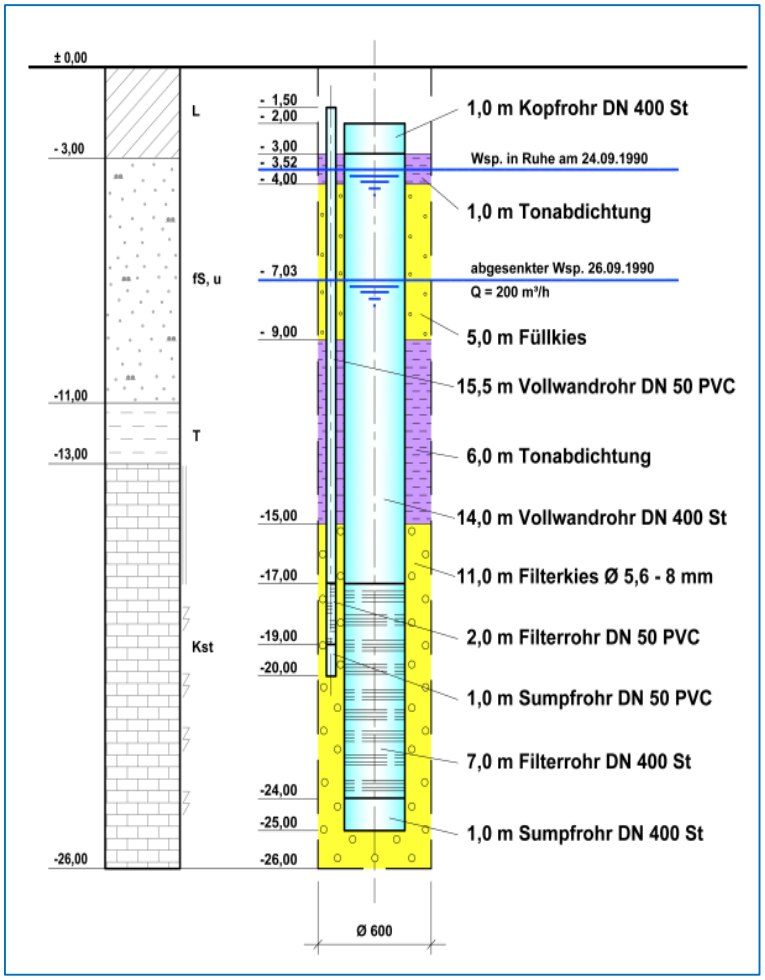
Sanierungsfähigkeit bei baulichen Defekten

Einfache und sichere Rückbaubarkeit bei einer endgültigen Außerbetrieb-nahme

Verbesserungspotenziale durch…

- Aufstellung eines Brunnenmanagementplanes
- Schaffung und Vorhalten von gut begehbaren Zugängen zum Brunnenkopf (Montageöffnung)
- Schaffung von Revisionsöffnungen bei großkalibrigen Brunnenköpfen
- Abschlussbauwerk mit Übertage-zugang zum Brunnenkopf
- Regelmäßige Kontrolle der Brunnenleistung durch Betriebstests
- Regelmäßige Kamerabefahrungen und geophysikalische Untersuchungen (z.B. mit Überprüfung der Dichtungen und des Korrosionszustandes metallischer Ausbauten)
- Anwendung geeigneter Regenerier- und Nachentsandungstechniken

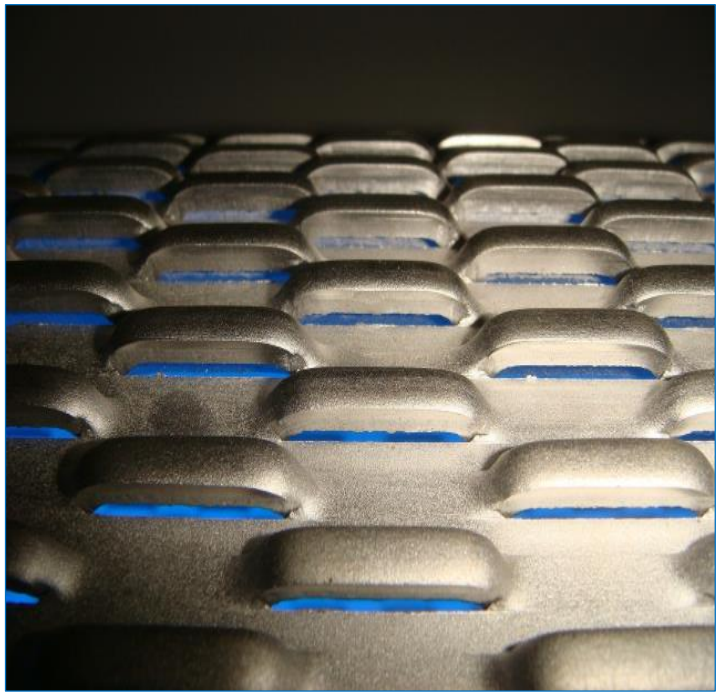
Ausbau der Bohrung - Bauteile von vertikalen Bohrbrunnen



Ausbauanweisung in Form einer Skizze mit detaillierten Maß- und Materialangaben

Übersicht von möglichen Filter- und Vollwandrohren

Edelstahlvarianten: Schlitzbrückenfilter oder Wickeldrahtfilter



Verbindungsarten (Stahlrohre)

Flansch-Verbindung

ZSM-Verbindung

Rundgewinde - Verbindung

Abstandshalter und Brunnenboden

Technisch sicherstes Verbindungselement zwischen Stahl-Brunnenrohren: ZSM-Verbindung

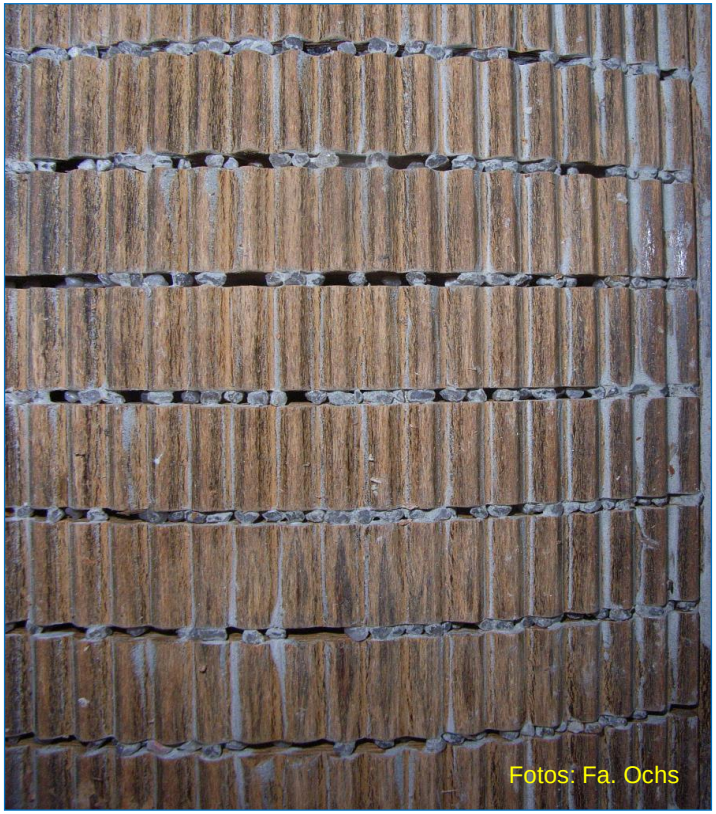
Kontrolle: Einschub Scherstab

Weitere wichtige Ausbauteile in Brunnen:

qualitativ geeignete Ringraummedien (Kiese/Sande/Abdichtungen)

Filterkiesqualität entscheidet über die Langlebigkeit und Ergiebigkeit des Brunnens

Verstopfung der Schlitze mit Kiesbruchstücken oder Unterkorn als irreversible „Brunnenalterung“

