

Bayerisches Zentrum für  
Angewandte Energieforschung e.V.

# Prüfstand zur Untersuchung der Abdichtung von Erdwärmesonden- Bohrungen unter realitätsnahen Bedingungen



**Dipl.-Phys. Manfred Reuß**

ZAE Bayern, Walther-Meißner-Str.6, 85748 Garching  
reuss@muc.zae-bayern.de; www.zae-bayern.de

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

# ÜBERSICHT



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

- Systemdichtheit von Erdwärmesonden
- Vorversuche an Materialproben
- Aufbau des Versuchsstandes
- Probenherstellung und Einbau
- Versuchsdurchführung mit Gefrierzyklen
- Messergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick



# ZIELSETZUNG - GRUNDWASSERSCHUTZ

- Zuverlässige vertikale hydraulische Abdichtung von EWS-Systemen
- Die Abdichtung der Erdwärmesonde muss von gleicher Qualität sein, wie die der umgebenden Sperrschichten
- Langfristig keine Veränderung der Abdichtung unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen

# ANFORDERUNGEN AN BAUSTOFFE



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

Die Verfüllung hat dabei mehrere Funktionen:

- **Abdichtung** zur Oberfläche
- **Abdichtung** von Grundwasserleitern untereinander, wenn mehrere Grundwasserstockwerke durchteuft werden
- **Abdichtung** gegen Auslaufen von Wärmeträgermedien bei einer Sondenleckage
- **Thermische Ankopplung** der Sondenrohre an das Gebirge

## **Einflussgrößen:**

- Materialeigenschaften des Verfüllbaustoffs
- Verfahrenstechnik des Anmischens und Einbaus
- Einbauten im Bohrloch – Sondenrohre, Verfüllrohr, Abstandshalter
- Aushärtung der Verfüllung
- Betriebsbedingungen – thermische Belastung

# HISTORIE

- In Deutschland geht die Entwicklung von Verfüllmaterialien zurück in die späten 80er Jahre (BLL, Weihenstephan)
- erster Optimierungsansatz:
  - thermisch verbesserte Materialien (BLL, Weihenstephan)
  - erste einfache Untersuchungen zum Verhalten beim Einfrieren
- VDI 4640 gibt erste Hinweise zu von Verfüllbaustoffen
- Untersuchungen zum Frost/Tauwechselverhalten an der FH Lippe, Höxter (2004) und der Uni Karlsruhe (2006)
- Eignungsuntersuchungen von Verpressmaterialien für Erdwärmesonden – ARCs Seibersdorf (2008)



## Bewertungskriterium:

### Systemdichtheit

System bestehend aus Doppel-U-Sonde mit Verfüllrohr und Abstandhalter eingebettet in Verfüllbaustoff

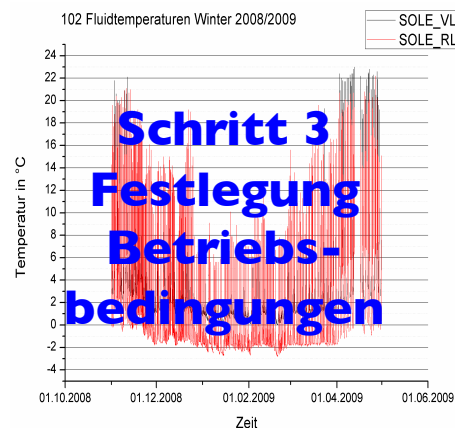
- relevant ist vor allem die Betrachtung in vertikaler Richtung
- „Stabil“ über die Lebensdauer einer EWS unter realen Betriebsbedingungen
- mechanische Stabilität (z.B. Druckfestigkeit) des Baustoffs selbst ist i.d. Regel nicht zwingend notwendig



# VORGEHENSWEISE



1. Referenzmessungen der hydraulischen Durchlässigkeit nach DIN 18130-1
2. Konzeption, Planung und Bau eines Versuchsstands
3. Analyse von Messdaten aus dem Feldmessprogramm des ISE
4. Herstellen von Modellsonden (Suspension mischen, einbauen, aushärten,...)
5. Einbau, Aufsättigung und Vermessen der Modellsonde

