

L. Pendzich¹, Y. Reduth², M. Pinnekamp¹, J. M. Kuckelkorn¹

In mehreren Unterprojekten werden Qualitätsanforderungen an EWS-Verfüllbaustoffe hinsichtlich ihres Filtrationsverhaltens und der hydraulischen Systemdurchlässigkeit eruiert. Durch realmaßstäbliche Nachbildung der Filtrationsprozesse beim Verfüllen und teilweisen Rückbau verfüllter EWS, wird das Entstehen von Inhomogenitäten und Fehlstellen besser verstanden. Standardisierte Messverfahren zur Bestimmung der Systemdurchlässigkeit liefern Erkenntnisse zu kritischen Temperaturänderungen während des EWS-Betriebs und dem zeitlichen Systemverhalten. Dadurch kann die Systemintegrität von EWS optimiert und deren Betriebssicherheit verbessert werden.

Filtrationsprozesse in EWS²

TP 3.1: Analyse der Verfüllqualität in Filtrationsversuchen

Bei der Verfüllung von EWS in einer hydraulisch durchlässigen Formation filtrierte der Baustoff aufgrund des Druckunterschieds zwischen Suspension im Bohrloch und der Umgebung. In einem realmaßstäblichen Versuchsstand wurde der Verfüllvorgang tiefer Bohrlochabschnitte mit Filtratwasserabgabe simuliert. Dafür wurden zeitliche Druckverläufe bei realen EWS-Verfüllvorgängen erfasst und im Versuch automatisiert nachgebildet.