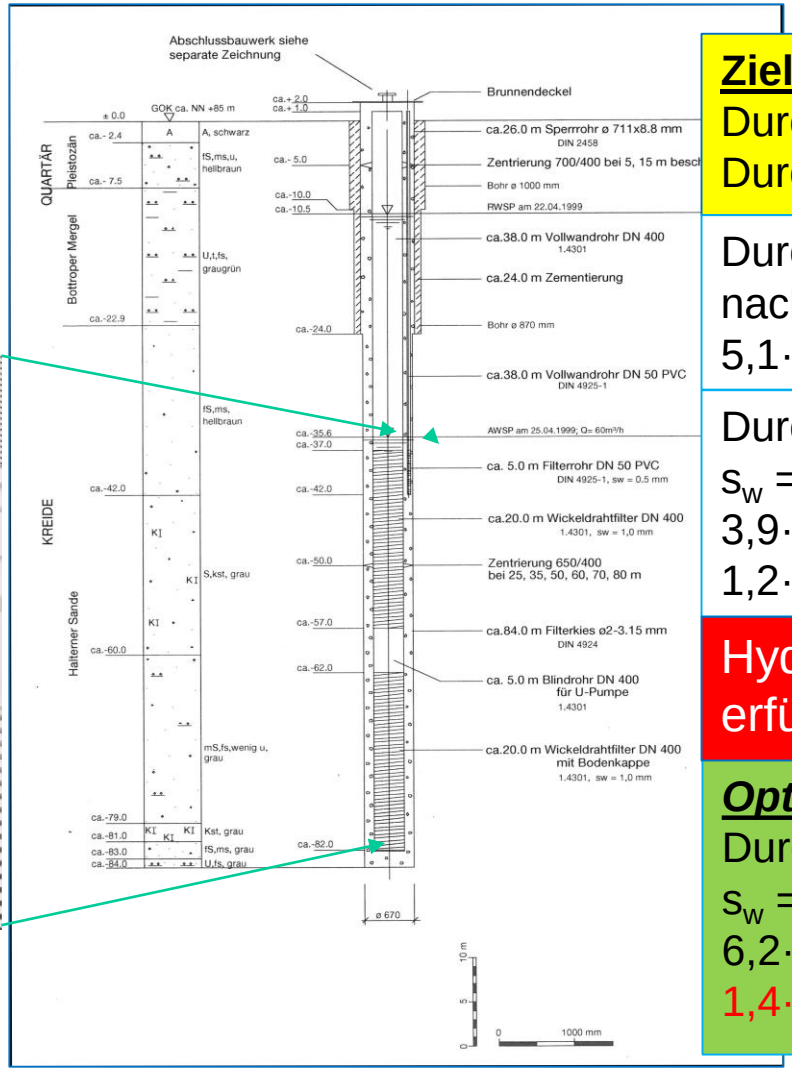


Kontrolle erforderlich: Unterkorn in Filterkiesen reduziert die Durchlässigkeit und die Ergiebigkeit des Brunnens

Richtwerte für die Schlitz- und Spaltweite der Filterrohre (nach W 118)

Korngruppen nach DIN 4924 [mm]	Schlitz- bzw. Spaltweite [mm]
0,71 bis 1,25	0,3 bis 0,5
1,0 bis 2,0	0,5 bis 0,75
>2,0 bis 3,15	1,0 bis 1,5
>3,15 bis 5,6	2,0 bis 2,5
>5,6 bis 8,0	3,0 bis 4,0
>8,0 bis 16	4,0 bis 5,0

Überprüfung der „Hydraulischen Kette“ eines WD-Filters und seiner Kiesumschüttung



Ziel:
Durchlässigkeit Schüttgut < Durchlässigkeit Filterschlitz

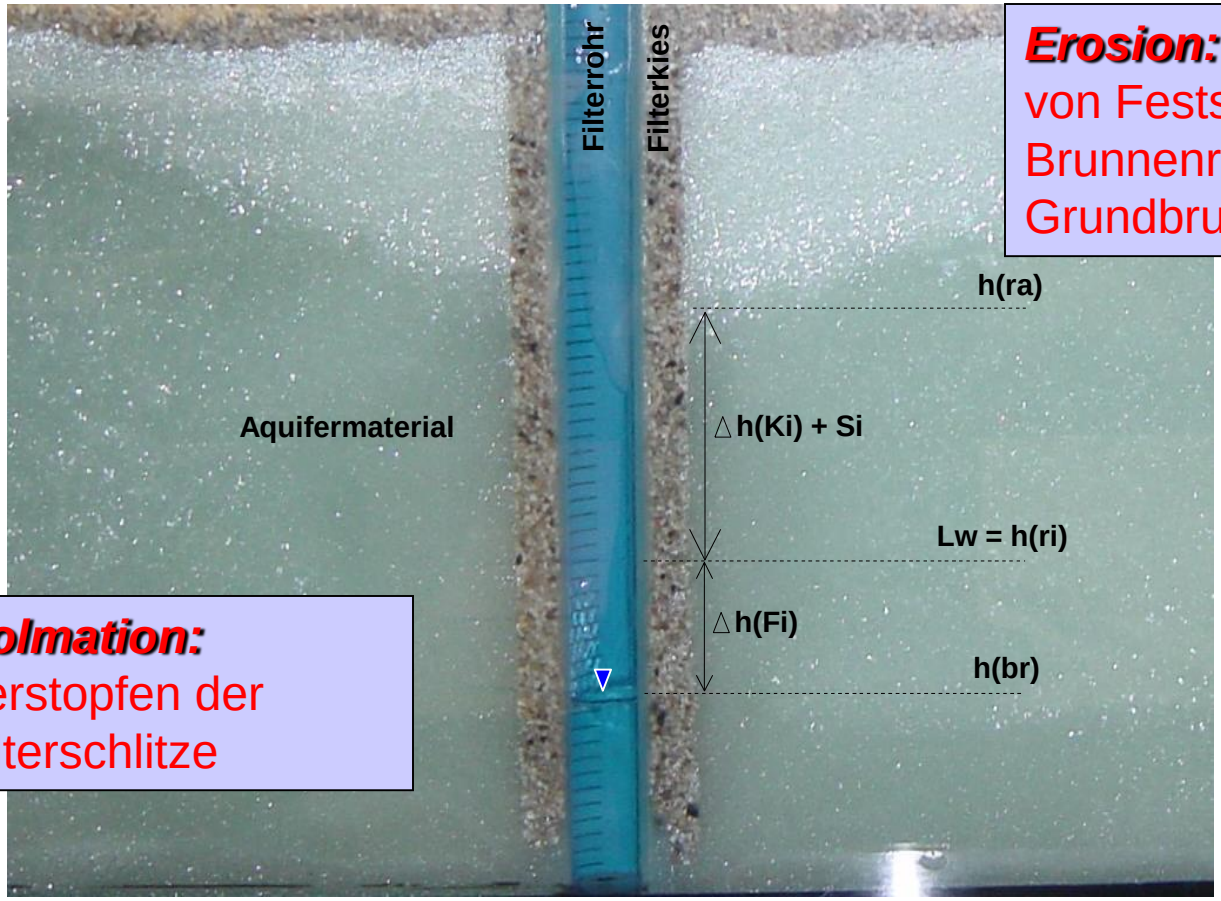
Durchlässigkeit Filterkies (2 bis 3,15 mm) nach BEYER & Schweiger (1969):
$5{,}1 \cdot 10^{-2}$ m/s

Durchlässigkeit WD-Schlitze (DN 400 mm, s_w = 1,0 mm) nach Klotz (1990):
$3{,}9 \cdot 10^{-2}$ m/s für Profildraht schwer
$1{,}2 \cdot 10^{-2}$ m/s für Runddraht schwer

Hydraulische Kette nicht erfüllt!

Optimierung:
Durchlässigkeit WD-Schlitze (DN 400 mm, s_w = ***1,5*** mm):
$6{,}2 \cdot 10^{-2}$ m/s für Profildraht schwer
$1{,}4 \cdot 10^{-2}$ m/s für Runddraht schwer

Folgen einer falschen Filterkiesbestimmung und Fehlabstimmung der Kennkorngröße auf die Filterschlitze



Erosion: Eindringen von Feststoff in das Brunnenrohr mit Grundbruchgefahr

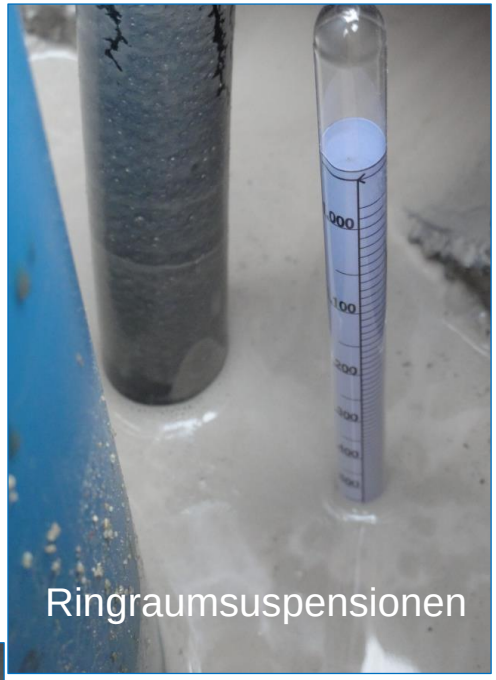
Kolmation: Verstopfen der Filterschlitze