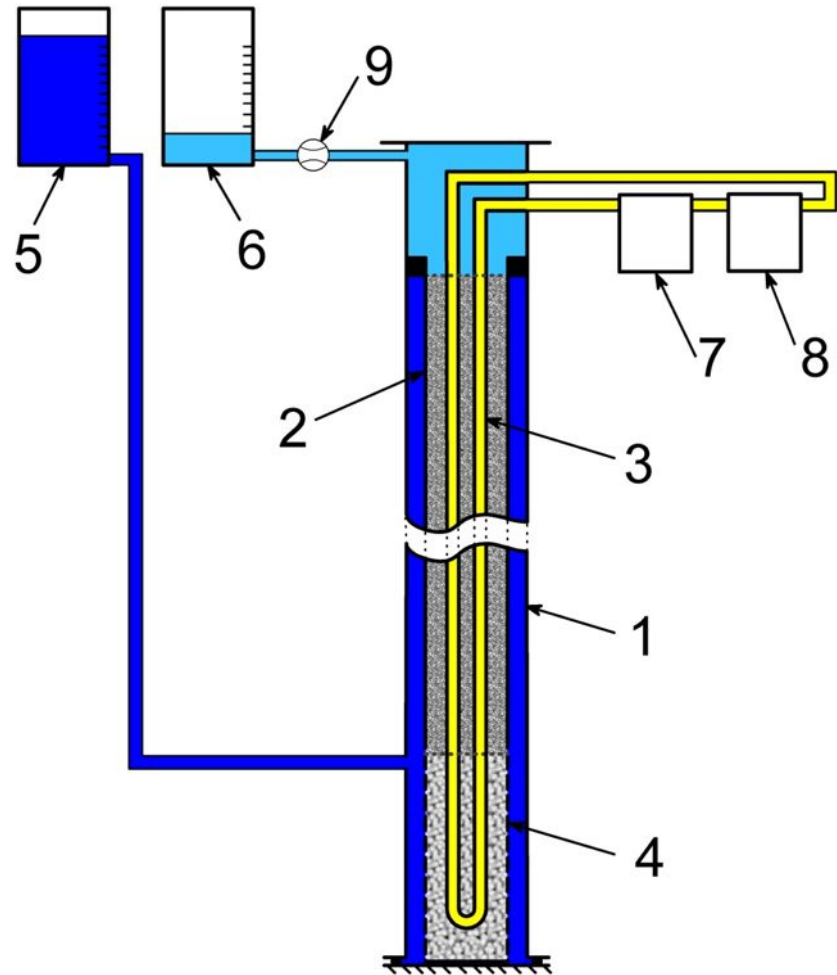


# AUFBAU DES VERSUCHSSTANDS



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



1. Druckbehälter
2. Verfüllmaterial
3. Sondenrohre
4. Probenfuß
5. Wasserzulauf
6. Wasserablauf
7. Heizung
8. Kühlung
9. Durchflussmessgerät

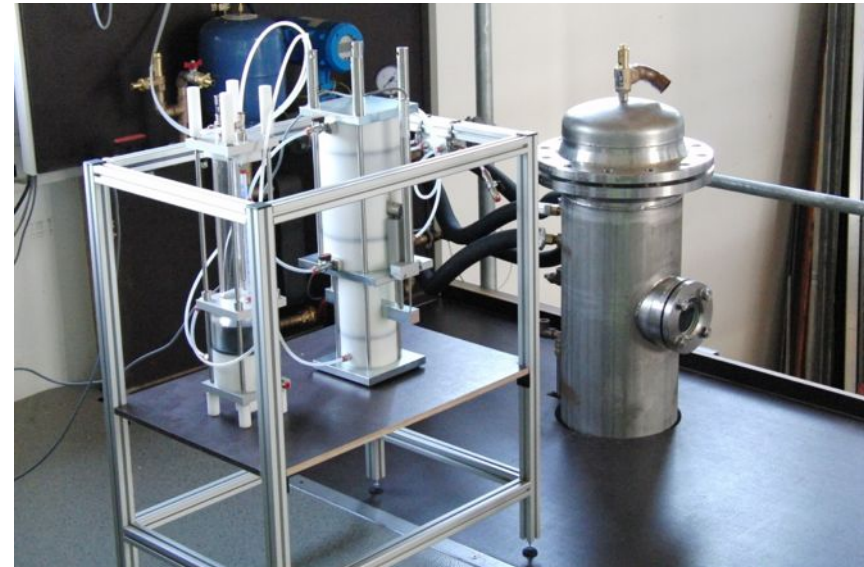
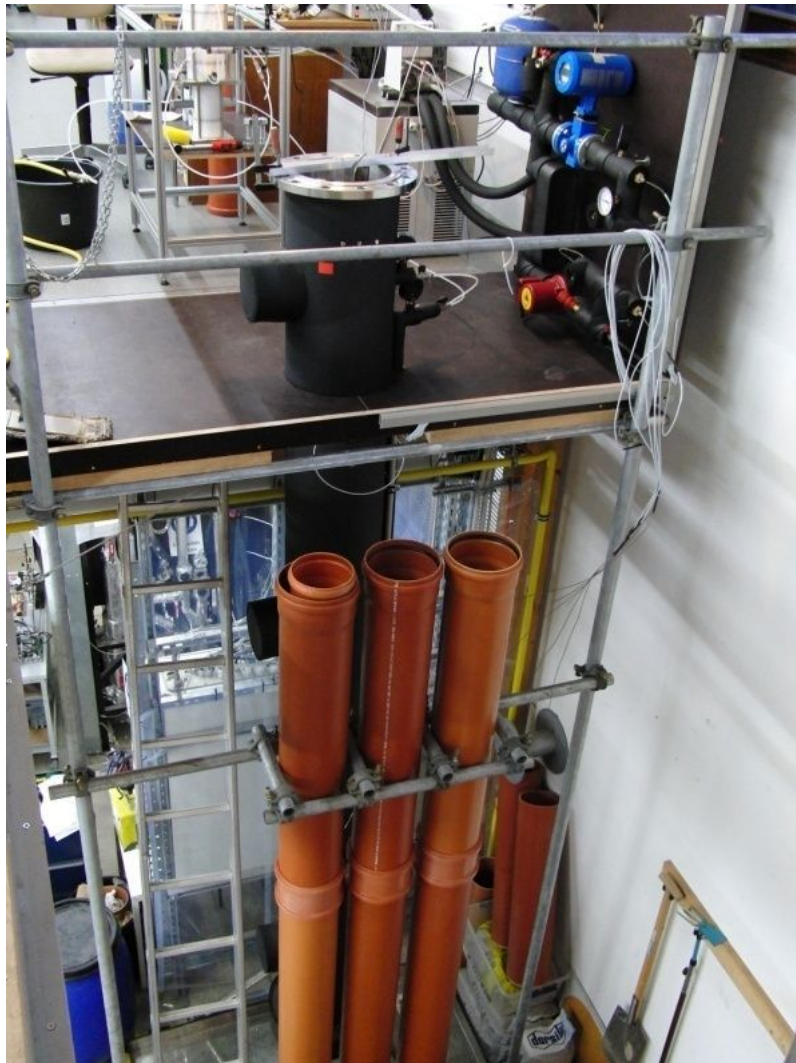