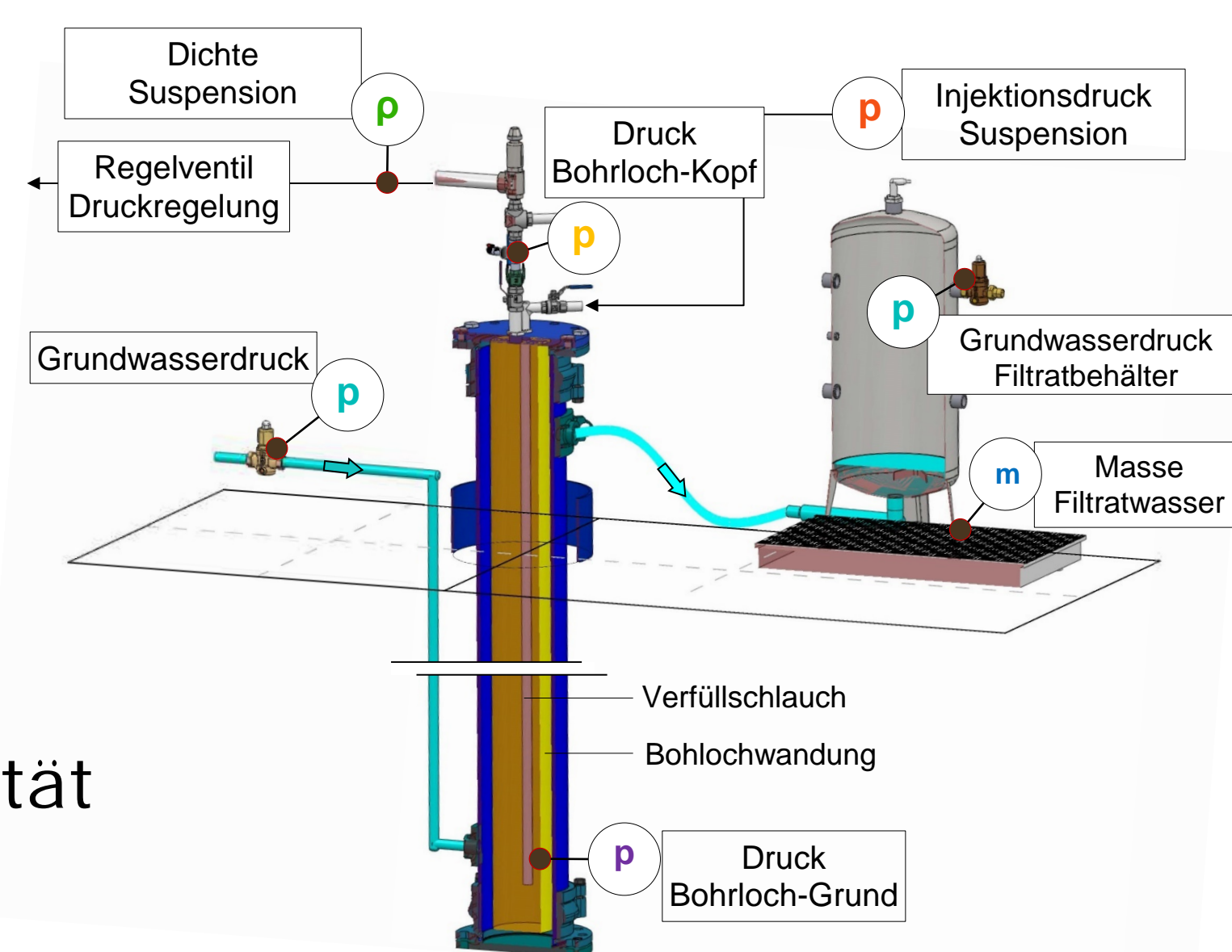


Abbildung 1: Versuchsstand mit Messgrößen zur Nachbildung tiefer Bohrlochabschnitte

Auswirkungen auf den Verfüllbaustoff

- Trennung in Strömungskanal und Filterkuchenbereich
- Deutlich erhöhte Dichte, Wärmeleitfähigkeit und -kapazität
- Ausbleiben von Fehlstellen und gravitativ getriebener Entmischung



Abbildung 2: links - Horizontalschnitt durch Bohrlochverfüllung mit Sondenrohren in hydraulisch permeabler Sandformation

Abbildung 3: mittig - freigelegte Verfüllsäule mit abgetragener Sandformation im Hintergrund

Abbildung 4: rechts - im Querschnitt ist eine klare Trennung zwischen dem schmalen Strömungskanal und dem Filterkuchen erkennbar

TP 3.4: Analyse der Verfüllqualität im realen Untergrund

Unter wissenschaftlicher Begleitung wurden in einem Steinbruch acht EWS-Bauwerke (ca. 30 m) in einer Löss-Deckschicht und darunter liegendem Kalkstein erstellt. Im Jahr 2023 wurden sie bis in die Kalksteinschicht freigelegt. Die Ergebnisse bestätigen die Beobachtungen aus dem Filtrationsprüfstand.