Aufgaben von Abdichtungen in Brunnenbohrungen

- Erhaltung der natürlichen Grundwasserqualität und
- Vermeidung von hydraulischen Kurzschlüssen zwischen Grundwasserstockwerken
- Vermeidung von Oberflächenwasser- oder Salzwassereinbrüchen
- Stabilisierung und Schutz der Vollwandrohre gegen Beul– und Bruchveränderungen
- Zusätzliche Abdichtung der Rohrverbindungen gegen drückendes Grundwasser
- Vermeidung von Fremdwasserzutritten in das Abschlussbauwerk

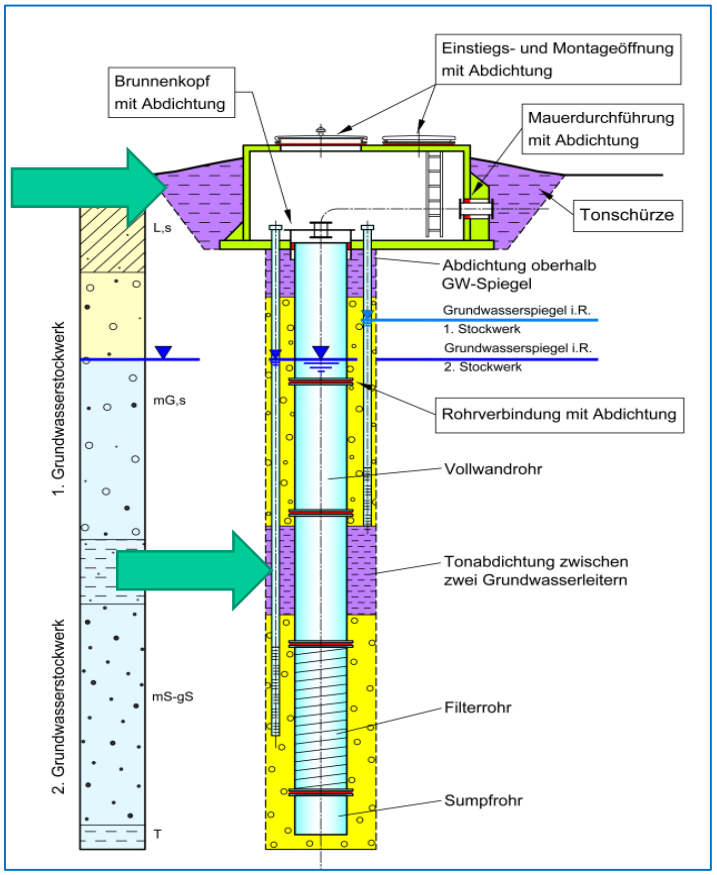
Einsatzbereiche von Abdichtungen im Brunnenbau

- Ringraumabdichtungen im Bohrloch
- Ringraumabdichtungen bei Schachtwanddurchführungen (Produktrohr, E- und Steuer-kabel)
- Abdichtung der Einstiege in den Schacht
- Brunnenkopf (Deckelflansch, PG-Verschraubungen, Eindichtung zum Kopfrohr, Sperrrohr etc.)
- Rohrverbindungen (Brunnen-rohre und Produktrohre)
- Abdichtung der Baugrube (Lehm- oder Tonschürze)

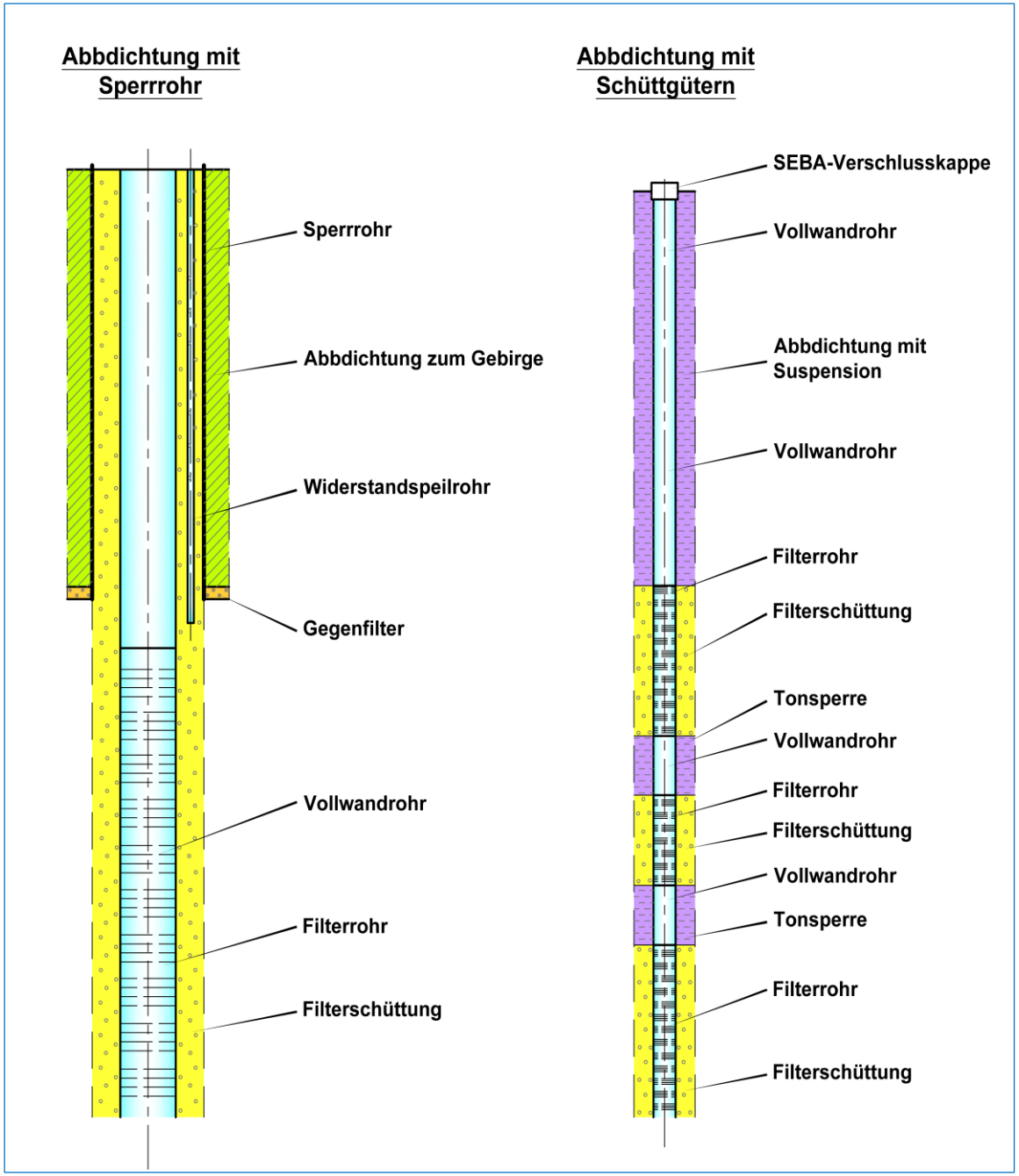

Ringraumsuspensionen

Wanddurchführungen

Lagepositionen von Abdichtungen in Bohrbrunnen



Kopfrohrdichtung zum Sperrrohr oder Brunnenkopf

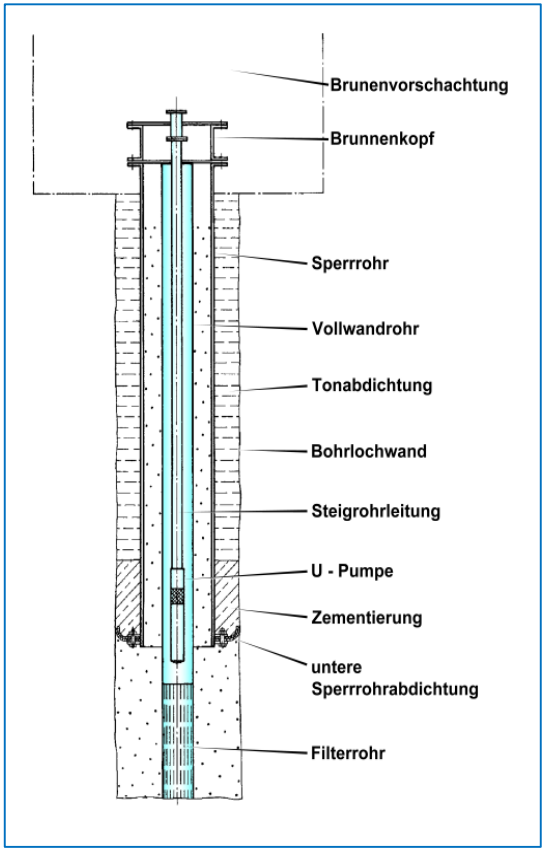


Vergleichende Darstellung eines Sperrrohrausbaus und Abdichtung mit Tonformlingen

