



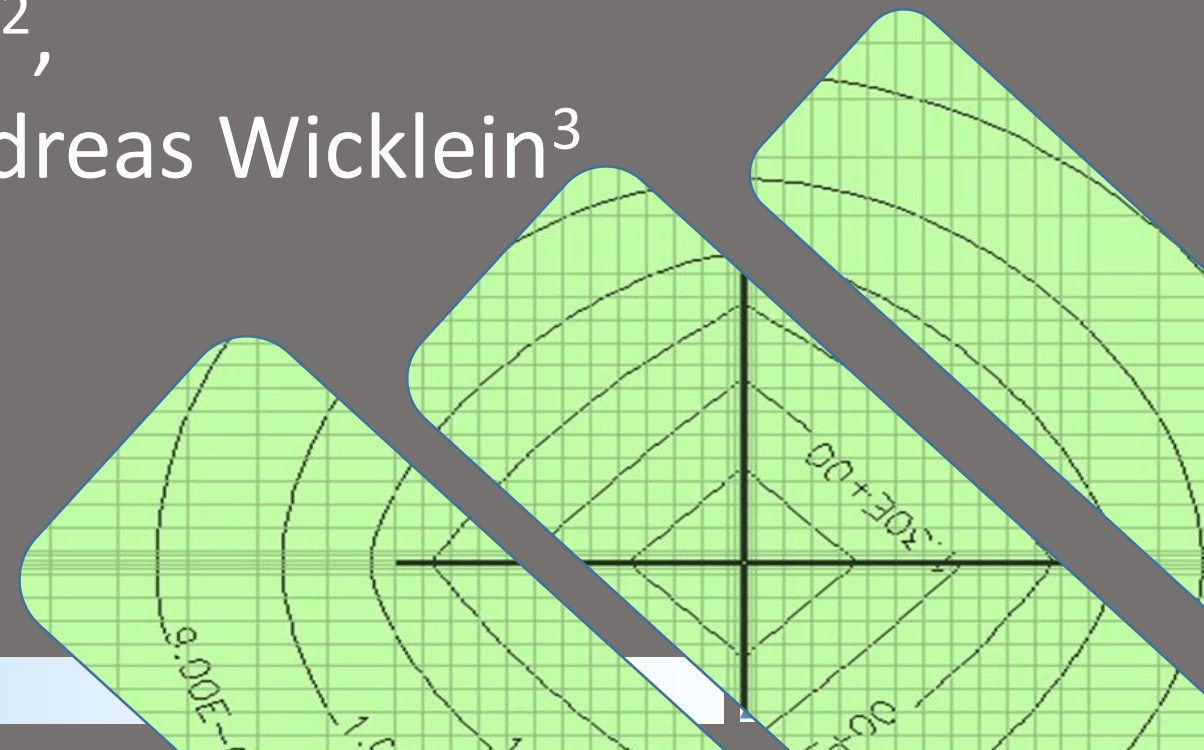
Der Horizontalfilterbrunnen

- Know-how Übergabe an die 4. Generation -

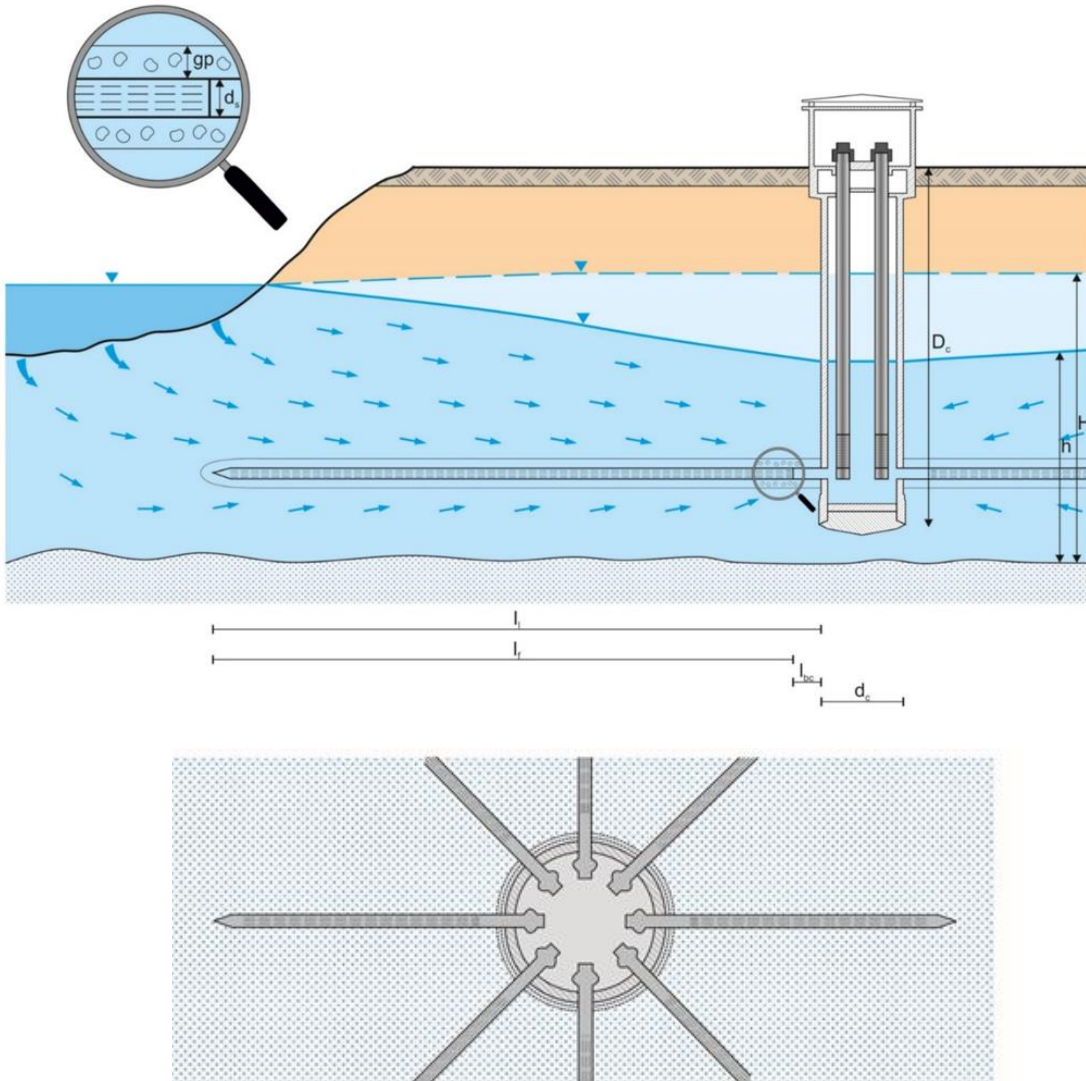
Georg Houben¹, Thomas Daffner²,
Björn Scheppat-Rosenkranz², Andreas Wicklein³

mit Beiträgen von:

Sarah Collins, Mark Bakker, Falk Triller,
Anvar Kacimov et al.



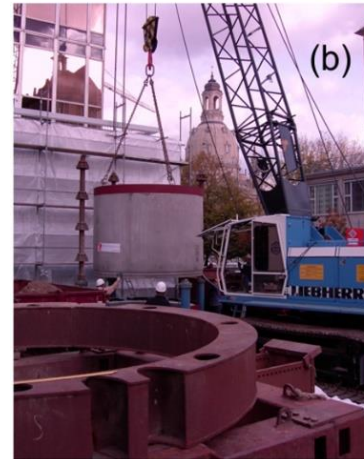
Horizontalfilterbrunnen



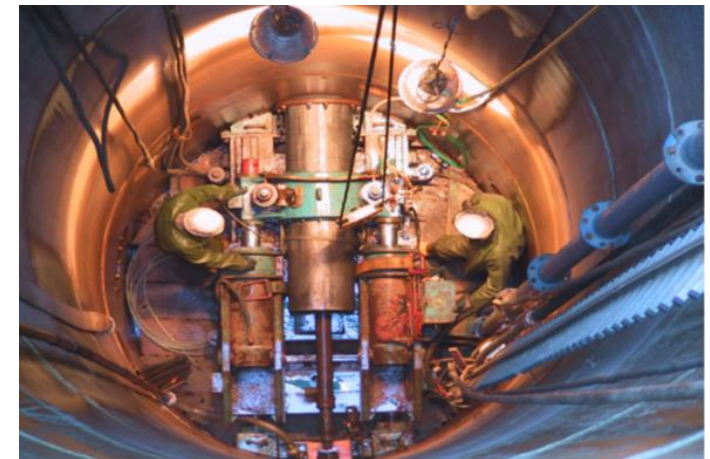
Leo Ranney (USA) 1927, Schacht mit 16 Strängen für die Ölproduktion

Erste HFB zur Wasserversorgung:
 GB: 1933, USA: 1936, CH: 1947,
 BRD: 1950, DDR: 1953, A: 1959