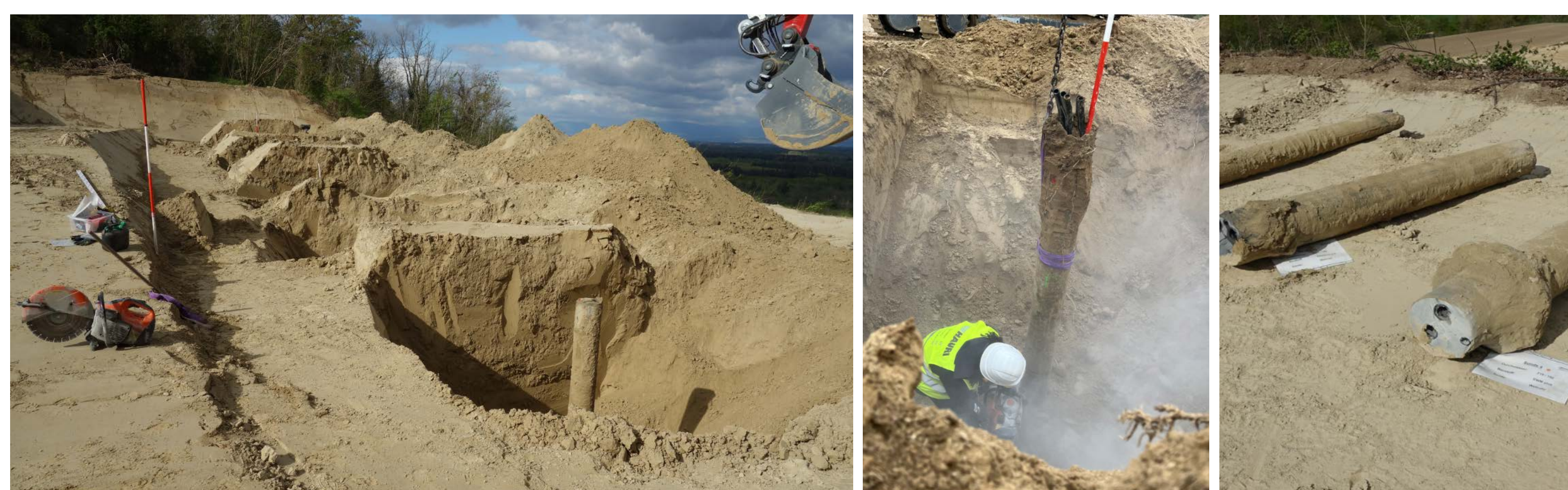


Abbildung 5: links - schichtweise Freilegung der EWS-Bauwerke in einem Steinbruch

Abbildung 6: mittig - Bergung der ausgegrabenen EWS-Segmente

Abbildung 7: rechts - optische Analyse der EWS-Segmente und Probenahme für die Laboranalyse

¹ZAE Bayern

Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching
E-Mail: lukas.penzich@zae-bayern.de

²Solites – Steinbeis Forschungsinstitut

Meitnerstr. 8, 70563 Stuttgart
E-Mail: reduth@solites.de

Systemdurchlässigkeit von EWS¹

TP 3.2: Ermittlung der hydraulischen Durchlässigkeit von Systemproben



Abbildung 8: Systemprobe (1 m) mit vier Sondenrohren und zentralem Verfüllschlauch. Nach den Messungen sind entlang der Sondenrohrwände Ablösungseffekte erkennbar.