# AUFBAU DES GROßVERSUCHSSTANDS



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# PROBENHERSTELLUNG UND EINBAU



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



15.10.2014

7. Norddeutsche Geothermietagung

10

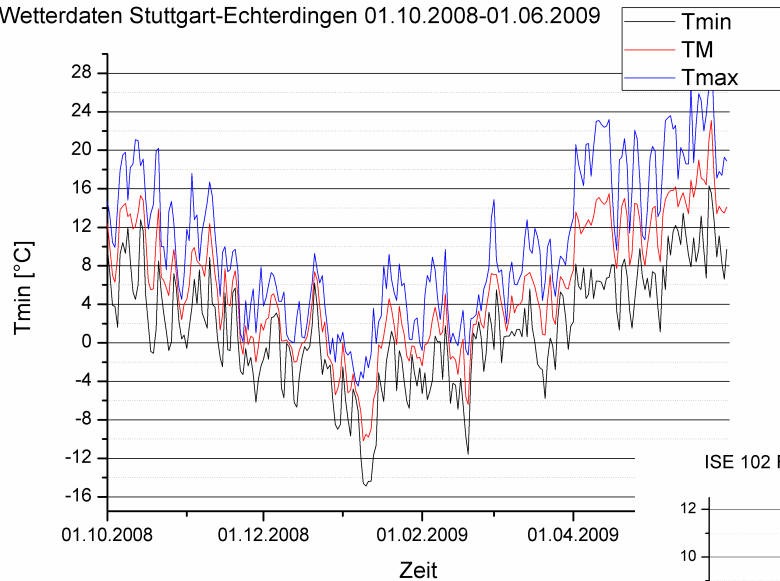


# BETRIEBSDATEN

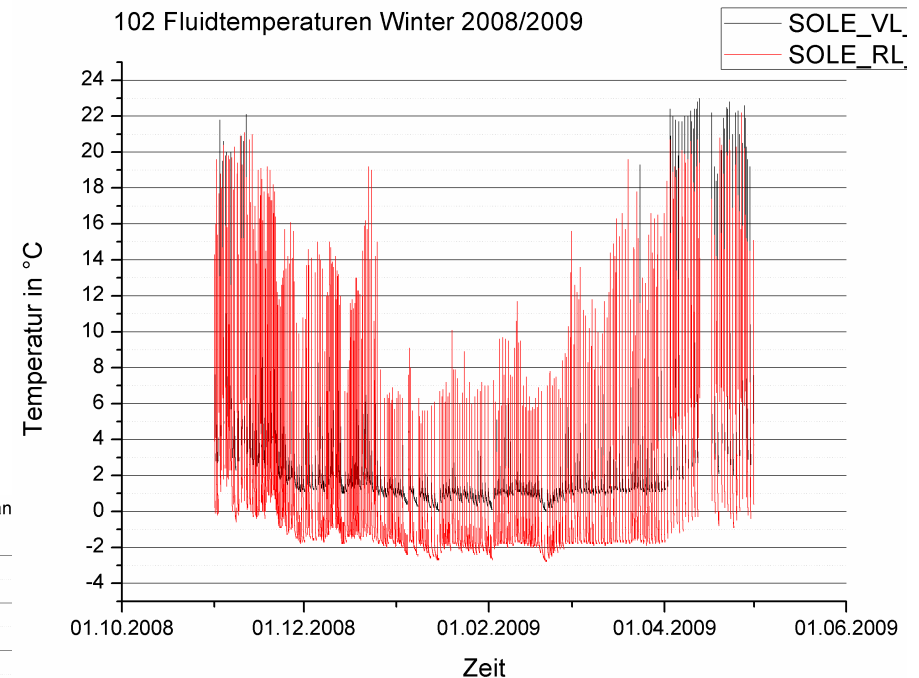
Feldmessprogramm erdgekoppelter Wärmepumpen (ISE Freiburg)

- Analyse von Soletemperaturen von vermessenen Anlagen
- knapp ausgelegte Anlage
- typisch 1 Gefrier/Tauzyklus pro Jahr

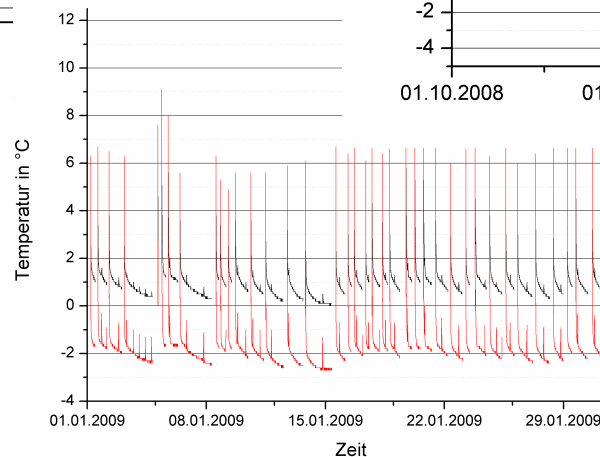
Wetterdaten Stuttgart-Echterdingen 01.10.2008-01.06.2009