Materialien für Abdichtungen in Brunnen

Tonpellets oder Tonformlinge

Abdichtungssuspensionen



Sperrrohre

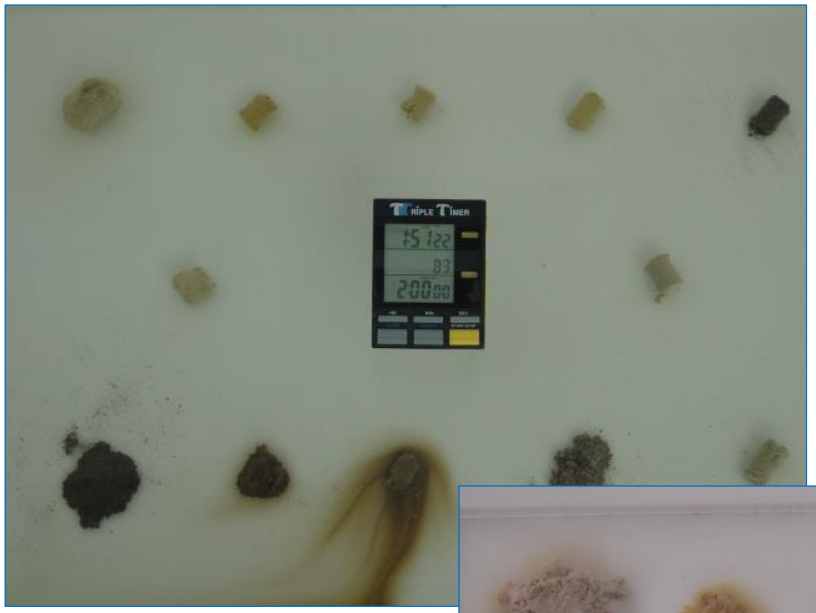
Wahl der Abdichtungstone: Einsatzbereich Tonformlinge

Volumenzunahme	Anwendung/Einsatzempfehlung
< 30 %	Rückverfüllung großkalibriger Bohrungen
30 – 100 %	Ringraumabdichtungen in kaliberhaltigen Trockenbohrungen
> 100 %	Ringraumabdichtungen von Spülbohrungen

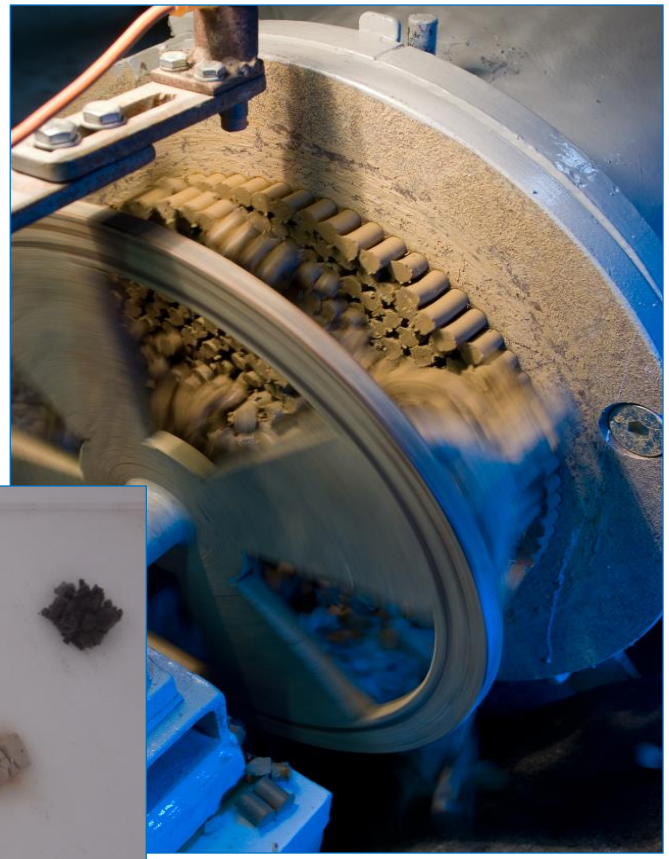
Einsatz oberhalb des Wasserspiegels nicht geeignet!

Kategorie	Eigenschaften	Einsatzbereich
1	Produkte zerfallen innerhalb von 5 min. in mehrere Einzelstücke	Ungesättigter Bereich, oberflächennahe Abdichtungen in Brunnen und Messstellen
2	Produkte beginnen innerhalb von 30 min. randlich abzuplatzen oder zu zerfallen	Gesättigte Zone bei geringen Teufen und Schütthöhen
3	Produkte beginnen innerhalb von 2 Stunden randlich abzuplatzen oder zu zerfallen	Gesättigte Zone bei mittleren Teufen und Schütthöhen
4	Produkte sind auch nach 2 Stunden noch strukturstabil	Gesättigte Zone bei größeren Teufen und Schütthöhen

Strukturbeständigkeit von Tonformlingen



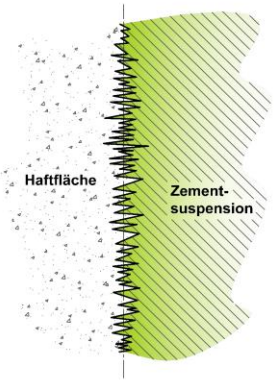
nach 2 Stunden im Wasser



nach 15,5 Stunden im Wasser

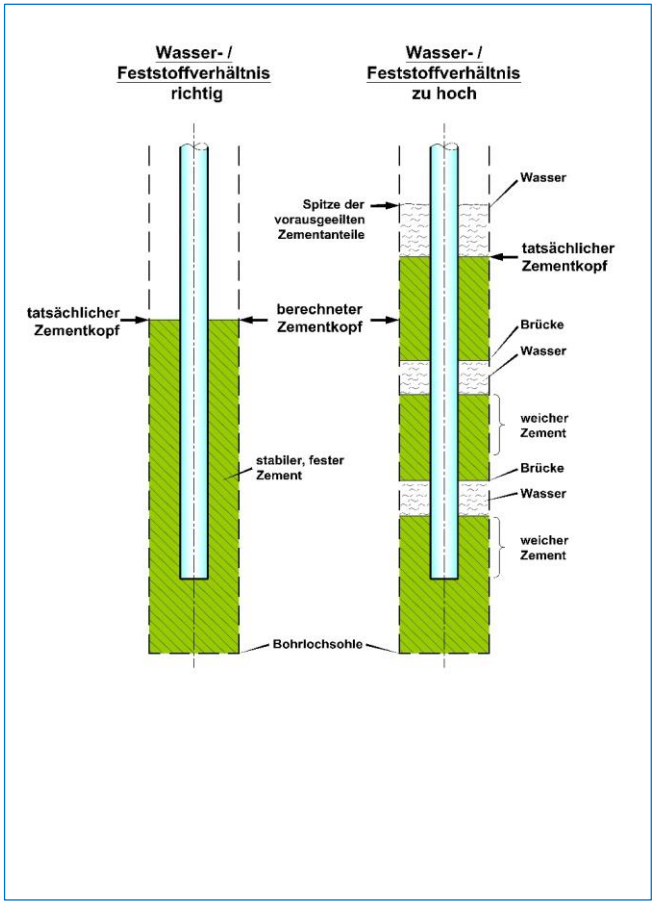
Qualitätskriterien für Verfüllbaustoffe im Brunnenbau

- W/F-Verhältnis
- Mechanische Eigenschaften
- Chemische Beständigkeit
- Geringe Systemdurchlässigkeit
- Vollständige Auffüllung der gewünschten Bohrlochstrecke (dazu ist ein ausreichender Ringspalt von mindestens 50 mm erforderlich!)