1949/51 Patent Fehlmann, 1953 Preussag
 2000er Angetriebener Bohrkopf

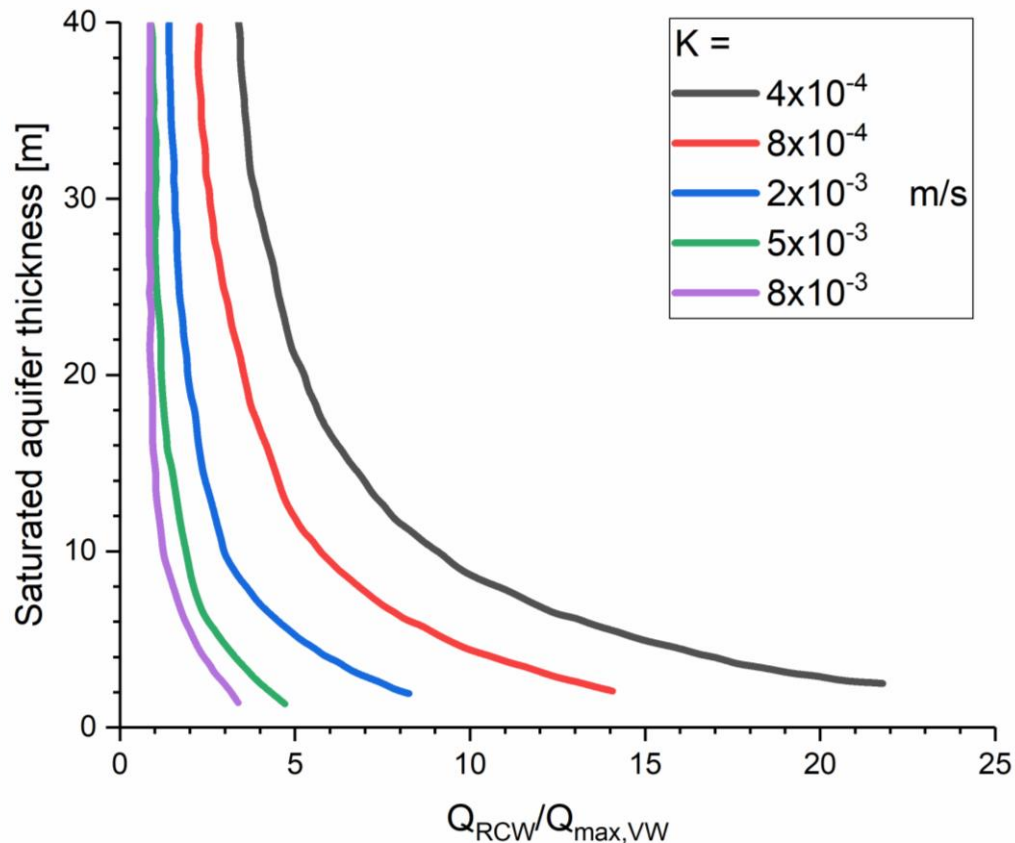


HFB-Schachtbau Dresden



Strangvortrieb, Hoyerswerda

Horibrunnen: Vor- und Nachteile



Vorteile:

- hohe Förderraten
→ 1 HFB ersetzt bis zu 15 VFB
- zentrale Installation (Leitungsbau)
- geringere Absenkung
→ besonders geeignet für geringmächtige Aquifere
→ weniger Salzwasseraufstieg
- geringere Betriebskosten
- langsamere Alterung → langlebig

Nachteile:

- hohe Baukosten
- spezielle Technik
→ wenige Planer, Baufirmen, Regenerierer
- bei Ausfall schwer zu ersetzen
- komplizierte Hydraulik

Horizontalfilterbrunnen – überhaupt noch relevant?

Land	Vertikalbrunnen	Horibrunnen	Verhältnis
USA	11.800.000	250	47.200 : 1
Deutschland	100.000	200	500 : 1
Schweiz	2.700	200	14 : 1
Österreich	800	200	4 : 1

	<u>Anzahl</u>
Serbien	ca. 100
Ungarn	ca. 250
Süd-Korea	ca. 100
Sri Lanka	32*

* umfunktionierte Schachtbrunnen

Einzelversorger

<u>Stadt</u>	<u>Anzahl HFB</u>
Budapest	217
Belgrad	99
Düsseldorf	18
Hannover	16

Einzelne:

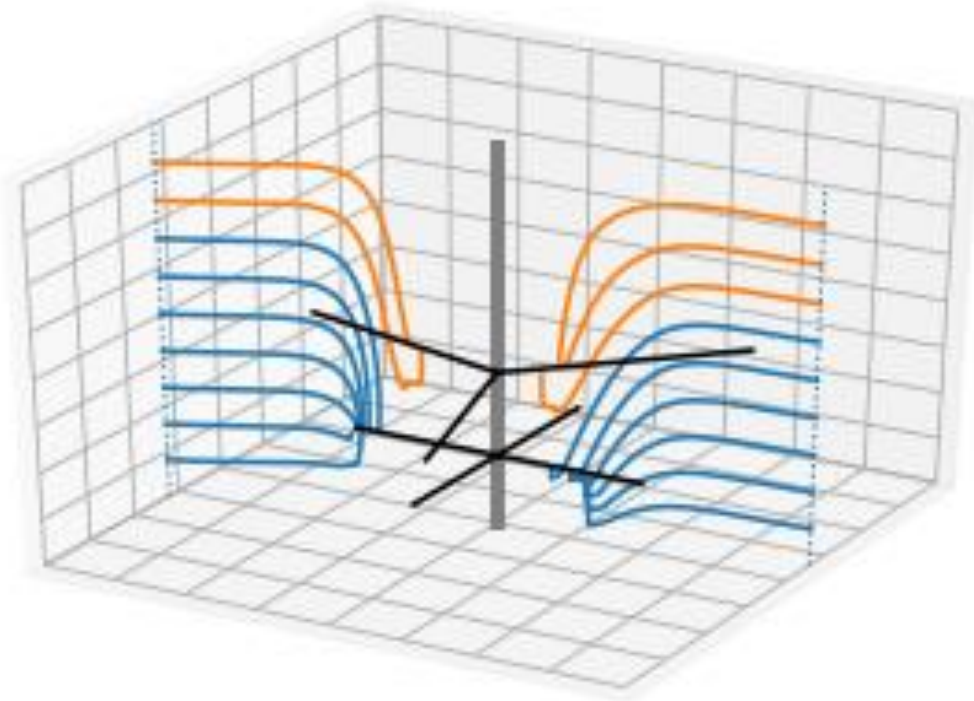
China, Indien, Russland, Kanada, Polen, GB, Frankreich, Niederlande, Belgien, Italien, Dänemark, Tschechien, Litauen, Spanien, Malaysia, Botswana, Zimbabwe

Weltweit ca. 1.300 HFB
600 HFB in D, A, CH (46 %)



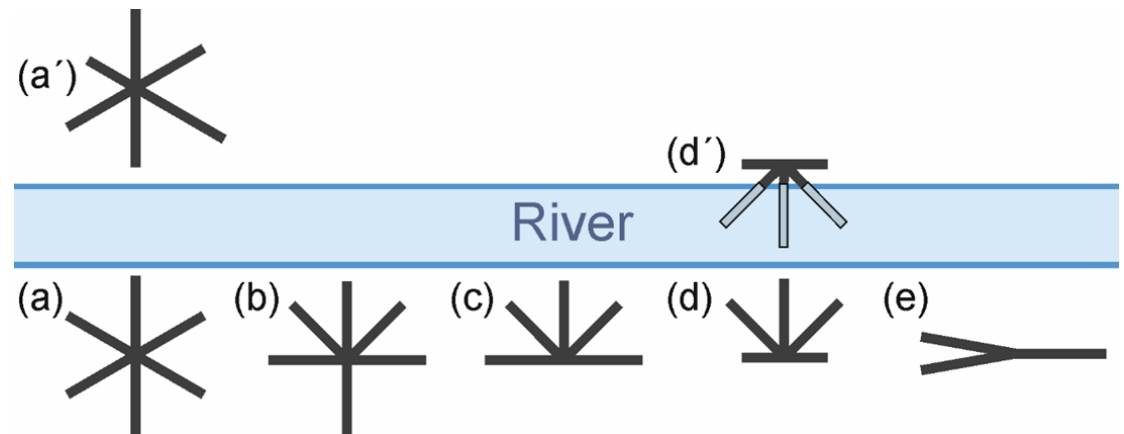
HFB "Gruba Kaśka", Warschau, PL
Q = bis 5.000 m³/h, Schacht- Ø: 11 m,
15 Stränge, Gesamtlänge 1472 m (Ø = 98 m)

Hydraulik von Horizontalfilterbrunnen – kompliziert?