102 Fluidtemperaturen Winter 2008/2009



ISE 102 Fluidtemperaturen Jan

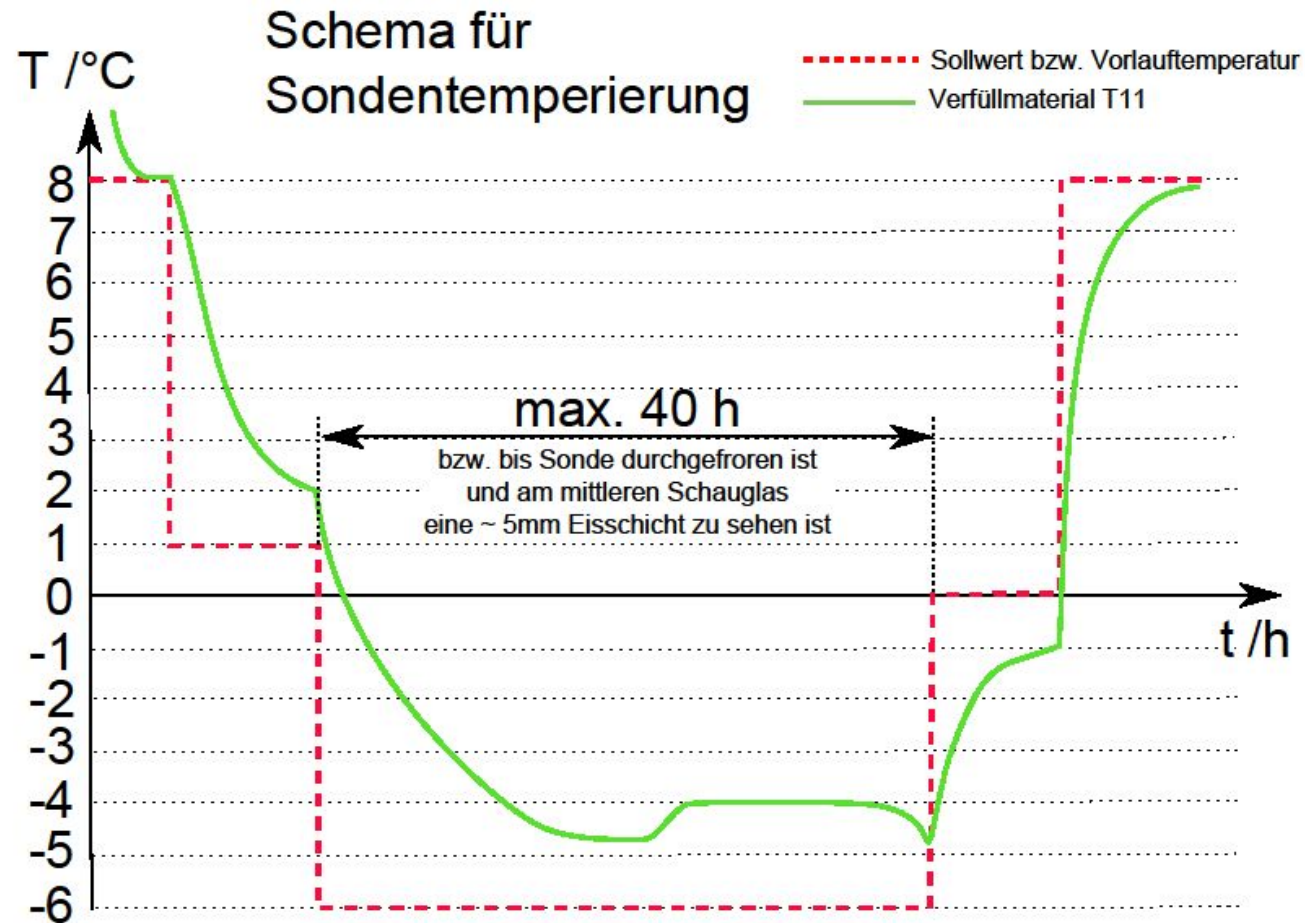


# ALTERUNG UND MESSUNG



ZAE BAYERN

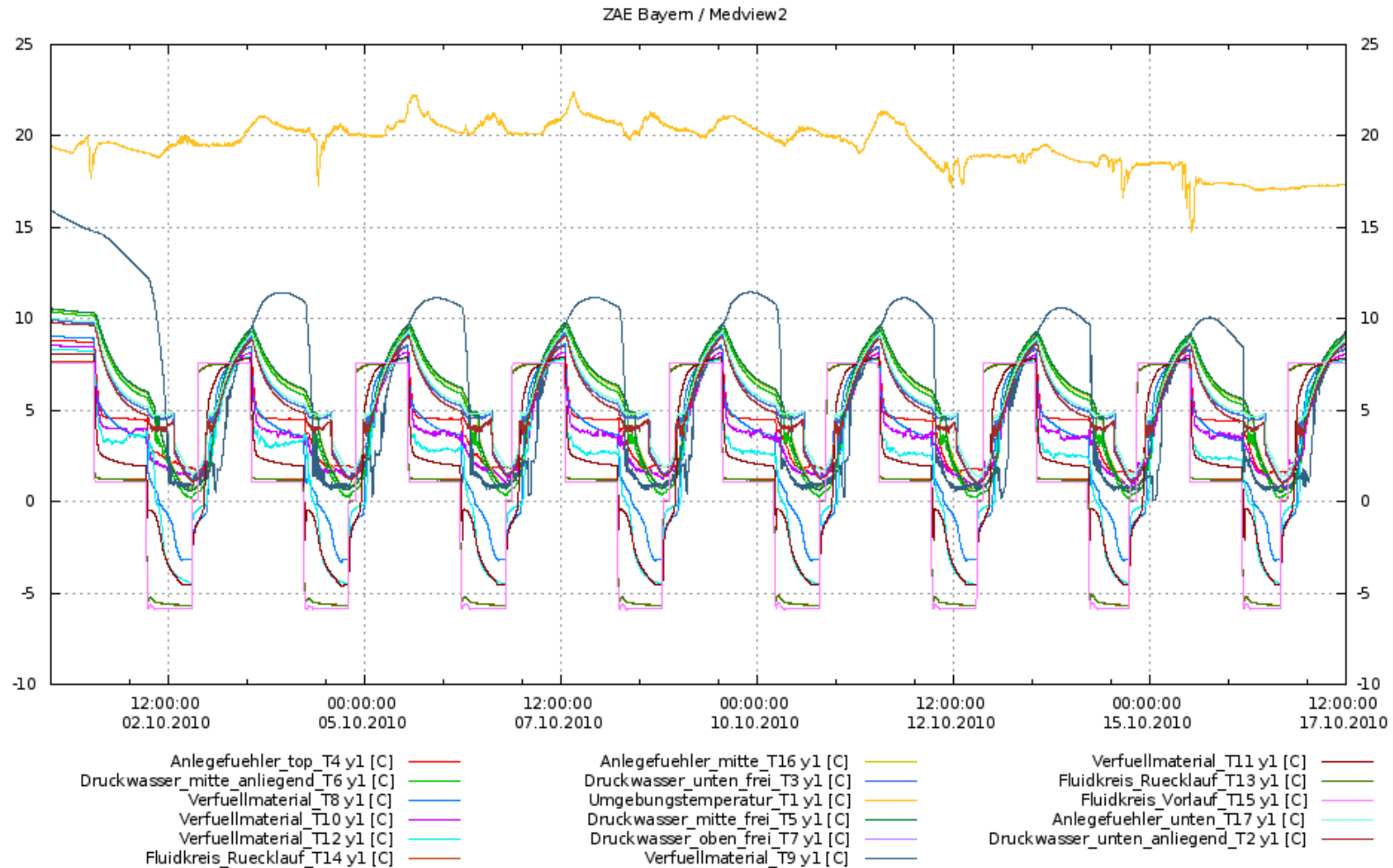
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# ALTERUNG UND MESSUNG