Verzahnung mit dem Ausbau und dem Gebirge beeinflussen die Systemdurchlässigkeit des Bohrlochringraums

Probleme mit Verfüllbaustoffen



Folgen: ungleichmäßiges Absetzen und Massenverlust über Wasserabgabe an Gebirge

Absinken nach 3,5 Std: ca. 50 cm

Absinken nach ca. 4,5 Std: 115 cm

Folgen undichter Ringraumsperren für den Grundwasserschutz:

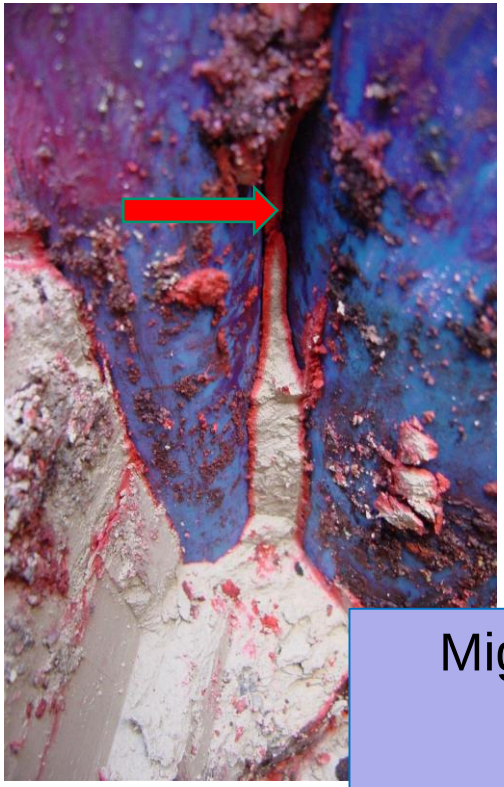
Zahlenbeispiel für die vertikale Sickergeschwindigkeit durch eine Abdichtung im Ringraum eines Brunnens

Annahme der Mächtigkeit der Sperre: 5 m

„Systemdurchlässigkeit“ (m/s):

- ***Fall A***: 10^{-9} (m/s)
- ***Fall B***: 10^{-7} (m/s)

Gradient I bei Förderung im Brunnen mit dH = 0 m: 2

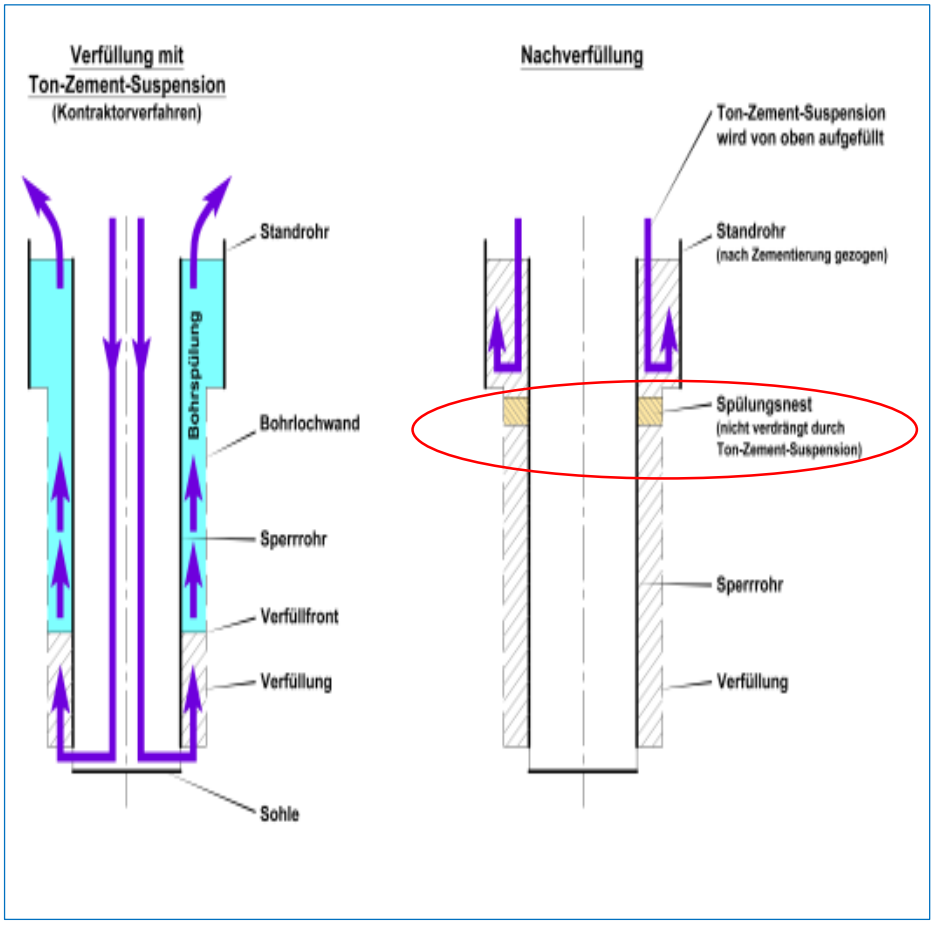


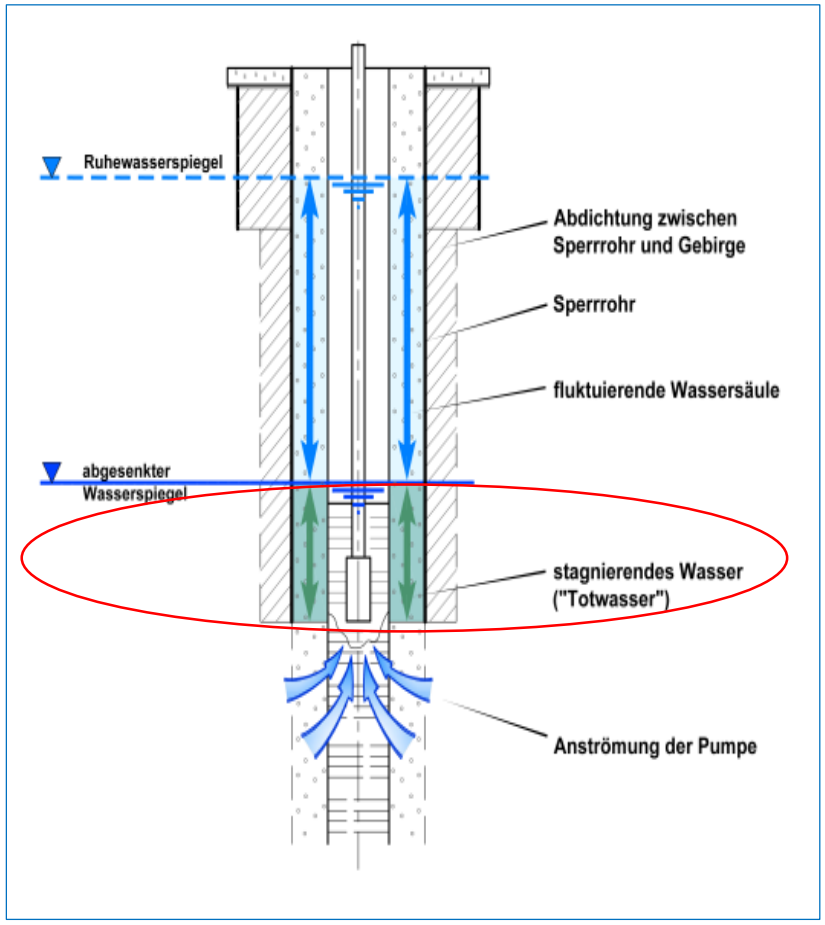
Resultierende **vertikale Sicker/Fließgeschwindigkeit** im „System“ einer Ringraumsperre:

- ***Fall A***: 0,06 m/a (= 17 Jahre pro Meter)
- ***Fall B***: 6,3 m/a (= weniger als 1 Jahr für die 5 m-Sperre)