Vergleich der Annahmen zu Vertikalfilterbrunnen:

- ≠ radialsymmetrische Strömung
- ≠ horizontale Strömung
- ≠ gleichmäßige Filteranströmung



Zusätzliche Probleme:

- mehrere Stränge
- unterschiedliche Längen, Winkel, Höhen
- Einfluss des Schachtes
- ggf. Einfluss Oberflächengewässer

Der Goldstandard: Hantush & Papadopoulos (1962)



Mahdi S. Hantush

Absenkung um einen horizontalen Strang im quasi-stationären Fließfeld



S.S. Papadopoulos

$$s_i = \frac{Q_i/L_i}{4 \cdot \pi \cdot K \cdot b} \cdot \left\{ \begin{aligned} &\alpha \cdot W\left(\frac{\alpha^2 + \beta^2}{4 \cdot v' \cdot t}\right) \cdot -\delta \cdot W\left(\frac{\delta^2 + \beta^2}{4 \cdot v' \cdot t}\right) + 2L_i - 2\beta \left(\tan^{-1} \frac{\alpha}{\beta} - \tan^{-1} \frac{\delta}{\beta} \right) \\ &+ \frac{4 \cdot b}{\pi} \cdot \int_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \left[L\left(\frac{n \cdot \pi \cdot \alpha}{b}\right), \left(\frac{n \cdot \pi \cdot \beta}{b}\right) - L\left(\frac{n \cdot \pi \cdot \delta}{b}\right), \left(\frac{n \cdot \pi \cdot \beta}{b}\right) \right] \cdot \cos \frac{n \cdot \pi \cdot z}{b} \cdot \cos \frac{n \cdot \pi \cdot z_i}{b} \end{aligned} \right\}$$

$$\alpha = r \cdot \cos(\theta - \theta_i) - r_c$$

$$\beta = r \cdot \sin(\theta - \theta_i)$$

$$\delta = r \cdot \cos(\theta - \theta_i) - l'$$

$$w = 2 \cdot n \cdot b + z_i - z$$

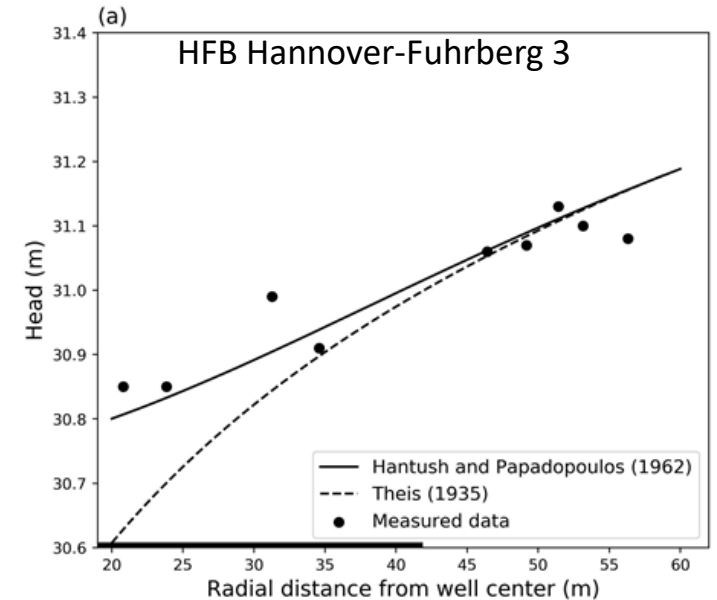
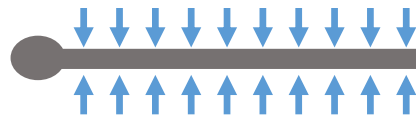
$$L(u, \pm w) = -L(-u, \pm w) = \int_0^u K_0 \cdot \left(\sqrt{w^2 + y^2} \right) dy$$

$$v' = \frac{K \cdot b}{S_y} \quad u = \frac{r^2 \cdot S}{4 \cdot K \cdot b \cdot t}$$

$$l' = r_c + L_i$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

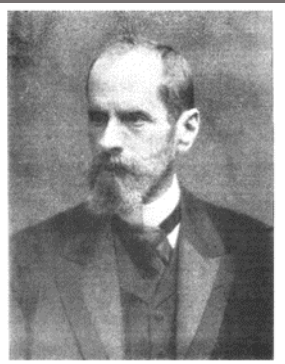
Gültig für: begrenzte Absenkung: $s_i < 0,25 \cdot H_0$ Schachtdurchmesser: $r_c < L_i$
 Quasi-stationär: $t > 2,5b^2/v'$ und $t > 5(r^2 + L_i^2)$ Gleichmäßige Filteranströmung



$n = 8, r = 0.1 \text{ m}, L_i = 39.5 \text{ m},$
 $L_f = 34.5 \text{ m}, r_c = 2 \text{ m}, Q = 445 \text{ m}^3/\text{h}$

Ersatzradius- Methode

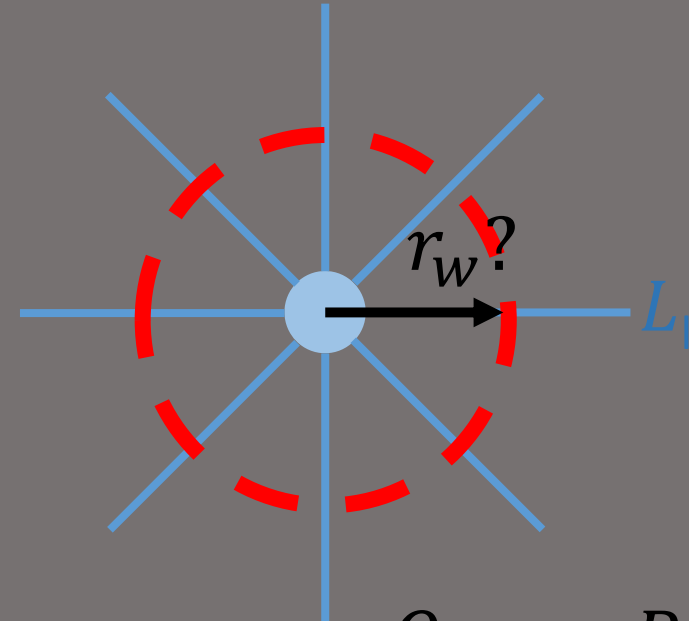
- aus HFB wird VFB



Philipp Forchheimer 1852-1933

“Für die Erscheinungen in größerer Entfernung von einem Brunnen ist offenbar nur seine Lage und die Entnahme von Belang, seine Bauweise aber ohne Einfluß”

(Philipp Forchheimer, Hydraulik (1914))

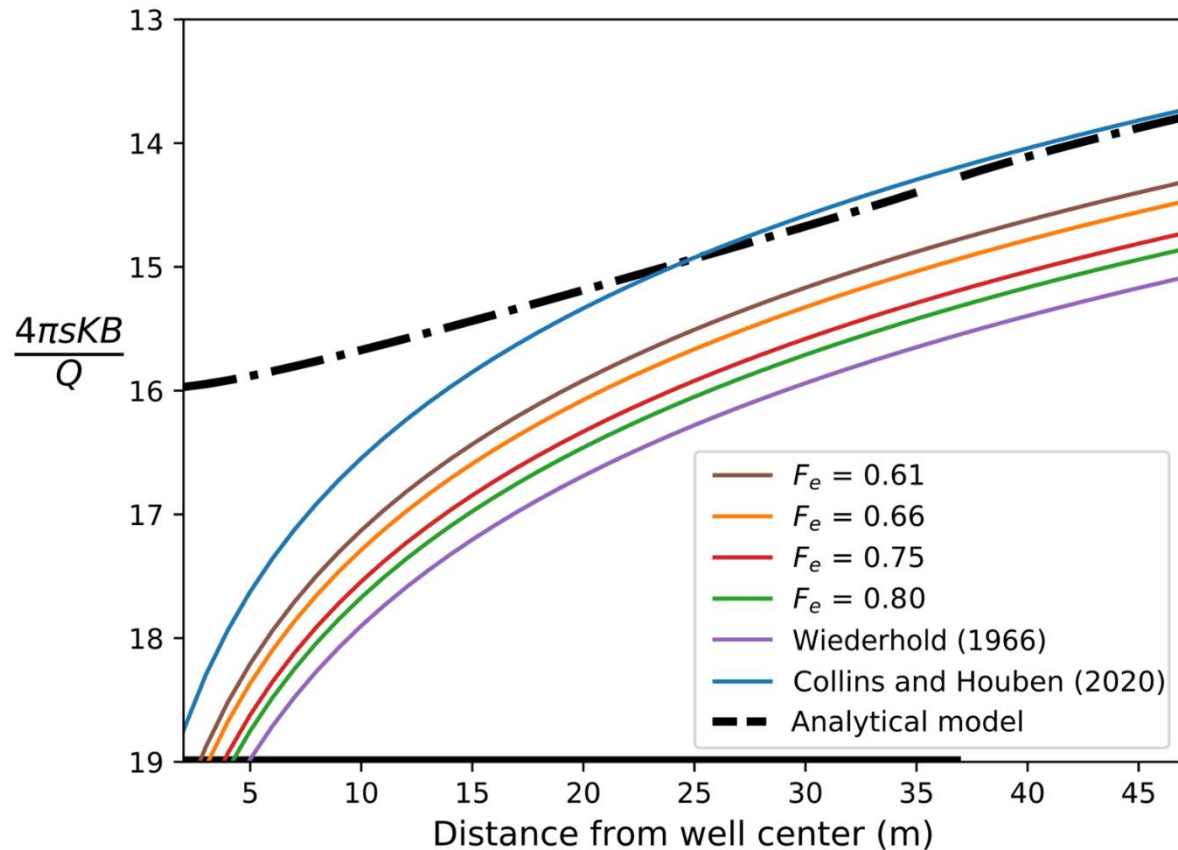


$$s = \frac{Q}{2 \pi T} \ln\left(\frac{R}{r_w}\right)$$

$$r_w = F_e \times L_1$$

$$F_e = \text{Korrekturfaktor } (< 1)$$

Ersatzradius-Methode: Ersetze HFB durch VFB



Gültig für gleichmäßige Verteilung der Zuströmung über Umfang (ähnliche Stranglängen, Zuflussraten Stränge ...)