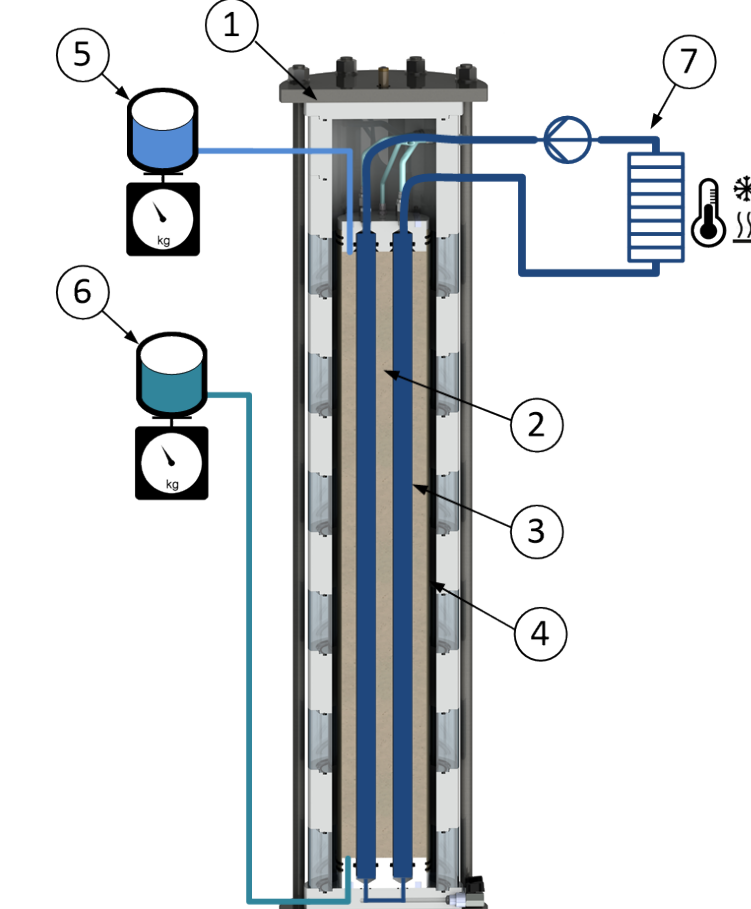


Abbildung 9: Schema der Systemtriaxialzelle: 1 – Druckbehälter 2 – Verfüllbaustoff 3 – Sondenrohre (2-U) 4 – Latexmembran 5 – Messwasser Auslass 6 – Messwasser Einlass 7 – Temperierkreis

Systemtriaxialzelle

- Basierend auf dem Konzept der Triaxialzelle nach DIN 180130-1
- Variable Probenlänge und Querschnittsgeometrie
- Doppel-U-Sonde
- Systemtrennung zwischen Porenwasser und Regelluft
- Kontinuierliches Wiegen des durchfließenden Porenwassers
- Maximal 13 bar Porenwasserdruck
- Temperier- und Frost-Tau-Wechsel (FTW) über Temperierkreis

Trends aus 15 gemessenen Systemproben

- Ungestörter k_{f10} Systemwert teils sehr niedrig
- Erste Temperaturabsenkung auf 10 °C: erhebliche irreversible Schädigung um mehrere Größenordnungen
- k_{f10} Systemwerte sind stark temperaturabhängig
- FTW haben einen untergeordneten Einfluss auf die gewählten Verfüllmaterialien