Migration von Grundwasser entlang von undichten Ringraumsperren

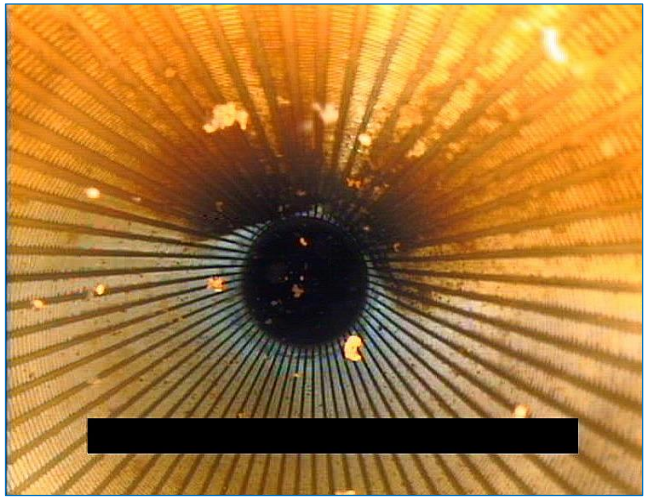
Problemstellungen bei Sperrrohren



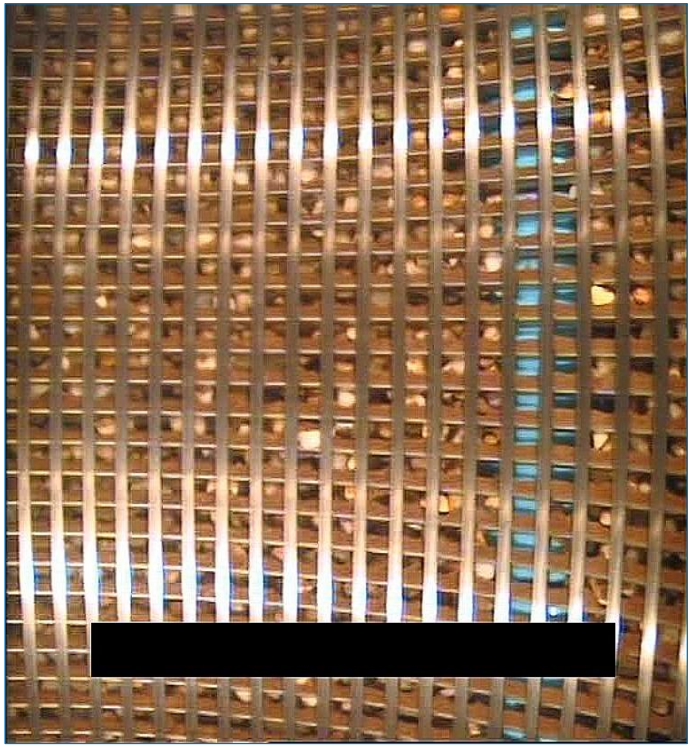


Ausbaukontrolle: Kamerabefahrung zur Abnahme des Bauwerks

Verockerung aufgrund von Stockwerksübergreifenden Zuflüssen



Peilfilter falsch angeordnet

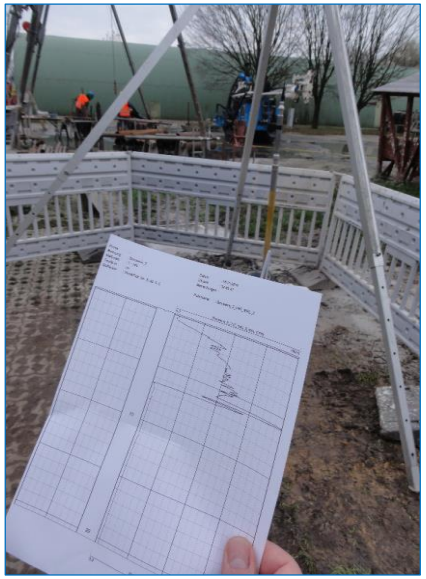


Abnahmemethode: Bohrlochgeophysik

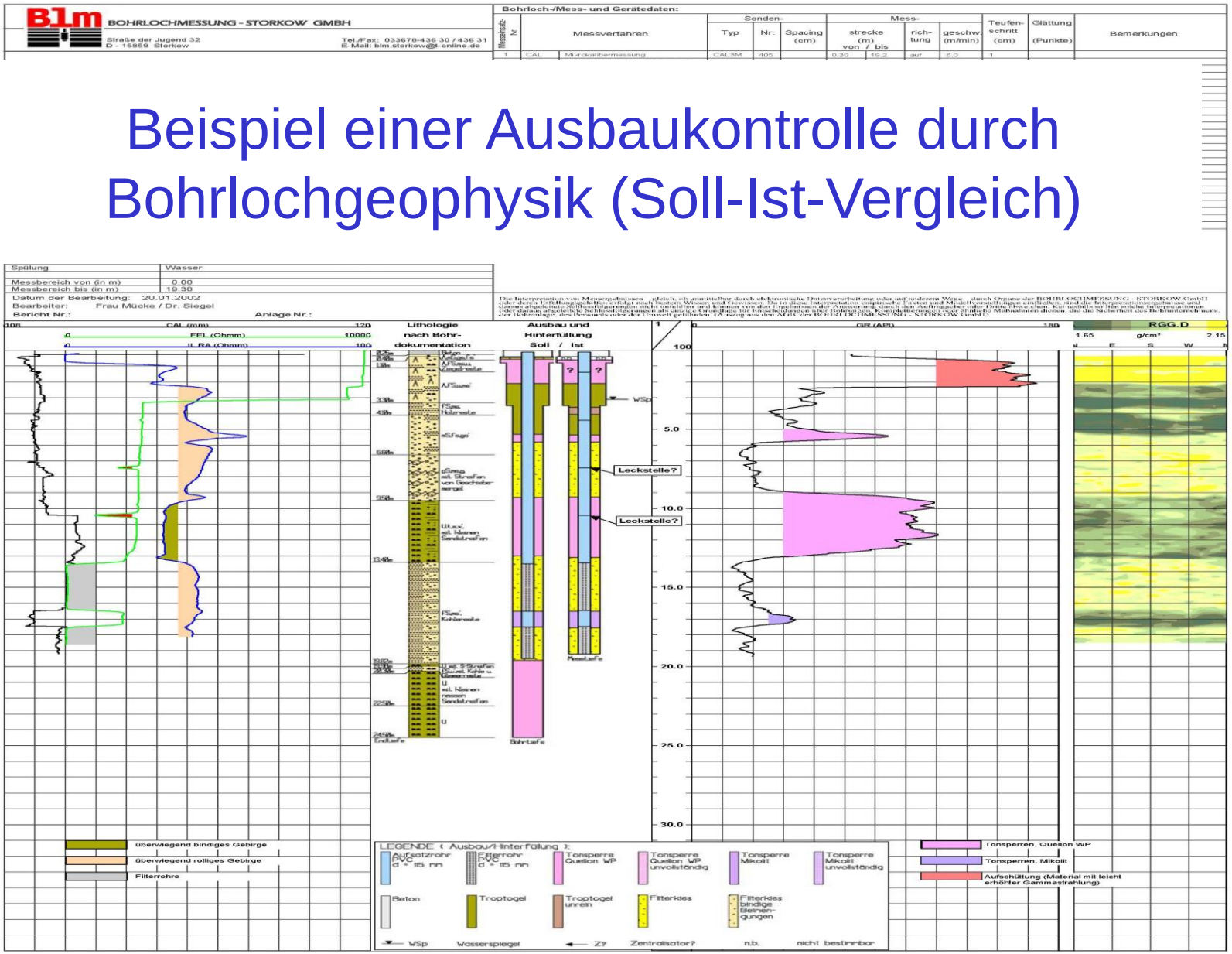
Messfahrzeug

Messsonde

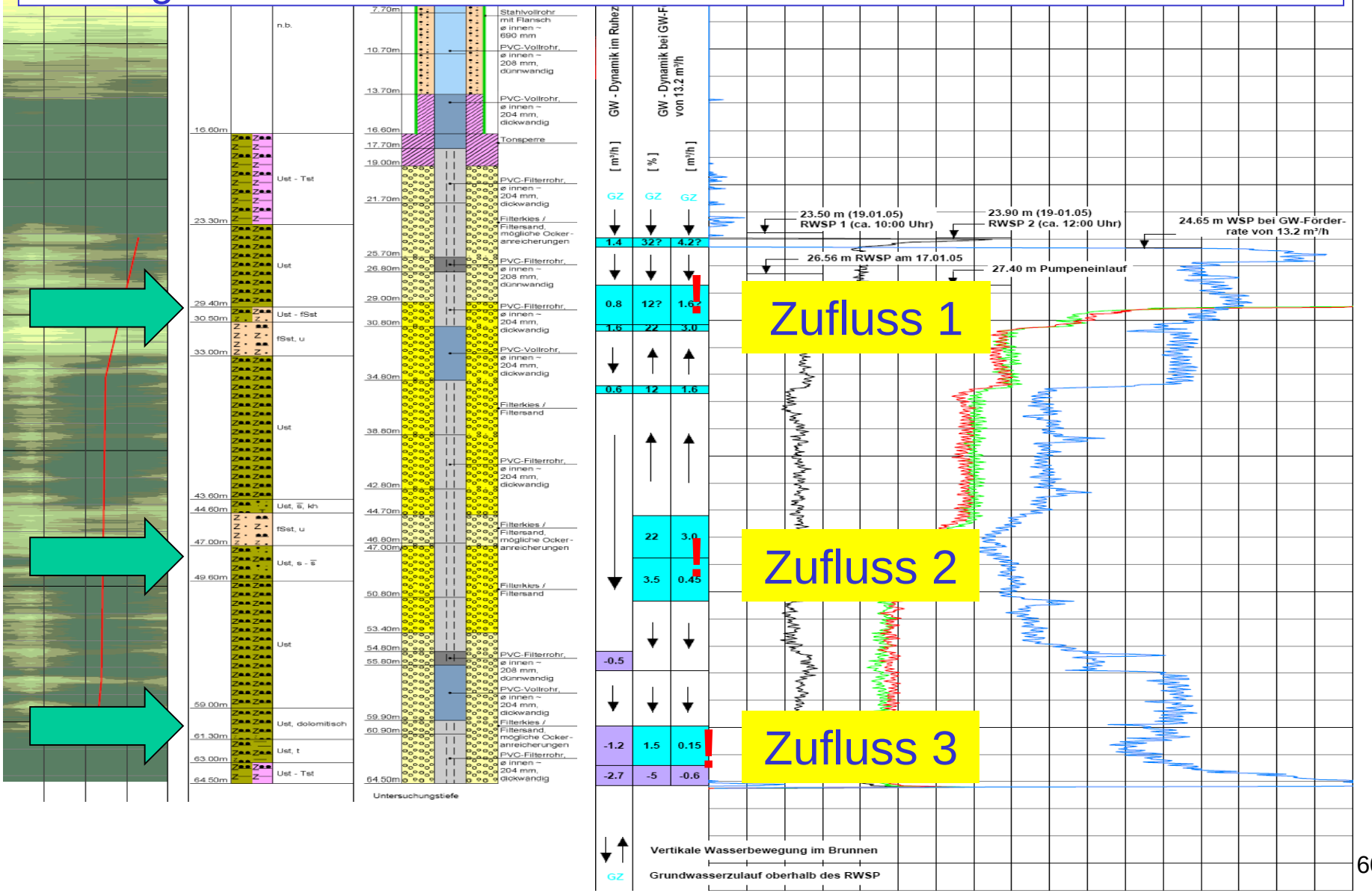
Messprotokoll



Beispiel einer Ausbaukontrolle durch Bohrlochgeophysik (Soll-Ist-Vergleich)