Forchheimer (1886)

$$r_w = 0.5 \cdot L_l$$

Nöring (1953)

$$r_w = 0.66 \cdot \frac{\sum L_l}{n_l}$$

Mikels & Klaer (1956)

$$r_w = 0.75 - 0.80 \cdot L_l$$

Hantush & Papadopoulos (1962)

$$r_w = 0.75 \cdot L_l$$

Wiederhold (1966)

$$r_w = 0,84 \cdot \frac{\sum(L_f + L_{bc})}{n_l} + r_c$$

McWorther & Sunada (1977)

$$r_w = 0.61 \cdot L_l$$

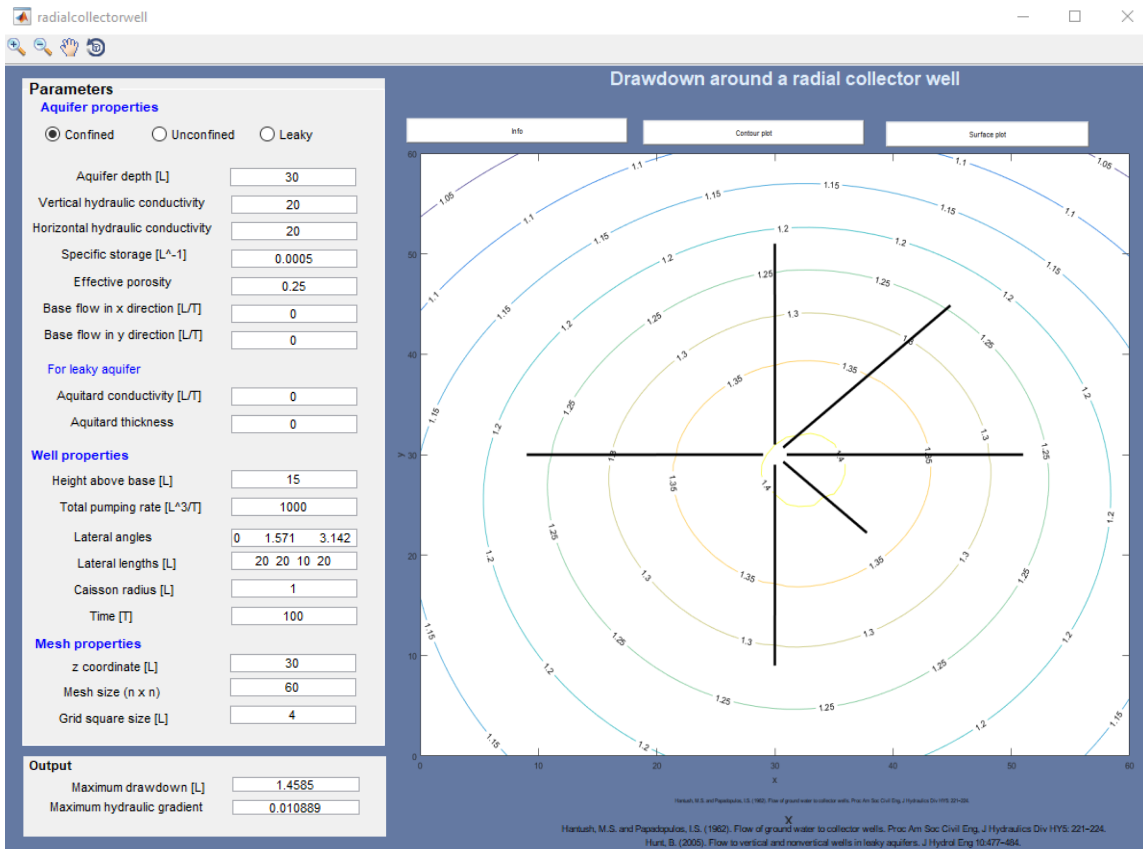
Collins & Houben (2020) $r_w = 1,33 \cdot \frac{(r_c + L_{bc})}{L_f} + 0,38$

s = Absenkung, Q = Förderrate, T = Transmissivität, R = Absenkreichweite, r_w = Brunnenradius, L_l = Länge Strang, n_l = Anzahl Stränge, L_f = verfilterte Stranglänge, L_{bc} = nicht verfilterte Stranglänge (Blindrohr), r_c = Schachtradius

HFB zukunftssicher machen: Innovationen (1)

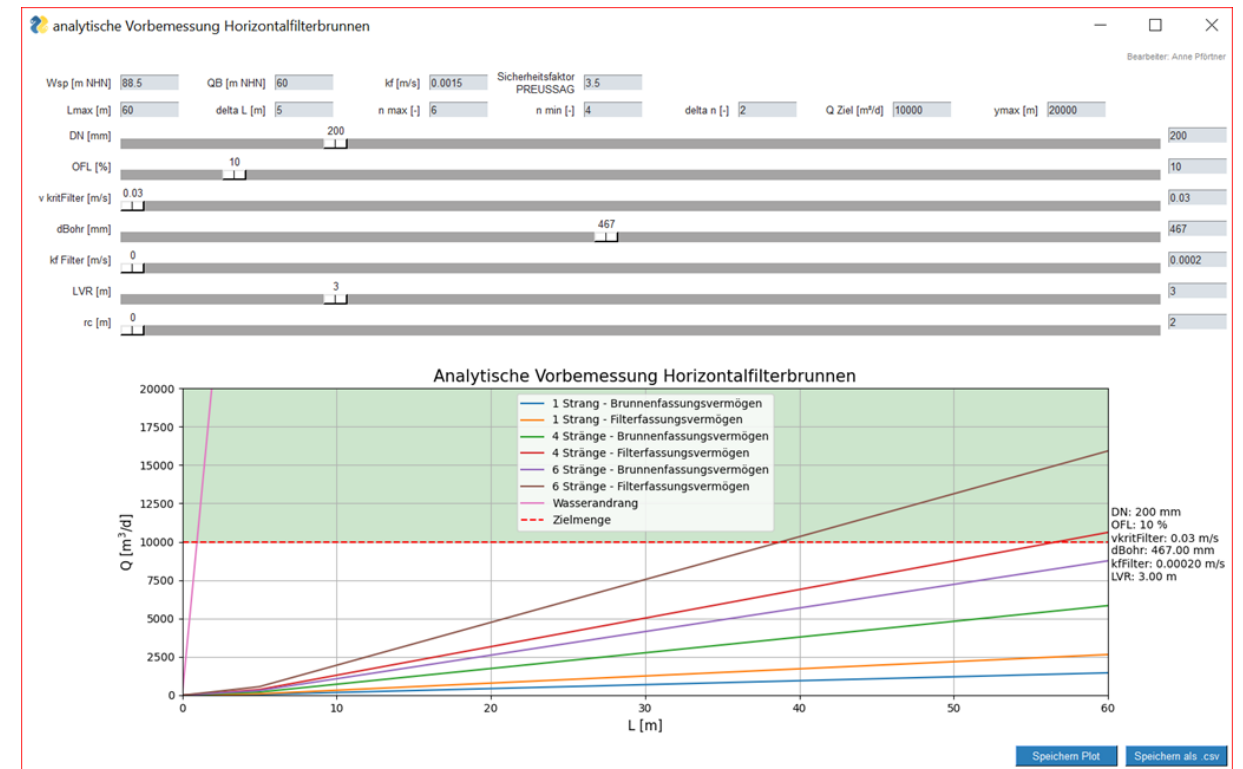
MATLAB-Applikation HORI (BGR)

- berechnet Absenkungen um HFB
- nutzt H & P (1962), Williams (2013)



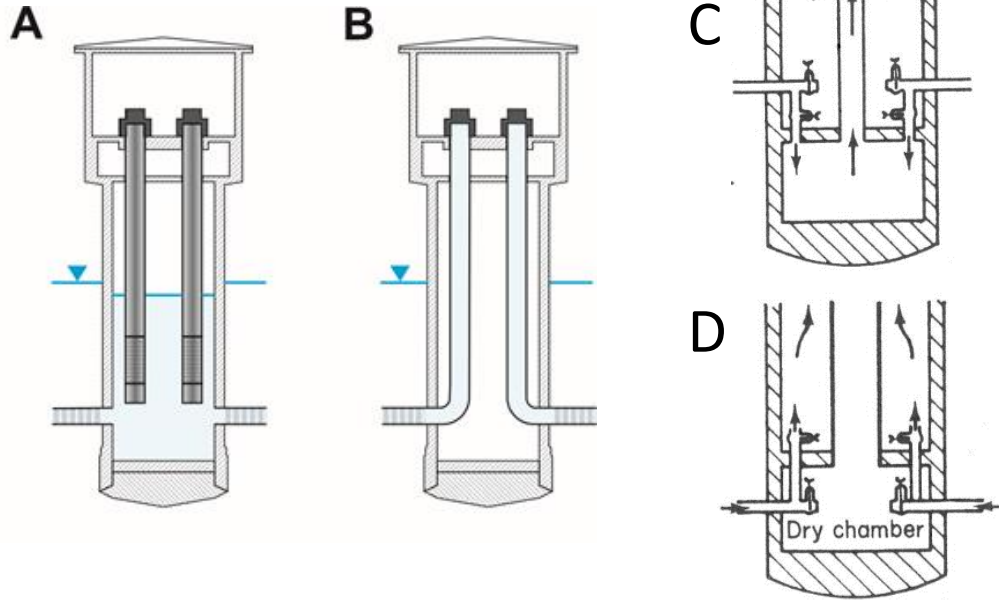
Python-Applikation HORI (UBV)