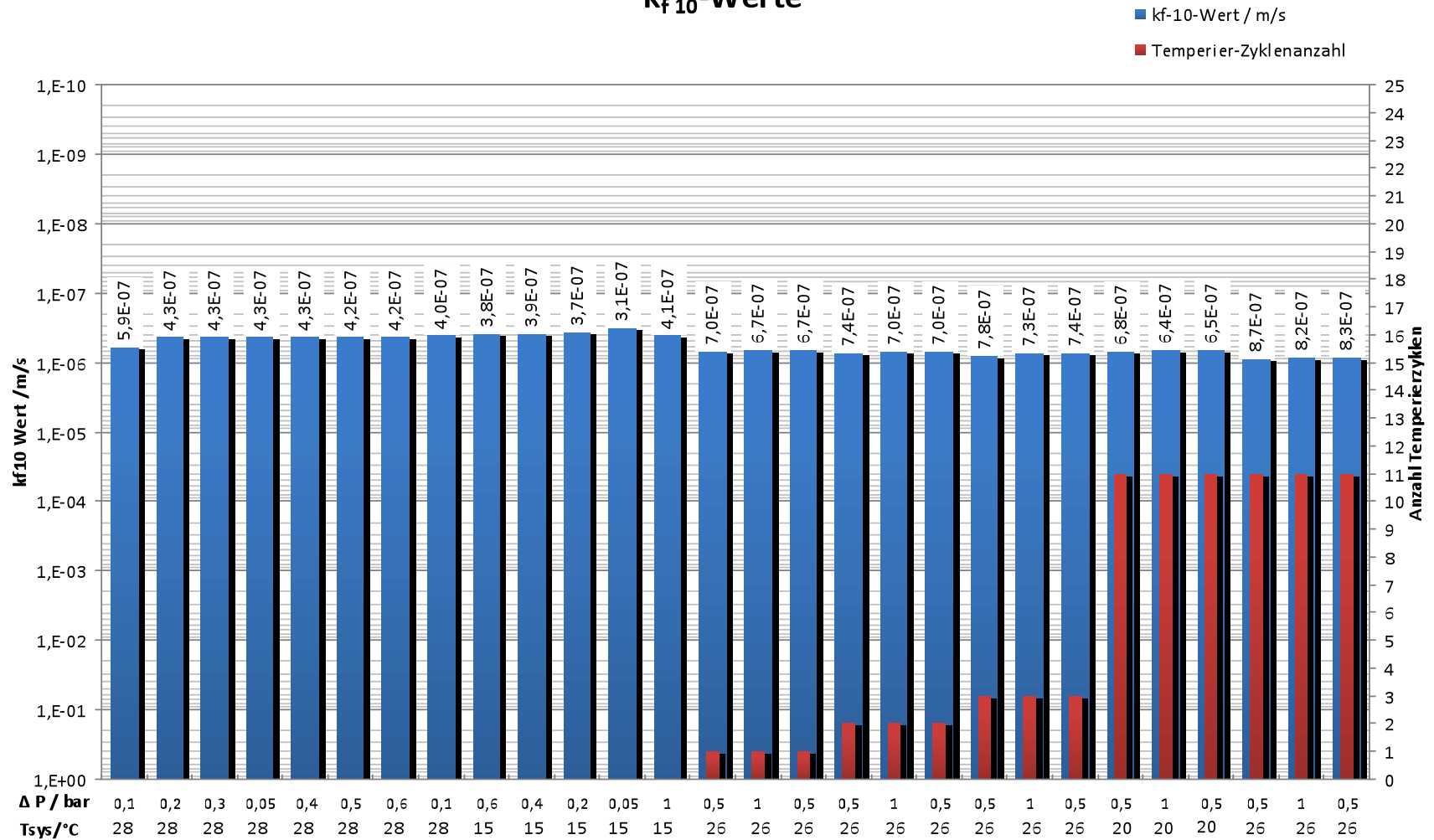


**ZAE BAYERN**  
 Bayerisches Zentrum  
 für Angewandte  
 Energieforschung



# MESSERGEBNISSE