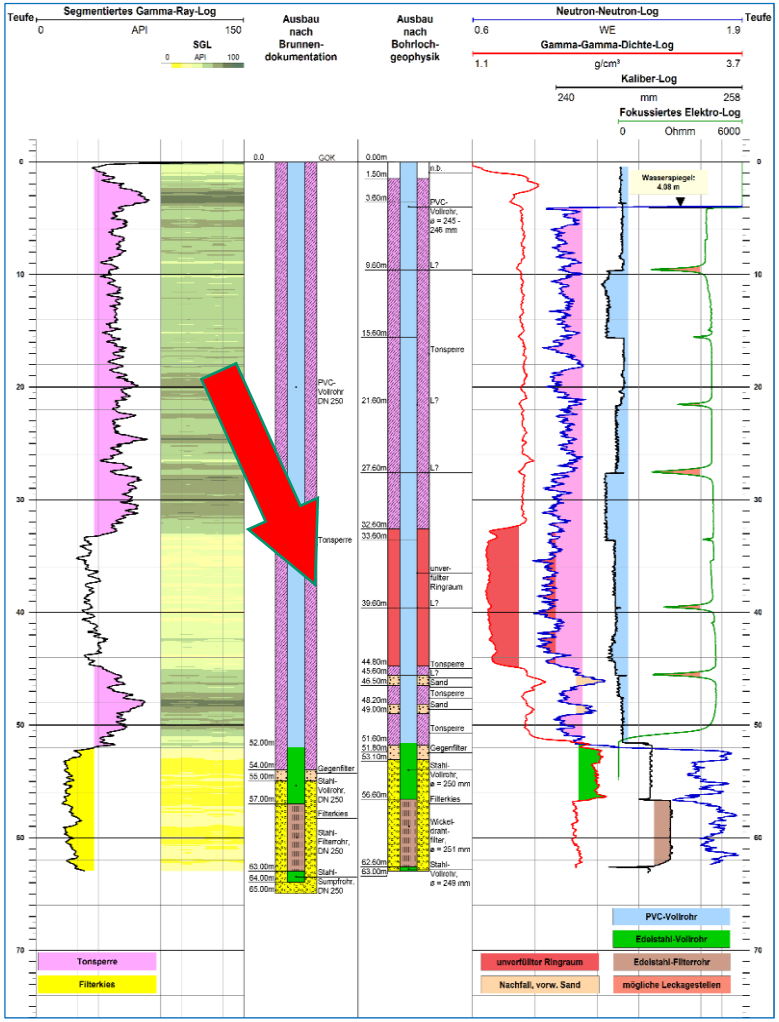


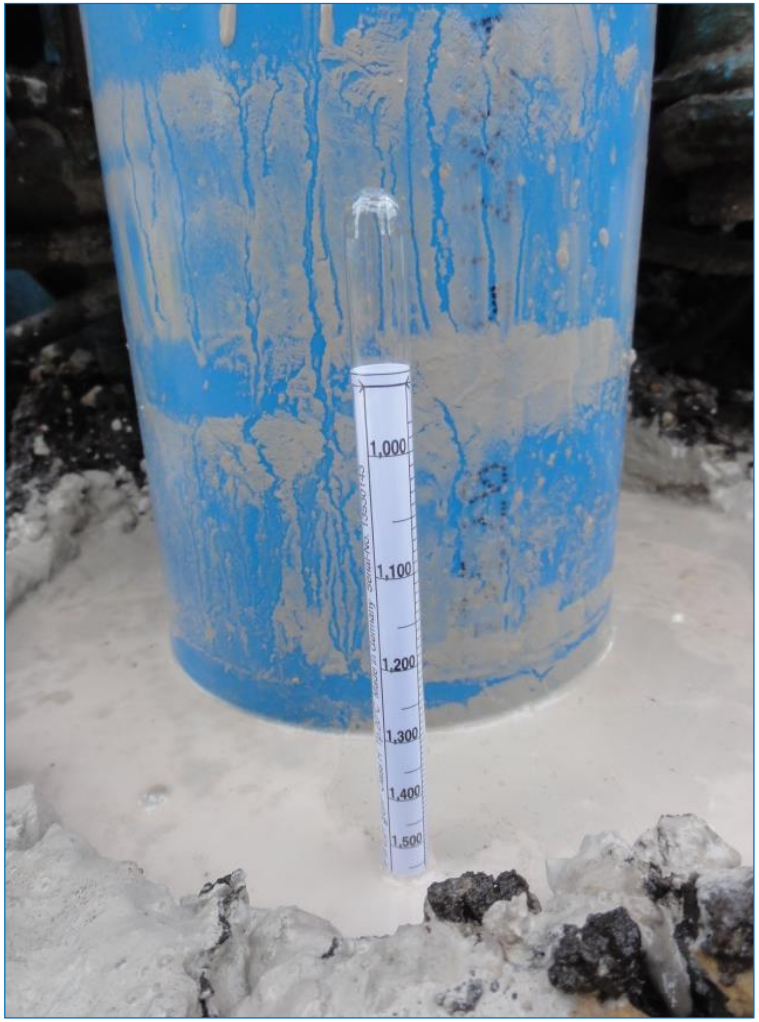
Verteilung der Zuflüsse an einem Brunnen im Festgestein: Mischwasserbildung im Brunnen durch aufsteigende und absteigende Wässer



Überprüfung durch Geophysik:

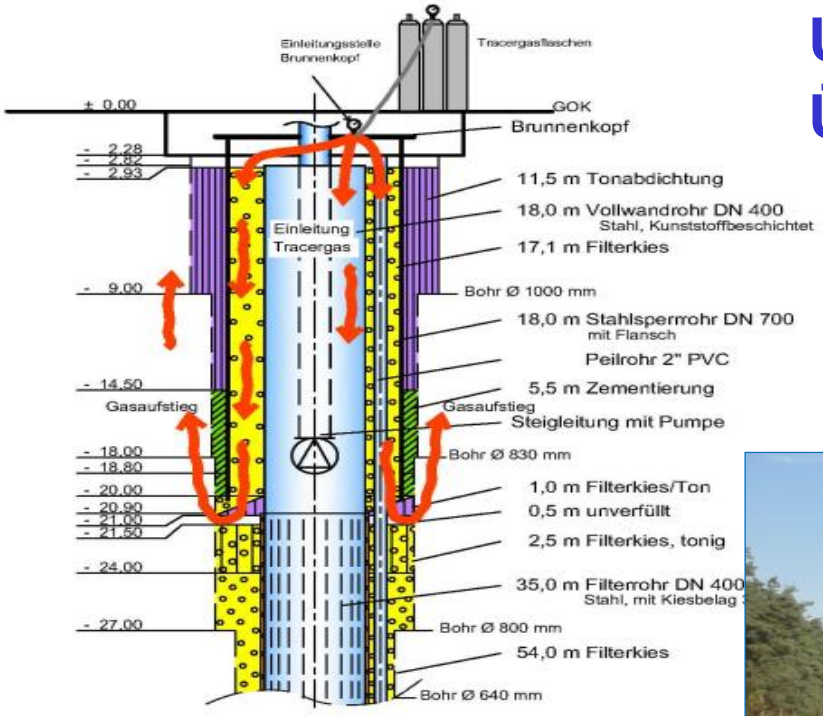
Vermeidung von Fremdwässern oder Kurzschlüssen in der Filterstrecke





Untersuchungsmethode zur Überprüfung der Dichtigkeit an Brunnen und Quellen:

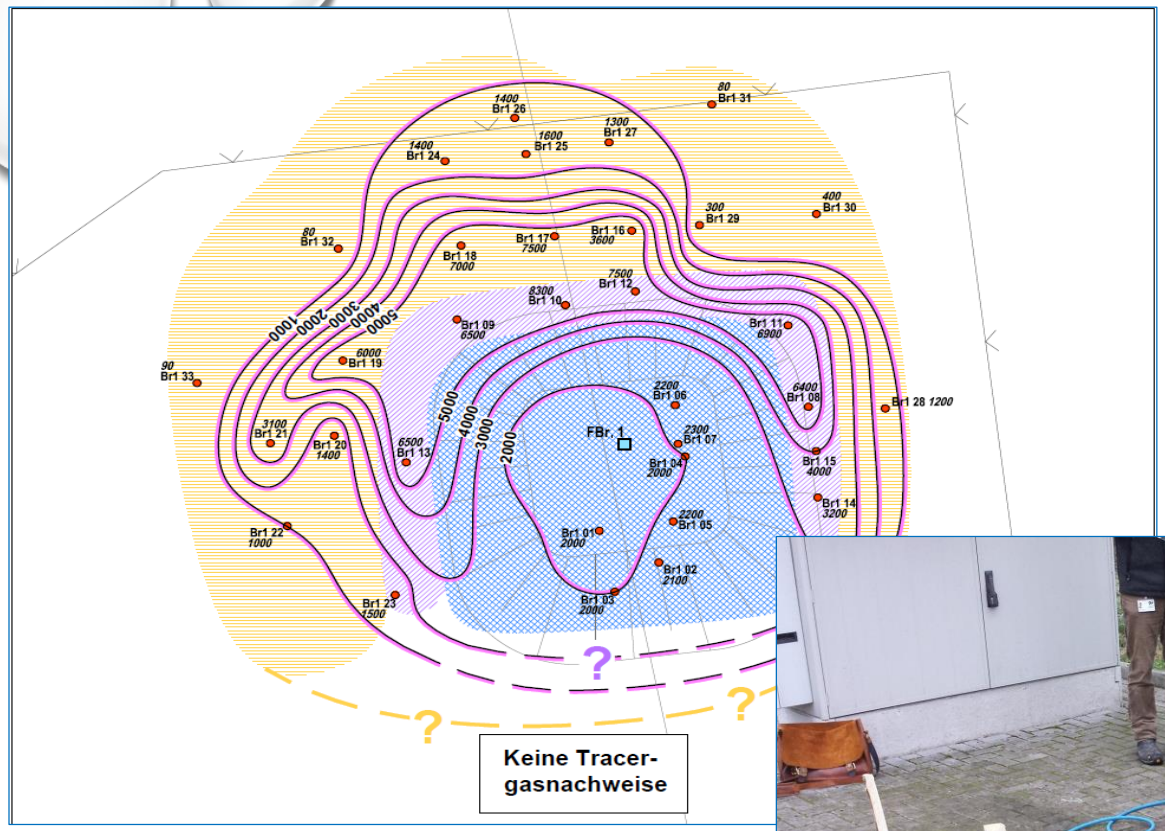
mittels ***Tracergastests***



Modellvorstellung der Wasserstoffgaswege an einem undichten Brunnen

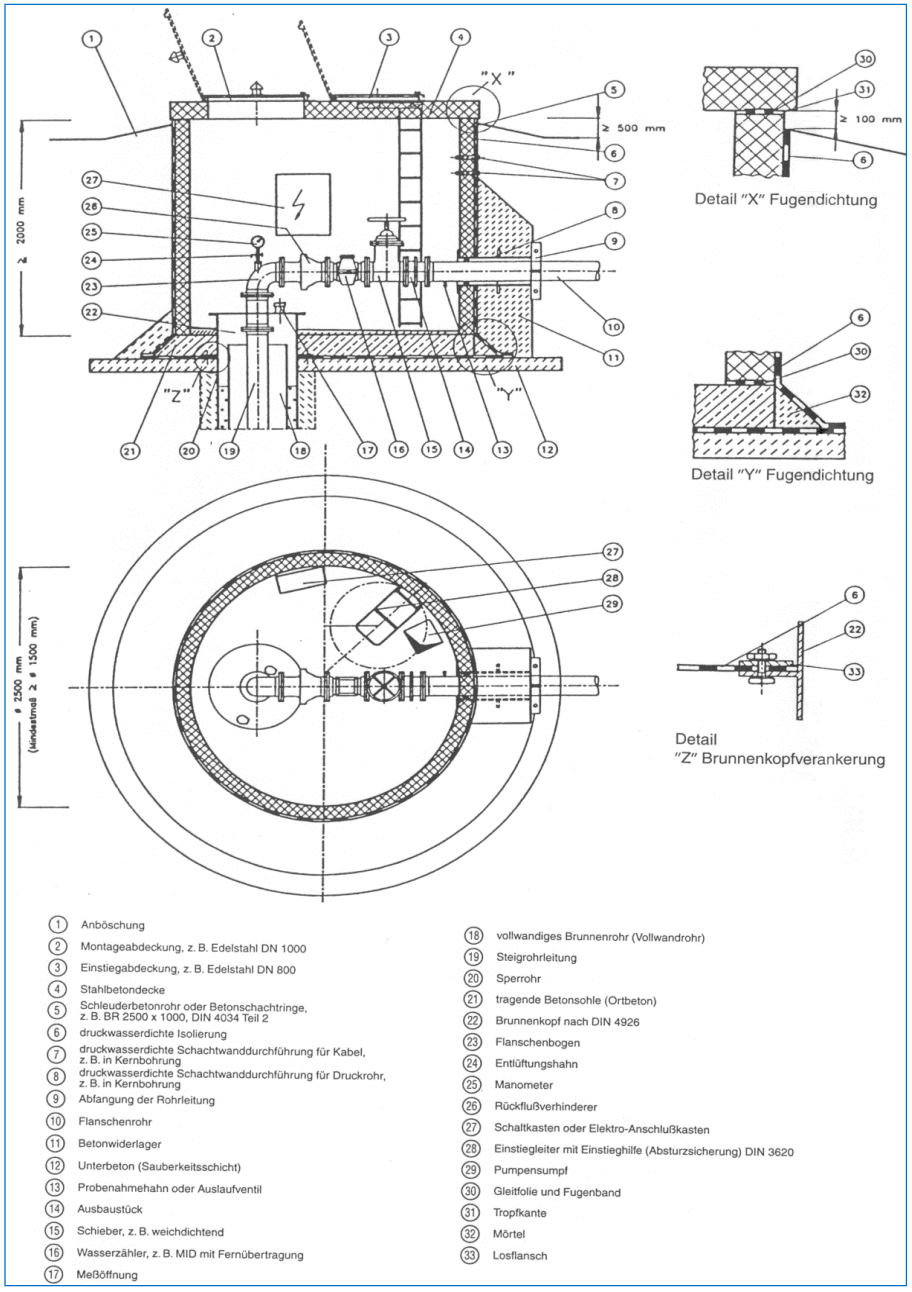
Ergebnisse Tracergasmessungen:

Darstellung des Messfeldes um einen Brunnen



Schachtnahe Austritte = **Wegsamkeit zum Brunnenrohr nachgewiesen**

Unterirdischer Rundschacht: älteste Bauform



1 Anböschung
2 Montageabdeckung, z. B. Edelstahl DN 1000
3 Einstiegabdeckung, z. B. Edelstahl DN 800
4 Stahlbetondecke
5 Schleuderbetonrohr oder Betonschachtringe, z. B. BR 2500 x 1000, DIN 4034 Teil 2
6 druckwasserdichte Isolierung
7 druckwasserdichte Schachtwanddurchführung für Kabel, z. B. in Kernbohrung
8 druckwasserdichte Schachtwanddurchführung für Druckrohr, z. B. in Kernbohrung
9 Abfangung der Rohrleitung
10 Flanschenrohr
11 Betonwiderlager
12 Unterbeton (Sauberkeitsschicht)
13 Probenahmehahn oder Auslaufventil
14 Ausbaustück
15 Schieber, z. B. weichdichtend
16 Wasserzähler, z. B. MID mit Fernübertragung
17 Meßöffnung
18 vollwandiges Brunnenrohr (Vollwandrohr)
19 Steigrohrleitung
20 Sperrohr
21 tragende Betonsohle (Ortbeton)
22 Brunnenkopf nach DIN 4926
23 Flanschenbogen
24 Entlüftungshahn
25 Manometer
26 Rückflußverhinderer
27 Schaltkasten oder Elektro-Anschlußkasten
28 Einstiegleiter mit Einstieghilfe (Absturzsicherung) DIN 3620
29 Pumpensumpf
30 Gleitfolie und Fugenband
31 Tropfkante
32 Mörtel
33 Losflansch

Übertageabschluss = optimaler Zugang und Arbeitsschutz!

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“) sofern nicht anders indiziert