- Vordimensionierung HFB
- nutzt empirische Gleichungen

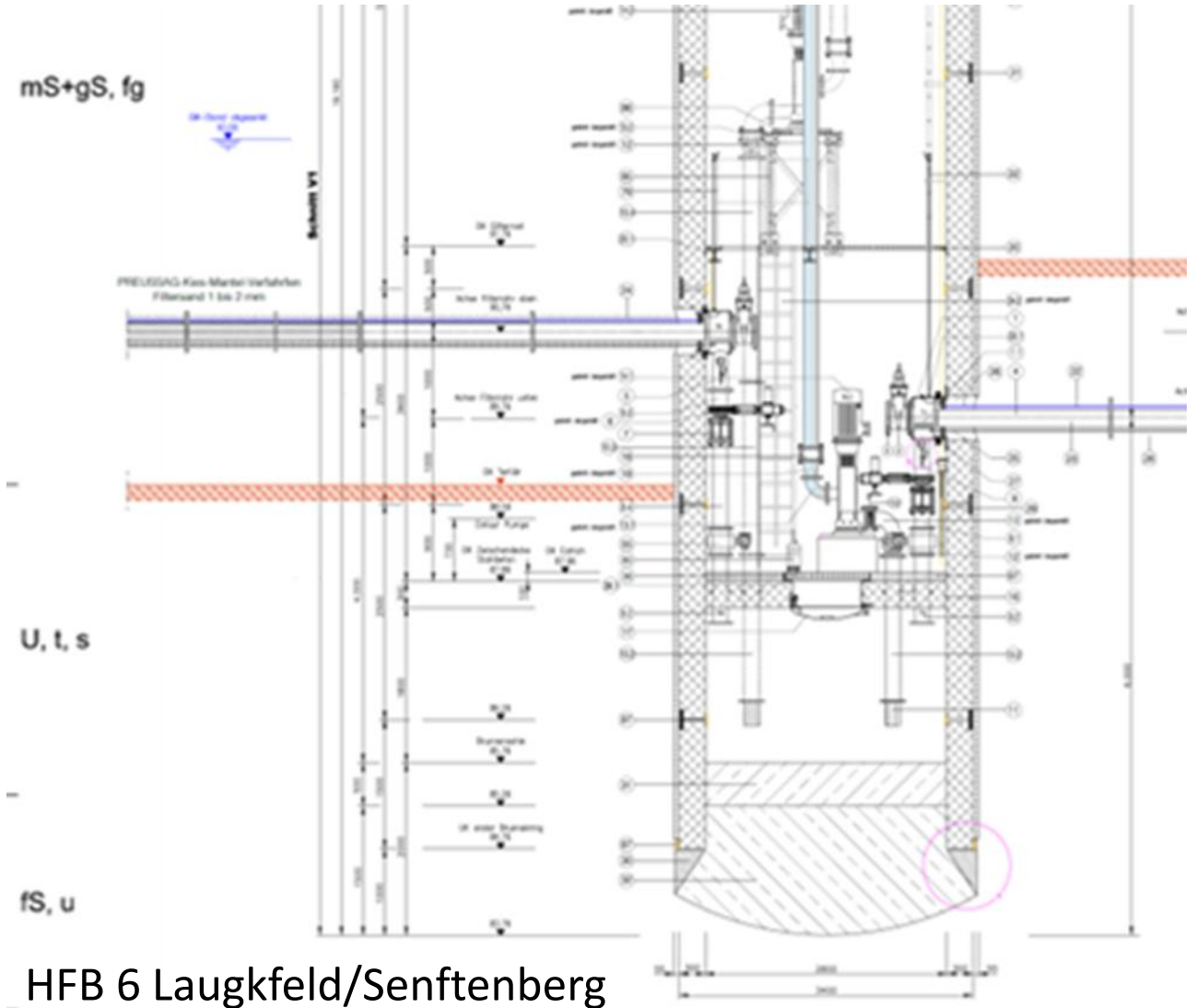


HFB zukunftssicher machen: Innovationen (2)

Schachtbauwerk



- A: „nasser“ Schacht (92%)
- B: „trockener“ Schacht (8%)
- C: „nasser Keller“, Druckschacht
- D: „trockener“ Keller



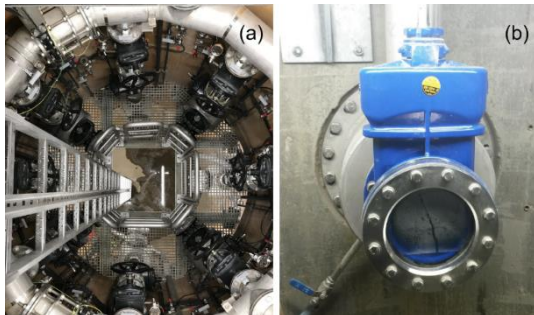
HFB 6 Laugfeld/Senftenberg

HFB zukunftssicher machen: Innovationen (3)

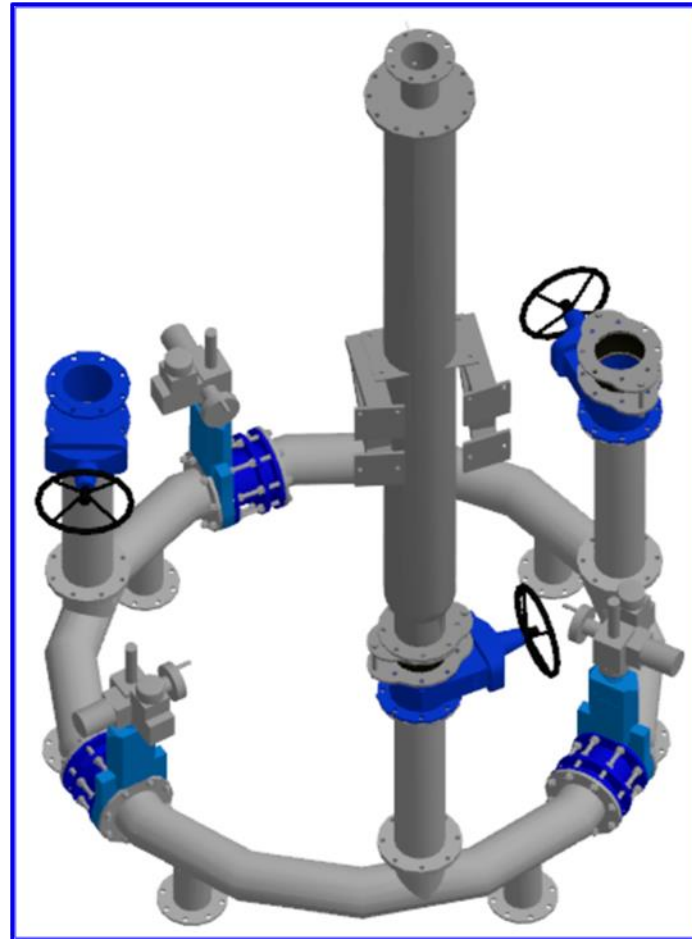
Trockenaufstellung

Innovationen und Vorteile:

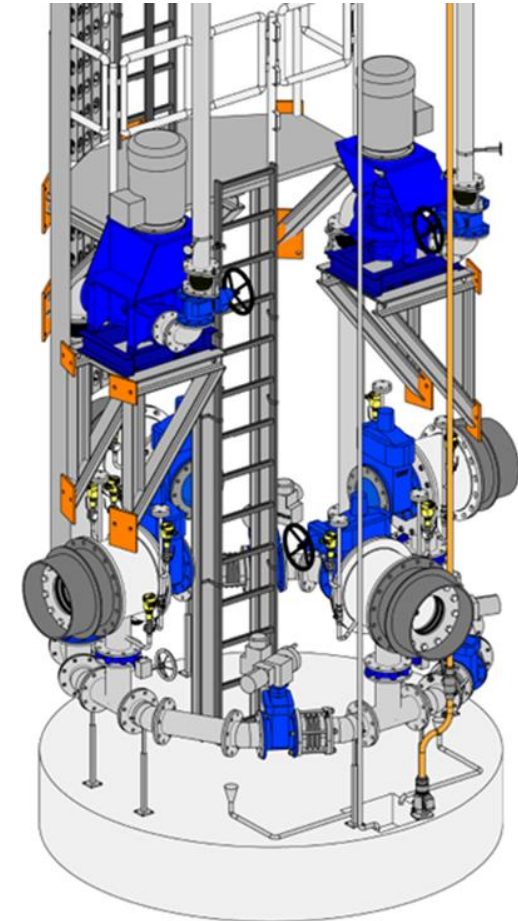
- Kein Zutritt von Luft-Sauerstoff (weniger Verockerung)
- Schieberkammer
- Ringleitung (o/u) - Q-variabel, Regenerierung im lfd. Betrieb
- Tauchmantel- bzw. Kreiselpumpe
- Steigleitung
- Brunnenstube m/o EMSR
- Ableitung