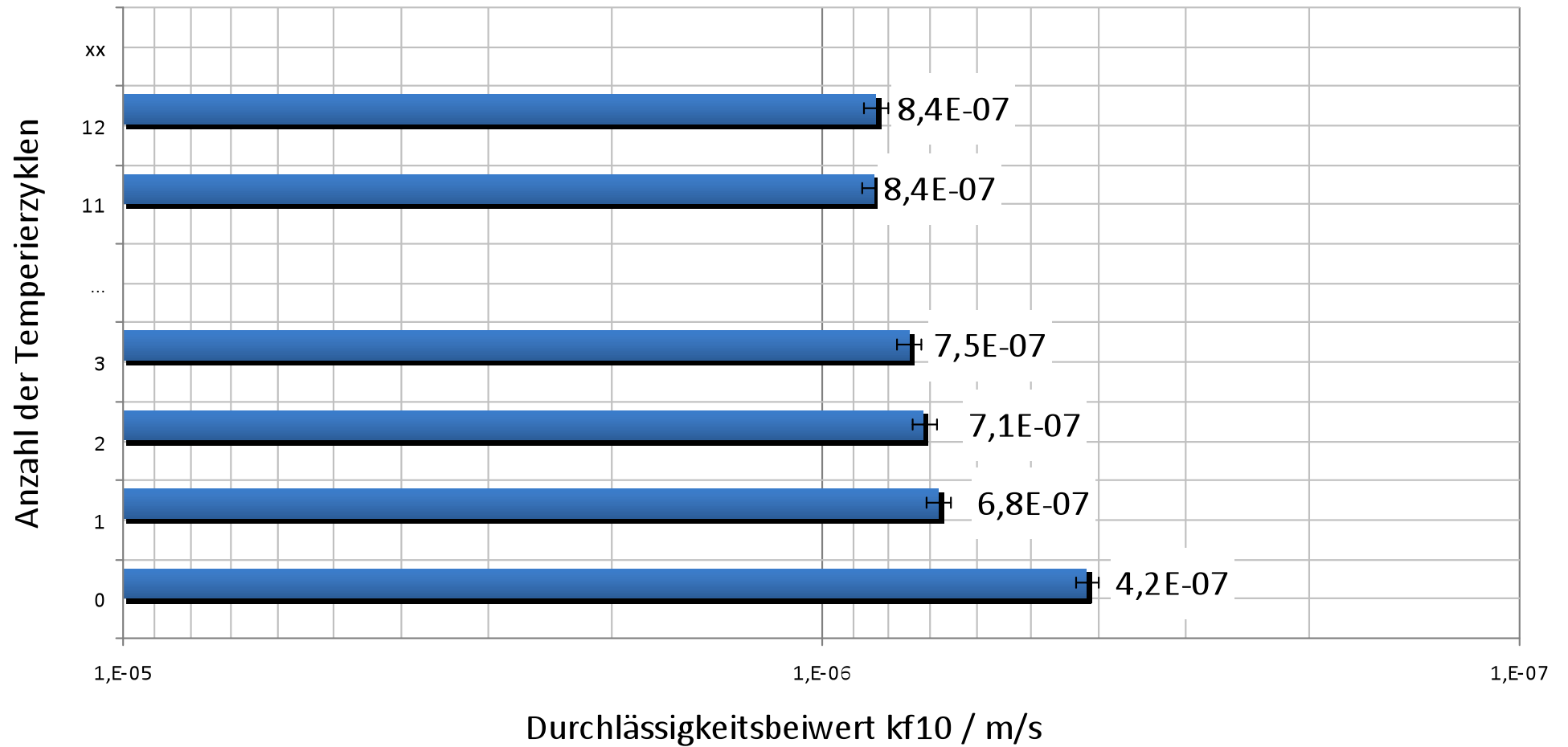
## k<sub>f10</sub>-Werte





# ALTERUNG UND MESSUNG

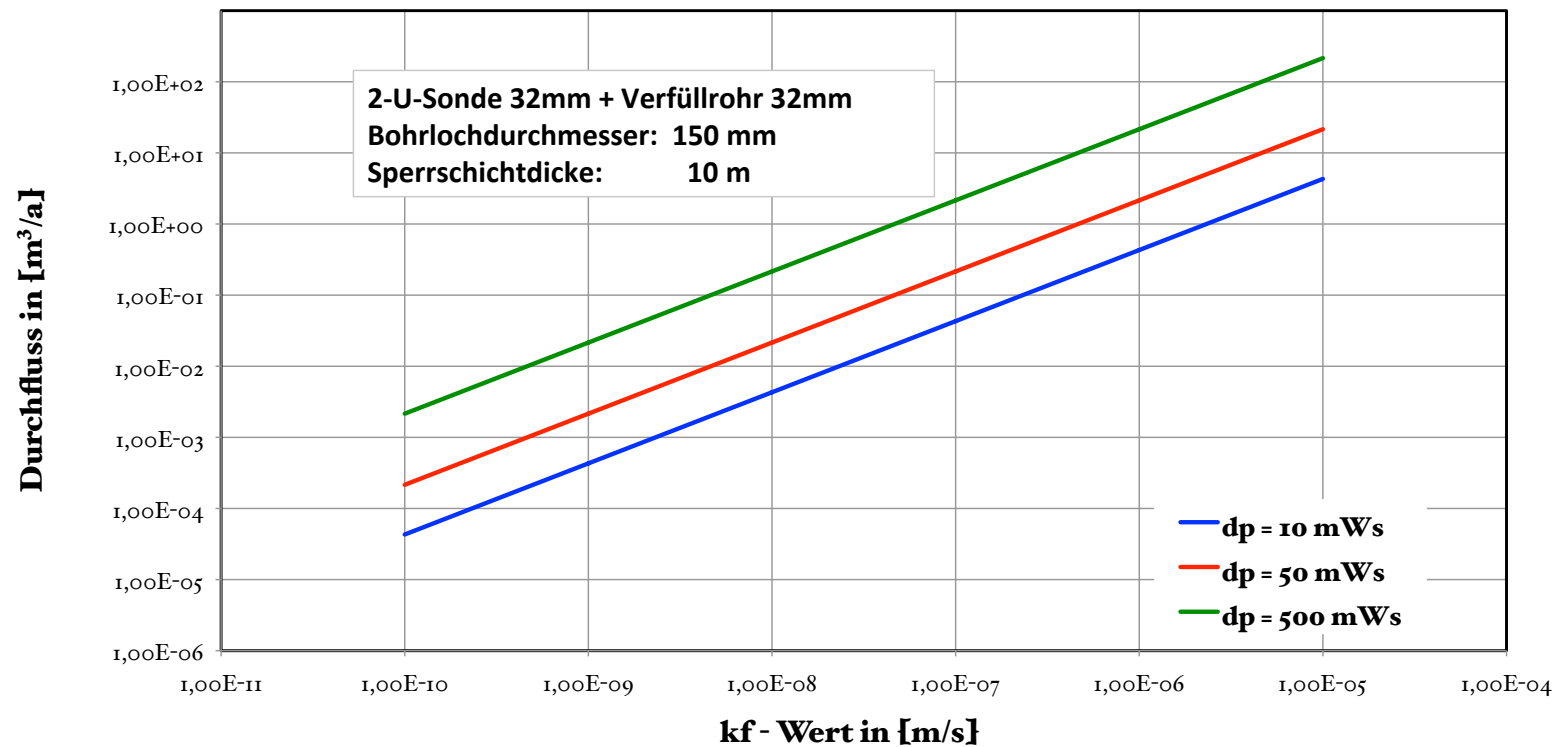
Vergleich der  $k_{f10}$ -Werte