→ Die robuste und zuverlässige Abdichtung von EWS bedarf weiterer Forschung

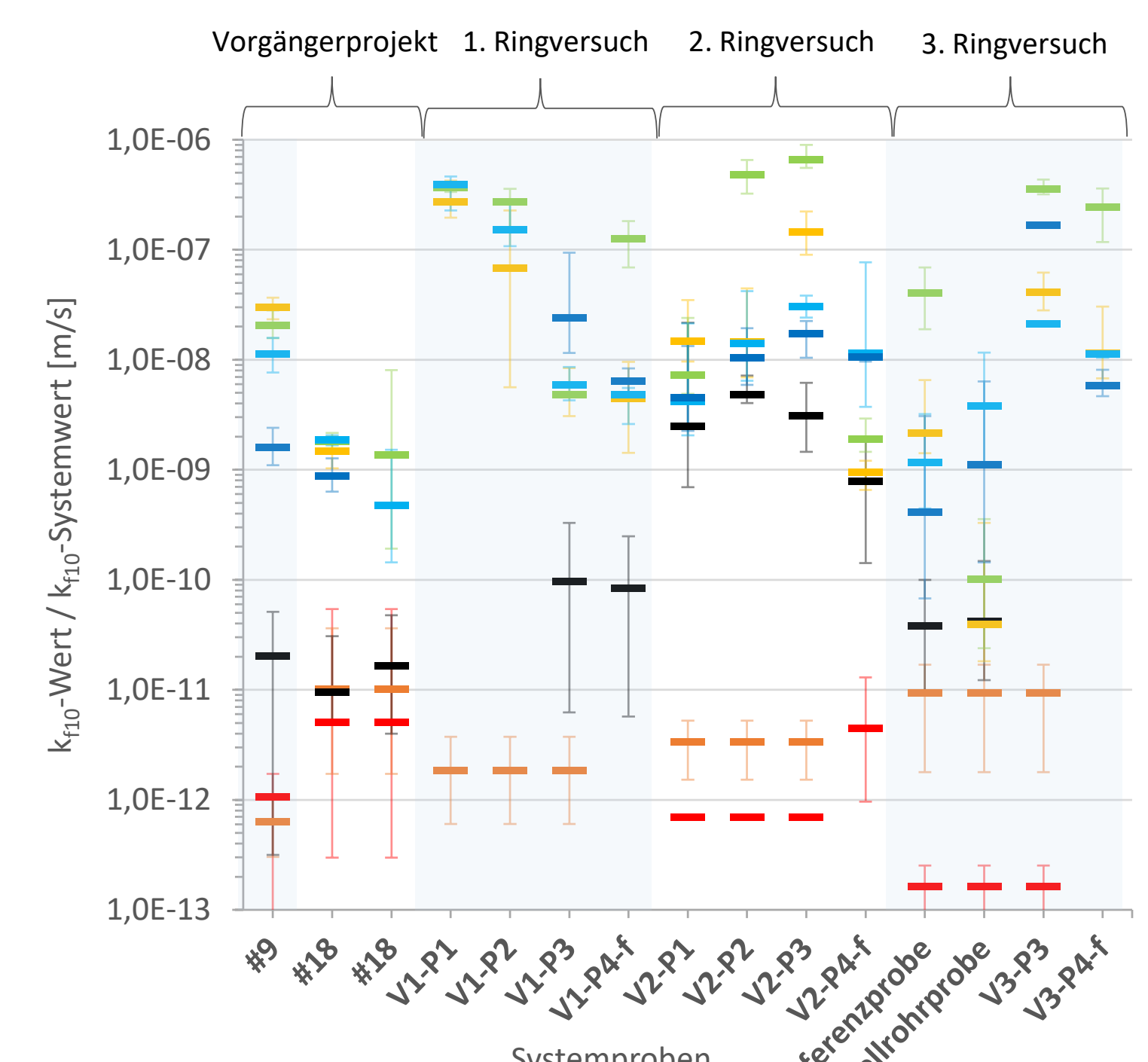


Abbildung 10: Gemessene k_{f10} Werte aller Proben bei variierenden T-Niveaus

TP 3.3: Realitätsnahe Kombination von Untersuchungsaspekten von Filtrationseffekten

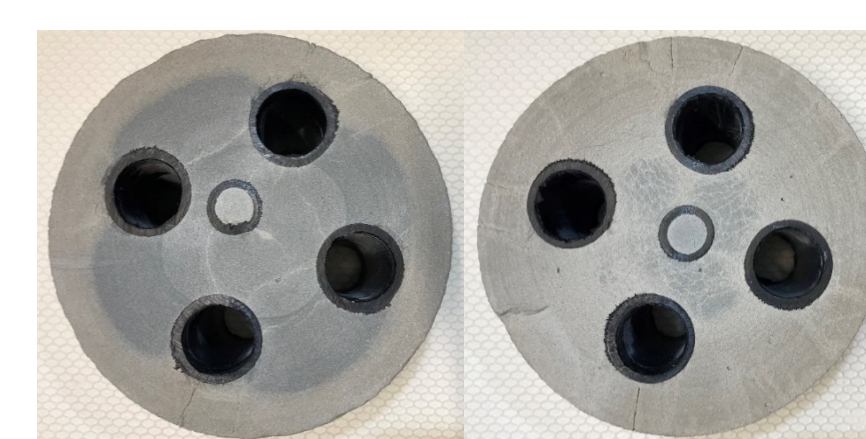


Abbildung 11: Die filtrierte Systemprobe (Querschnitt links) hat eine deutlich höhere Dichte (2,20 kg/l) als die unfiltrierte Referenzsystemprobe rechts (1,76 kg/l).

Es wurde ein möglicher Einfluss der Filtration auf die hydraulische Durchlässigkeit untersucht. Dazu wurden drei filtrierte Systemproben hergestellt und unter thermischer Belastung, insbesondere FTW, getestet. Die filtrierten Proben zeigten ein sehr ähnliches Verhalten in Bezug auf die Systemdurchlässigkeit wie die unfiltrierte Proben. Zudem wurde keine erhöhte Anfälligkeit für Frostschäden festgestellt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

FKZ: O3EE4020A-H

QEWSpplus



QEWs II