Ringleitung
mit Tauchmantel-Pumpe

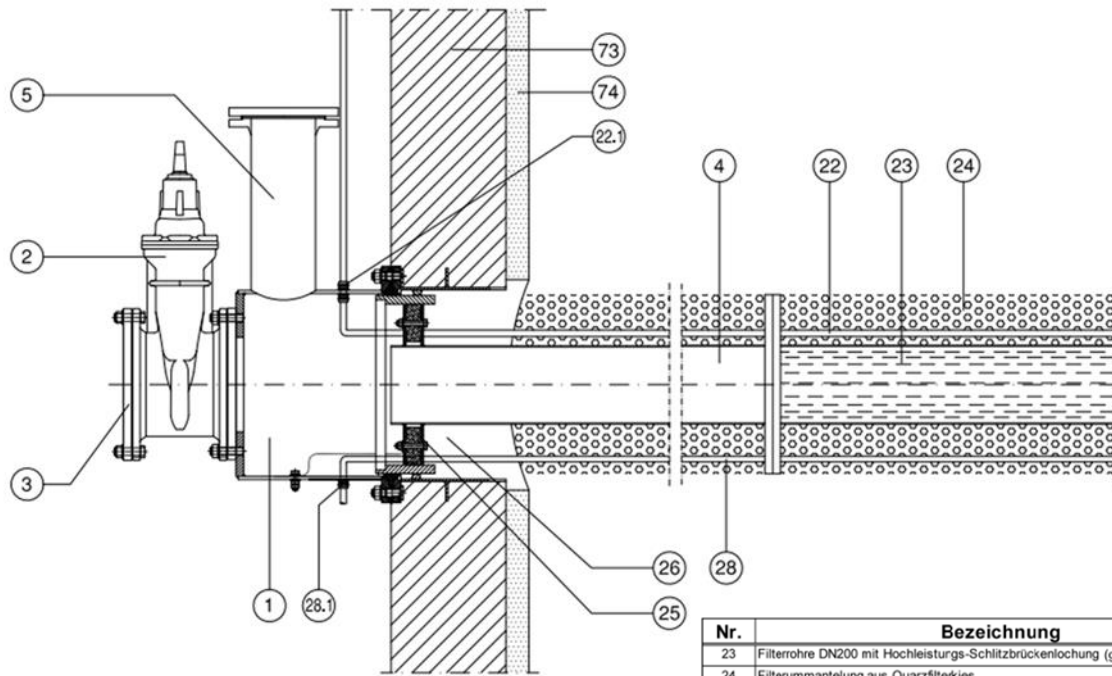


mit Kreiselpumpen



HFB zukunftssicher machen: Innovationen (5)

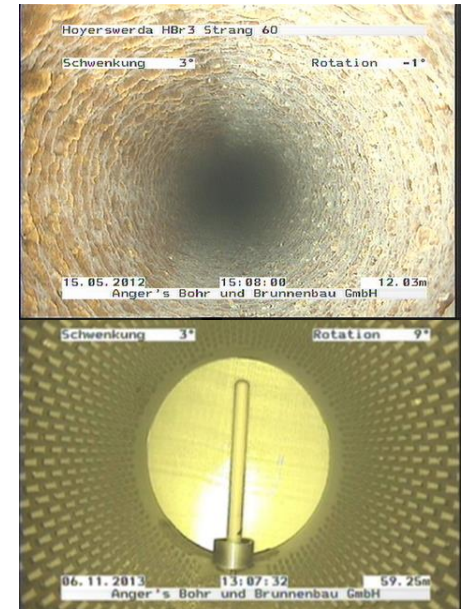
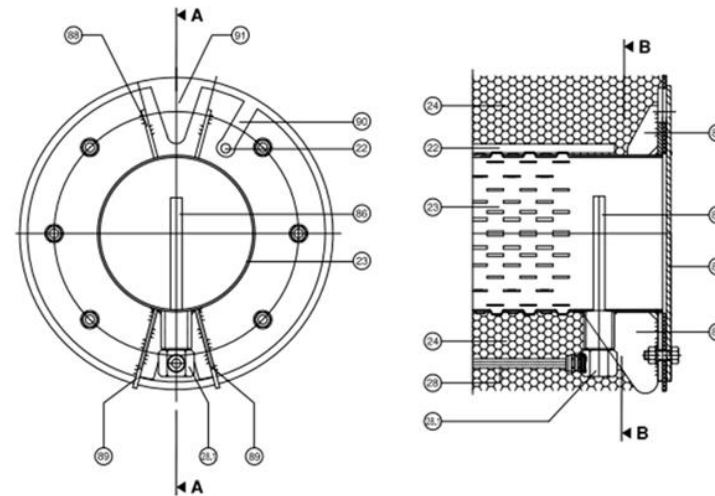
Bessere Regenerierbarkeit:
Säure-Spülleitungen im Kiesmantel



Schachtwanddurchführung

Nr.	Bezeichnung	Werkstoff
23	Filterrohre DN200 mit Hochleistungs-Schlitzbrückenlochung (ggf. Wickeldrahtfilter)	Edelstahl
24	Filterummantelung aus Quarzfilterkies	Quarz
22	Säurespülleitung 1/2", mit Rohrschellen zur Wardmontage und 2-Wege-Ventil	
28	Stromkabel (isoliert) im Schutzrohr für Verockerungsschutz	
28.1	Kabelanschluss für Verockerungsschutz mit Kabelverschluss und Einschraubmuffe	
86	Titankathode	Titan
87	Filterabschlussdeckel	Edelstahl
88	Flanschstabilisierungswinkel	Edelstahl
89	Flanschgleitschuhwinkel	Edelstahl
90	Einführungsschlitz für chemische Spülleitung	
91	Öffnung für Verkiesung	

Prävention der Verockerung:
AVOS – anodischer Verockerungsschutz
mit Titan-Elektrode



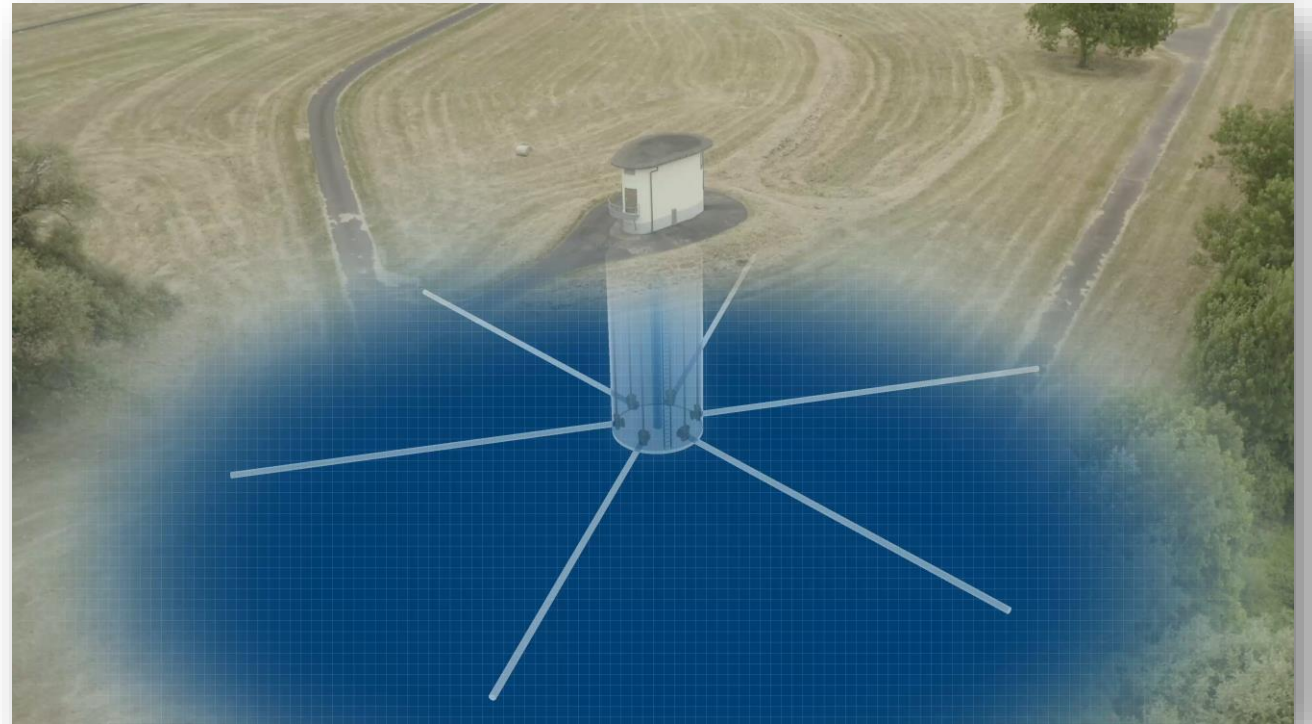
10 a Betrieb mit AVOS

- Aufprägen elektr. Stromes auf Filteroberfläche
- anodische Oberfläche stößt Eisenoxide ab
- Vorsicht! Bestimmung von Schwellenwert anhand von Stromdichte-Potential-Kurven

HFB zukunftssicher machen: Analyse & Regenerierung

mögliche Problemstellungen:

- signifikanter Leistungsverlust aufgrund erhöhter Filtereintrittswiderstände in Folge biologischer Verockerung
- strangspezifische bauliche Mängel aufgrund von verdecktem oder sichtbarem korrosivem Lochfrass
- erhöhte betriebsinduzierte Feststoffeinträge in Folge Planungsfehler oder konstruktiver Mängel
- Verbund vorgenannter 3 Punkte

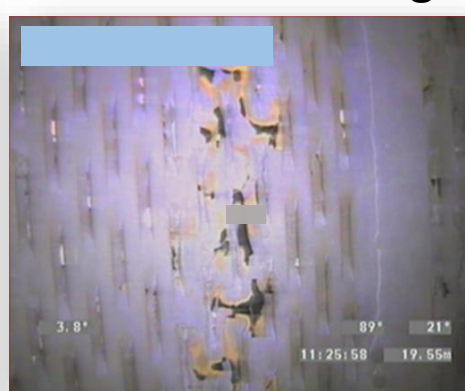
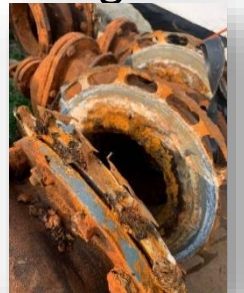


HFB zukunftssicher machen: Analyse & Regenerierung

Leistungsdiagnose & Variantendiskussion:

Erfassung und Dokumentation des Brunnenzustandes aus vorhandenen Unterlagen und Erarbeiten der Maßnahmen

- optische Bestandsaufnahme
- bei unzureichender Sicht sensible mechanische Vorreinigung der betreffenden Filterstränge mittels Wasserhochdrucktechnik und Absaugvorrichtungen, mit anschließender Wiederholung TV- Befahrung
- Kontrolle der Schiebereinrichtungen an den Einzelsträngen
- hydraulische Bestandsaufnahme (Einzelstrangpumpversuche; Gesamtpumpversuch)
- Optional: Geophysikalische Ermittlung der Zuflusscharakteristik (Flowmeter)



HFB zukunftssicher machen: Analyse & Regenerierung

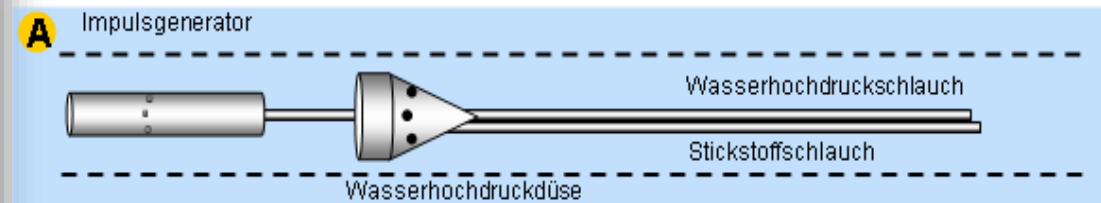
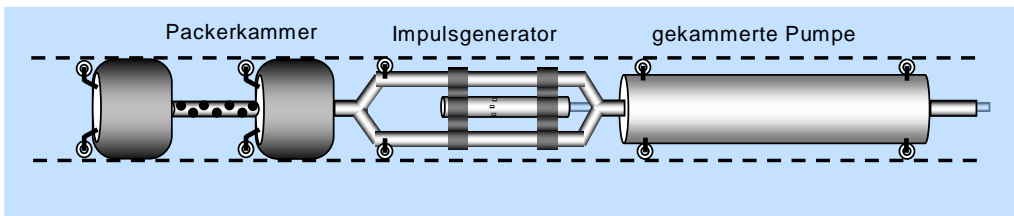
mögliche Maßnahmen:

Regenerierung

- tiefenwirksame Energieeinträge zur Entfernung der Feststoffablagerungen
- abschnittsorientierte Nachentsandung der einzelnen Filterstränge mittels mobilen Packerkammersystems

Sanierung

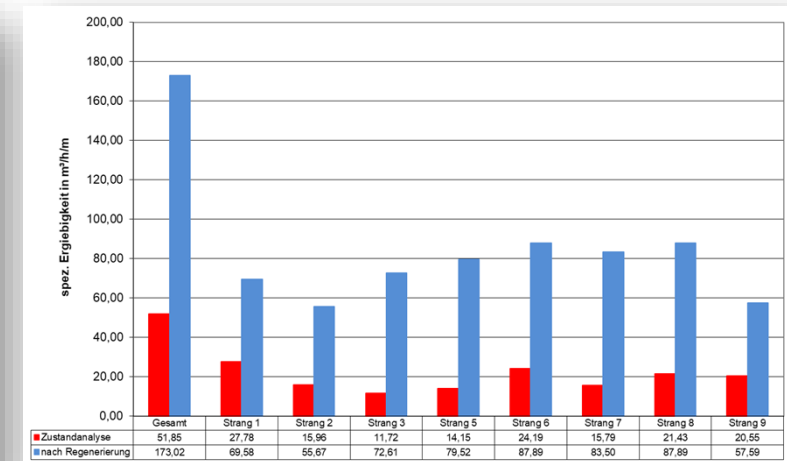
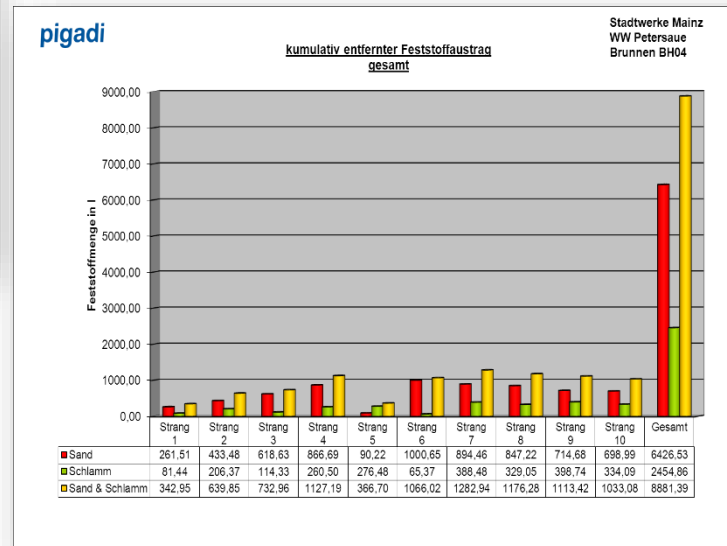
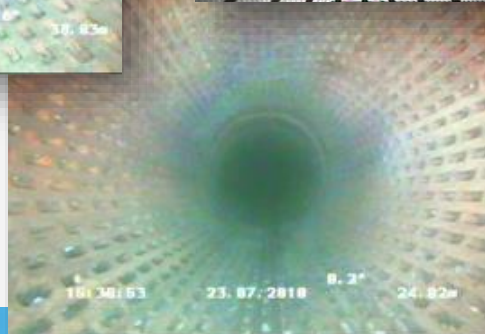
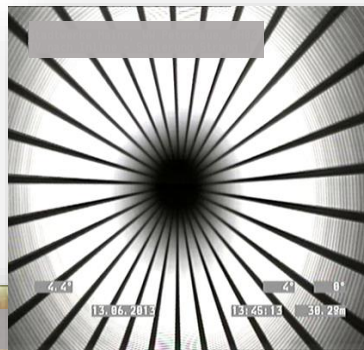
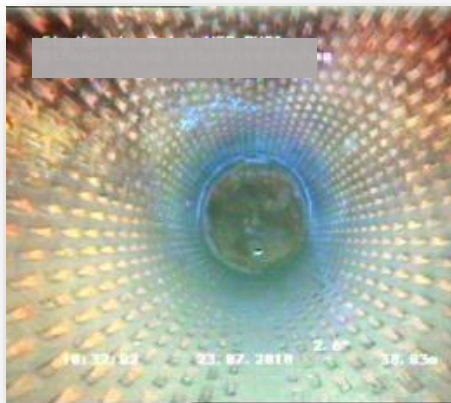
- mechanische Vorreinigung der betreffenden Filterstränge
- Kalibermessung in den Strängen
- Einschub Inlineverrohrung
- tiefenwirksame Energieeinträge zur Entfernung der Feststoffablagerungen
- abschnittsorientierte Nachentsandung der einzelnen Filterstränge mittels mobilen Packerkammersystems



HFB zukunftssicher machen: Analyse & Regenerierung

Nacharbeiten/Erfolgskontrolle

- optische Bestandsaufnahme nach der Maßnahme
- hydraulische Bestandsaufnahme (Einzelstrangpumpversuche; Gesamtpumpversuch)
- Optional: Geophysikalische Ermittlung der Zuflusscharakteristik (Flowmeter)
- Optional: Montage neuer Schiebersättel & Schieber



HFB zukunftssicher machen: Analyse & Regenerierung

Kleiner Exkurs in die Vergangenheit

Horizontalfilterbrunnen
Riemeisterfenn Berliner
Wasserwerke 1956

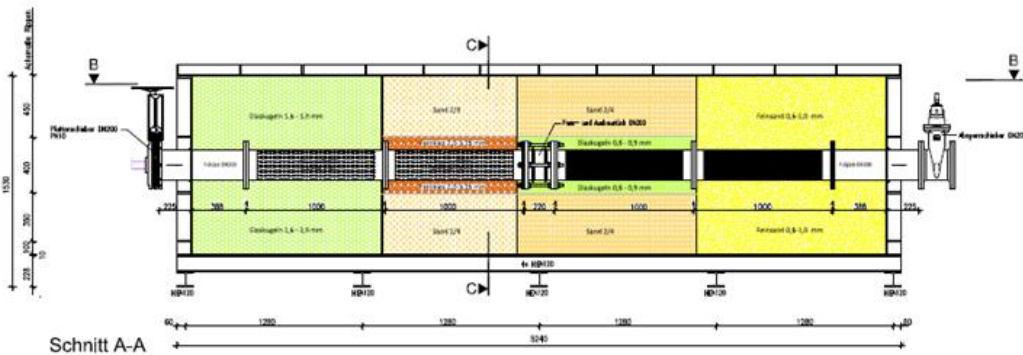


Video player controls including a play button, a progress bar, a volume icon, and a timestamp of 00:02,63. The text "Anstalt für wissenschaften d Rohstoffe" is visible in the bottom right corner.

HFB zukunftssicher machen: Analyse & Regenerierung



Innovation braucht Zusammenarbeit



Gefördert durch:
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

FuE Kooperationsprojekt
"Geophysik für Horizontalfilterbrunnen"

Projekträger:
 AF Projekt GmbH

Projektzeitraum:
 01.06.2014 bis 31.05.2016

Teilprojekt der Umweltbüro GmbH Vogtland
 Entwicklung und Betrieb eines Technikarbeitsplatzes und von Datenübertragungsmodulen zur Überführung von Technologien zur Horizontalfilterbrunnen-Untersuchung in der Praxis

Planung der Versuchsanlage **Bau der Versuchsanlage**

Schnitt durch die Versuchsanlage

Außenansicht Versuchsanlage

Planung des Technikums

Kontakt: Dr.-Ing. Thomas Dehler (GF)
 Umweltbüro Vogtland
 Postfach 1000
 05275 Meuselwitz

Teilprojekt der Fa. Anger's Söhne
 Entwicklung eines Trägerelementes für nichtinvasive Messtechnik zur Integration in das Bohrwerkzeug für Horizontalbohrungen

ANGER

Kontakt: Mike Hüber (Betriebsleiter Abt. HBI)
 A. Anger's Söhne - Stahl- und Bohrwerkzeugfabrik Nord
 Lagerstraße 33
 37270 Meinhof, Lüneburg

Teilprojekt der TU Berlin
 Entwicklung einer Messtechnologie zur nichtinvasiven Charakterisierung von Gestein und Grundwasser vom Bohrwerkzeug aus

TU Berlin

"Horibru" - Möglichkeiten für die Geophysik beim Bau eines Horizontalfilterbrunnen

Die Effizienz von Horizontalfilterbrunnen kann wesentlich durch eine auf die angetroffene Geologie optimal abgestimmte Ausdehnung gesteigert werden. Aktuell wird der Ausbau des Brunnens nur anhand des Meterabstrahles aus der Bohrung vorgenommen. Somit ist nur eine sehr eingeschränkte Durchdringung der Geologie zu den erlernten Metern möglich.

Im Rahmen des 2-jährigen Projektes "Horibru" sollen die Möglichkeiten für die Geophysik überprüfbar werden, um solche Geologieauswertungen zu leisten. Ziel des Projektes ist es ein Messverfahren zu entwickeln, welches zuverlässig die erlernte Geologie des entsprechenden Bohrloches speichert und damit eine verbesserte Ausdehnung liefert. Hierzu wird eine Prototypen eines Bohrloches entwickelt, welcher direkt hinter dem Bohrkopf zum Einsatz kommt. So werden geophysikalische Versuchsbedingungen geschaffen, über welche eine genaue Abbildung des durchdrachten Gesteins.

Parallel dazu, jedoch außerhalb des Projektes, werden die Möglichkeiten untersucht, ob eine solche Aussage auch ohne Befüllung des Bohrloches möglich ist. Dazu werden sowohl statische als auch akustische Verfahren an der Erdoberfläche getestet.

Kontakt: Prof. Dr. Frank Börner (Angewandte Geophysik)
 Technische Universität Berlin
 Straße des 17. Juni 135
 10623 Berlin

Teilprojekt des Dresdener Grundwasserforschungszentrum e.V.
 Entwicklung einer in-situ-Messtechnologie zur Überwachung des hydraulischen und geomechanischen Zustandes von Horizontalfilterbrunnen

DGFZ e.V.

Aufgabenstellung

- Bei Entwicklung einer Technologie (Horibru) muss die Überwachung des hydraulischen und geomechanischen Zustandes während der Filterung im Horizontalbohrer (HBI)...
- Ziel der Aufgabe: Entwicklung einer in-situ-Messtechnologie zur Überwachung des hydraulischen und geomechanischen Zustandes von Horizontalfilterbrunnen.
- Entwicklungslösung für die in-situ-Messtechnologie muss die Erfassung der Bohrlochsdimension, die Bohrtiefe und die Bohrdurchmesser (HBI)...
- Ziel ist die Entwicklung einer in-situ-Messtechnologie zur Überwachung des hydraulischen und geomechanischen Zustandes von Horizontalfilterbrunnen.

Lösungsvorschläge

- Nutzung der Bohrerbohrer-Brennstoffeigenschaften zur Erfassung der Bohrtiefe...
- Entwicklung einer in-situ-Messtechnologie zur Überwachung des hydraulischen und geomechanischen Zustandes von Horizontalfilterbrunnen.
- Nutzung der Bohrerbohrer-Brennstoffeigenschaften zur Erfassung der Bohrtiefe...

Erste Ergebnisse

- Messergebnisse zu einer Bohrtiefe von 100 m...
- Messergebnisse zur Bohrtiefe von 100 m...
- Messergebnisse zur Bohrtiefe von 100 m...

Kontakt: Michael Lay
 Dresdener Grundwasserforschungszentrum e.V.
 Moritzstraße 10
 81277 Dresden

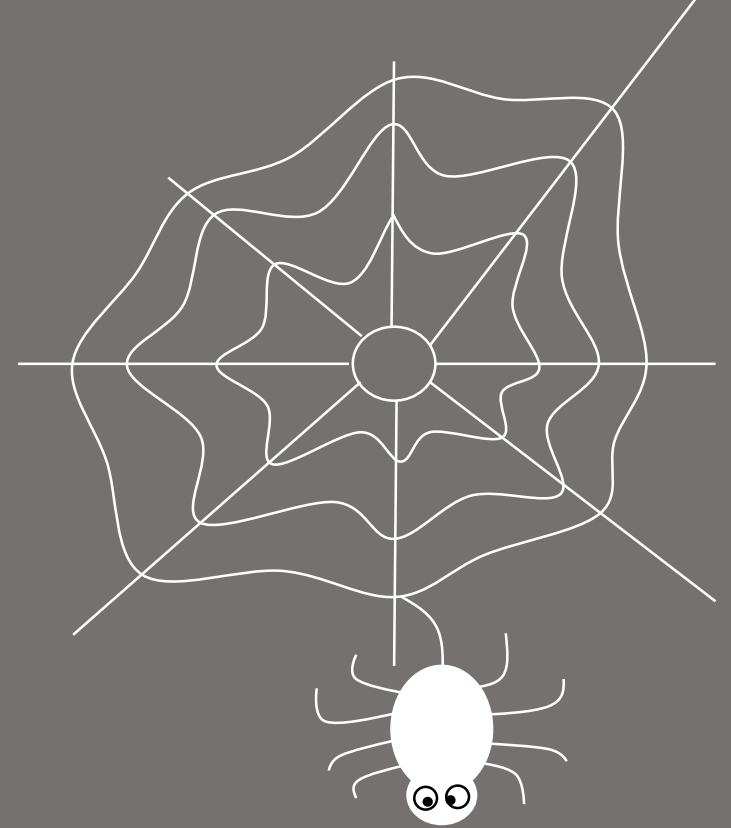
- 1 HFB: komplex, aber gute Alternative für geringmächtige Grundwasserleiter
- 2 Klimawandel = geringere Gw-Mächtigkeit → HFB werden attraktiver
- 3 Hydraulik komplex, Ersatzradius-Methode bietet ausreichende Näherung
- 4 Innovationen verbessern Betrieb, Leistung und Langlebigkeit
- 5 Instandhaltung und Sanierung erlauben langfristigen Betrieb

→ Horizontalfilterbrunnen sind zukunftssicher!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?



Collins, S. & Houben, G.J. (2020) Horizontal and radial collector wells: simple tools for a complex problem. *Hydrogeology Journal* 28: 1925-1935

Houben, G.J., Collins, S., Bakker, M., Daffner, T., Triller, F., Kacimov, A. (2022) Review: Horizontal, directionally drilled and radial collector wells. *Hydrogeology Journal* 30: 329-357

Quellen

Hantush MS, Papadopoulos IS (1962) Flow of ground water to collector wells. *Proc Am Soc Civil Eng, J Hydraulics Div HY5*: 221–224.