# MODELLRECHNUNG

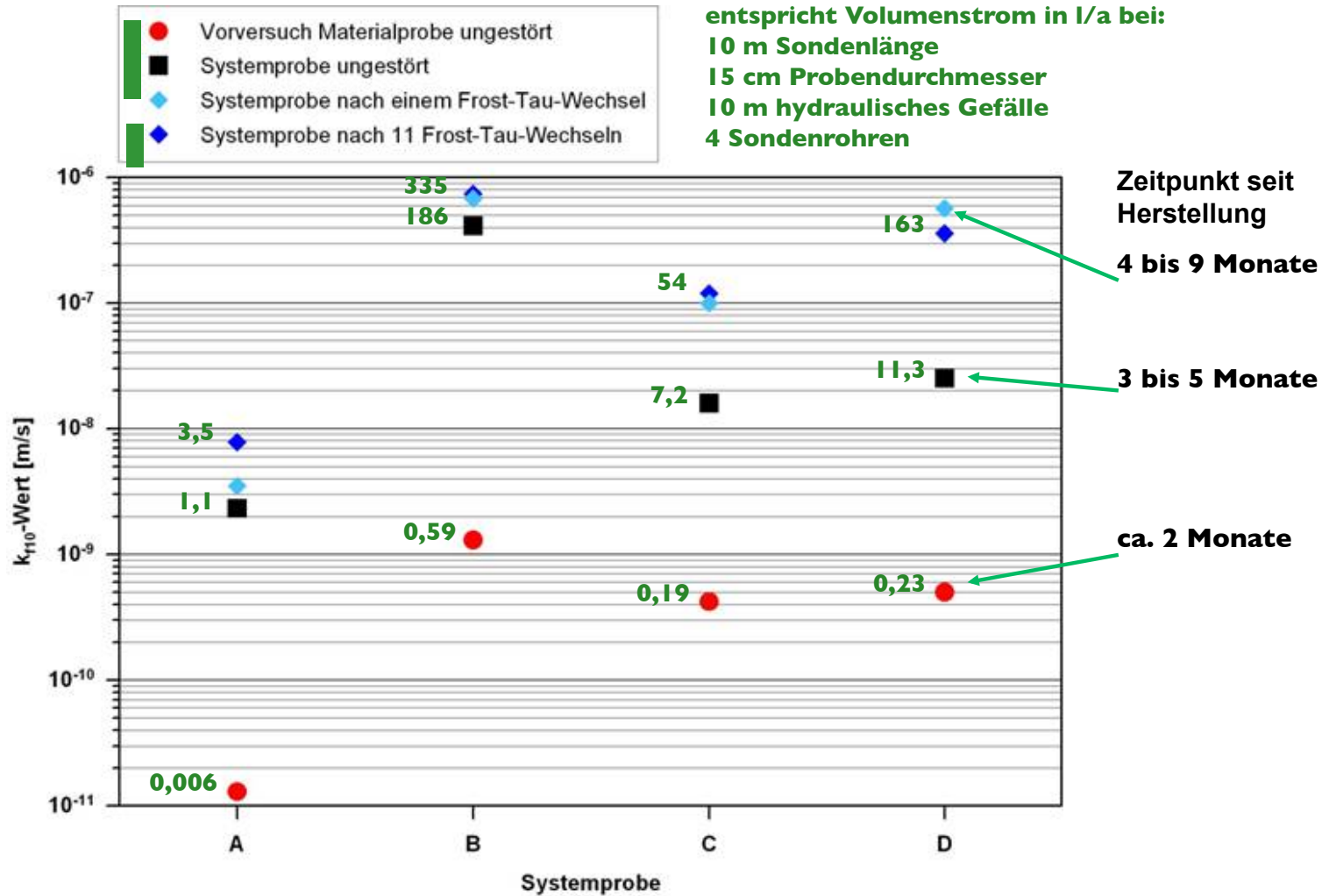
Durchfluss in Abhängigkeit des kf-Wertes bei unterschiedlichen Druckdifferenzen

- 2-U-Sonde 32mm + Verfüllrohr 32mm
- Bohrllochdurchmesser: 150 mm
- Sperrschichtdicke: 10 m
- Druckdifferenz: 10, 50, 500 mWs



# MESSERGEBNISSE

## Vergleich der Systemdichtheit mit den Referenzproben



# PROBEN NACH DER MESSUNG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

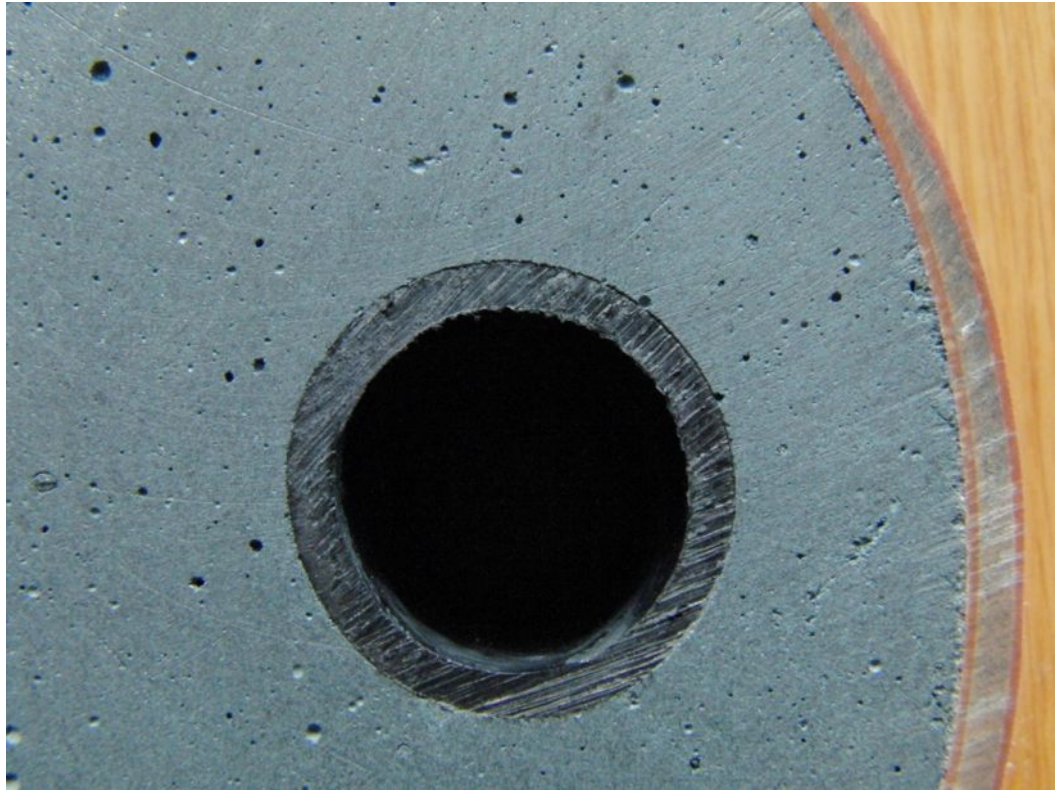




# PROBEN NACH DER MESSUNG



## Proben nach dem Ausbau



# ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

## **Versuchsmöglichkeiten:**

- Variation Probenherstellung
- Variation Umgebungsdruck und Umgebungstemperatur
- Drucktest-Optimierung
- Aushärtungsdauer und EWS-Inbetriebnahme
- Einsatz von Tracern

## **Alterung:**

- hohe Temperaturgradienten
- Variation Frost-/Tauzyklen
- Variation Systemdrücke (z. B. Sondenrohre, Gradienten)

## **Messgenauigkeit:**

- ab einem Mindestvolumen von 50 ml: systematischer Fehler = 3%



## **Systemdurchlässigkeit ist relevant für eine Bewertung aus der Sicht des Grundwasserschutzes**

### **Erkenntnisse:**

- deutliche Erhöhung der Systemdurchlässigkeit gegenüber Referenzproben
- weitere Schädigung bei Einfrieren bis  $-6\text{ °C}$
- der erste Frost-Tauzyklus hatte den größten Einfluss auf diese Schädigung, Mehrfachschädigungen summieren sich nicht unbedingt (auch in Kombination mit anderen Schädigungen)
- Relevanz der Aushärtungs- und Versuchsdauer: Die Proben zeigen teilweise nach 6 Monaten noch immer Veränderungen der Durchlässigkeit bzw. eine teilweise Regeneration

### **Ausblick:**

- Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens zur standardisierten Bestimmung und Optimierung der Systemdurchlässigkeit mit Herstellern
- Einbringung der Erkenntnisse in die VDI-Richtlinie 4640



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie



ZAE BAYERN

**Wir danken dem  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
für die Förderung dieses Projektes (FKZ 0327453A)**

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !**