

Elektrokinetische Effekte als Schlüssel zur hydrogeophysikalischen Erkundung

Andreas Kemna

Angewandte Geophysik, Universität Bonn

kemna@geo.uni-bonn.de

Überblick

- Hintergrund: hydrogeophysikalisches Struktur- und Prozessverständnis
- Elektrische Eigenschaften von Gesteinen
- Spektroskopische und tomographische Anwendungen
- Aktuelle Forschungsprojekte

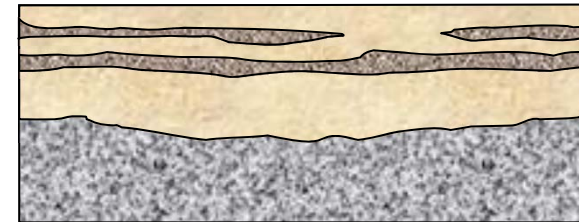
**Hintergrund: hydrogeophysikalisches
Struktur- und Prozessverständnis**

Hydrogeophysikalisches Struktur- und Prozessverständnis wichtig für ...

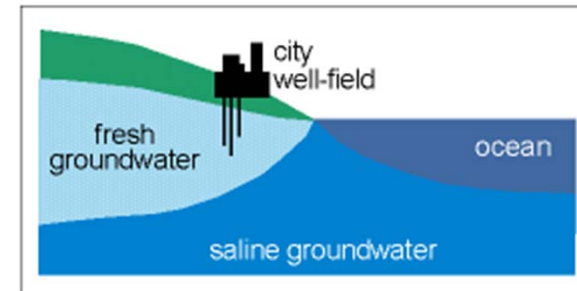
- ... Sicherung unserer Boden- und Wasserressourcen

- Zum Beispiel:

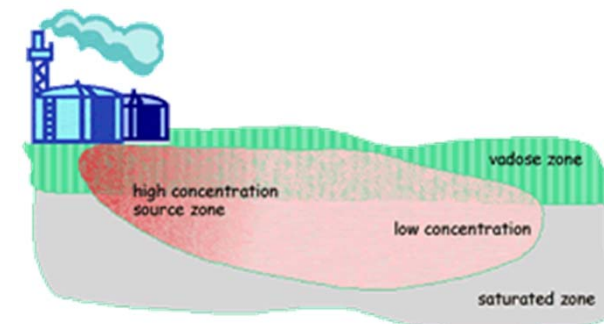
- **Aufbau von Grundwasserleitern**



- **Salz-/Süßwasserdynamik**



- **Ausbreitung von Schadstoffen**

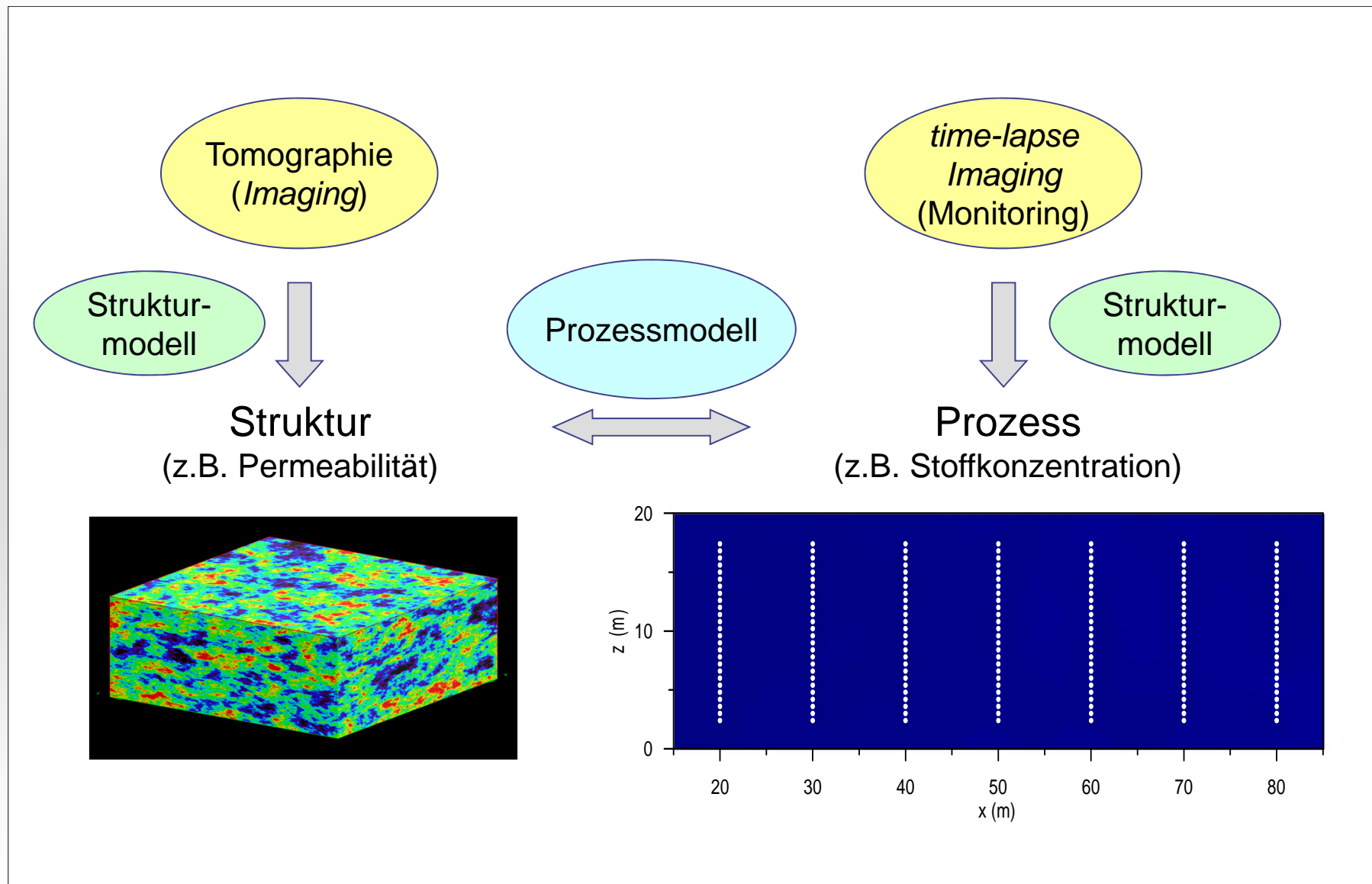


Hydrogeophysikalisches Struktur- und Prozessverständnis wichtig für ...

- ... Minderung von Naturgefahren
- Zum Beispiel:
 - **Wasserknappheit**
 - **Desertifikation**
 - **Felsstürze, Rutschungen**



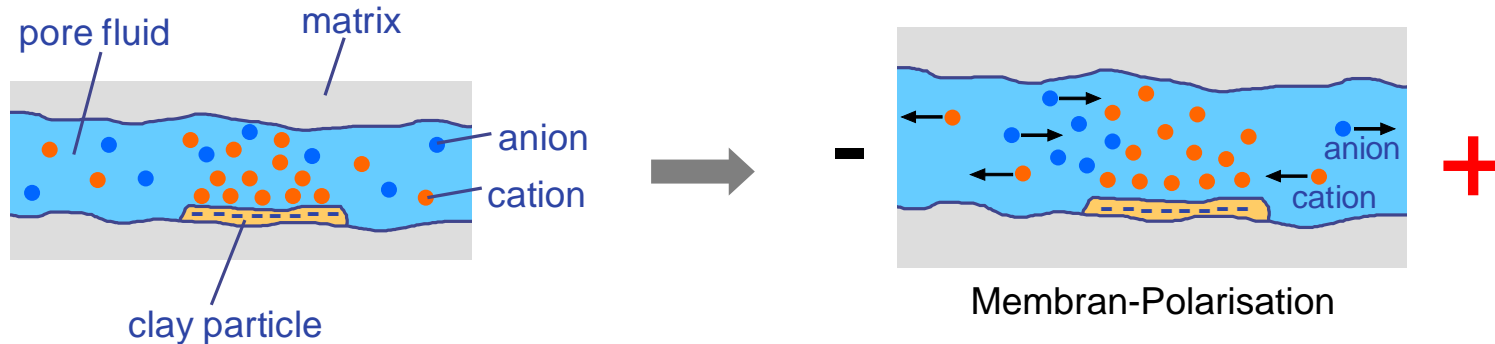
Hydrogeophysikalische Struktur- und Prozesserkundung



Elektrische Eigenschaften von Gesteinen

Elektrische Eigenschaften von Gesteinen

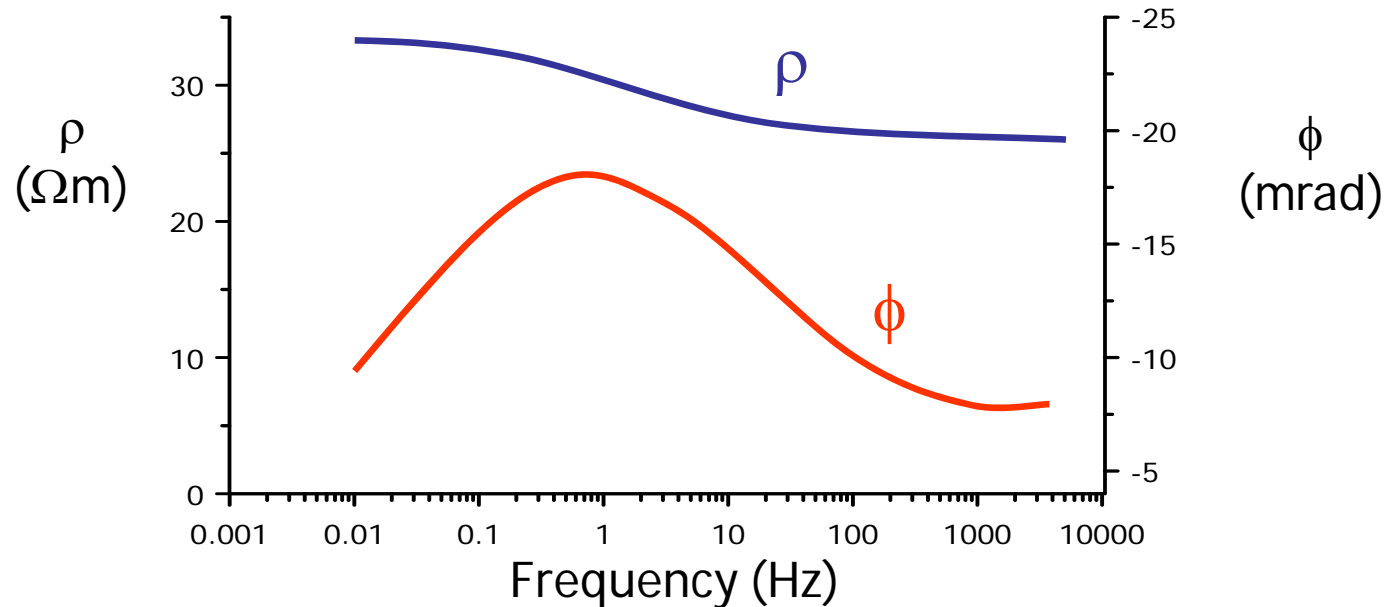
- Elektrische **Leitung** und **Polarisation** unter Einfluss eines elektr. Feldes



- Elektrolytische Leitfähigkeit σ_{el}
- Grenzflächenleitfähigkeit σ_{surf}^*
 - Bildung von elektrischen Doppelschichten im Elektrolyt an elektrisch geladenen Mineraloberflächen
 - Elektrische Leitung über Kationenaustausch
 - Elektrische Polarisation aufgrund unterschiedlicher Ionenbeweglichkeit

Frequenzabhängige komplexe elektrische Leitfähigkeit

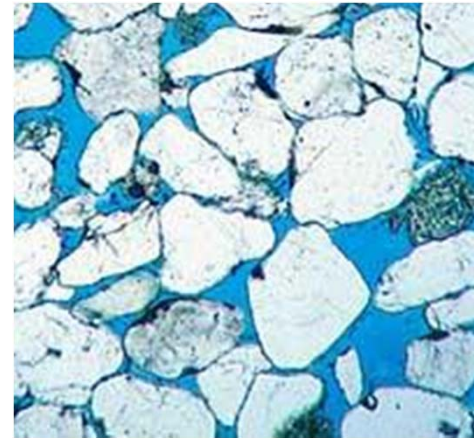
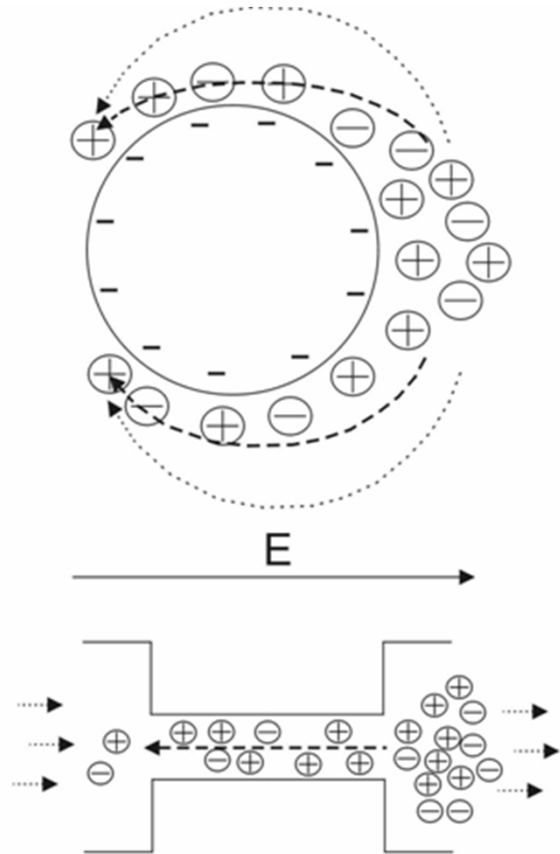
- Typisches Widerstandsspektrum (Amplitude und Phase)



Peak-Frequenz verknüpft mit
charakteristischer Relaxationszeit τ : $\omega_{\text{peak}} \sim \tau^{-1}$

Elektrokinetisch basierte Modelle

- Korn-basierte und Porenraum-basierte Modelle



für diffusive Prozesse: $\tau \sim r^2$

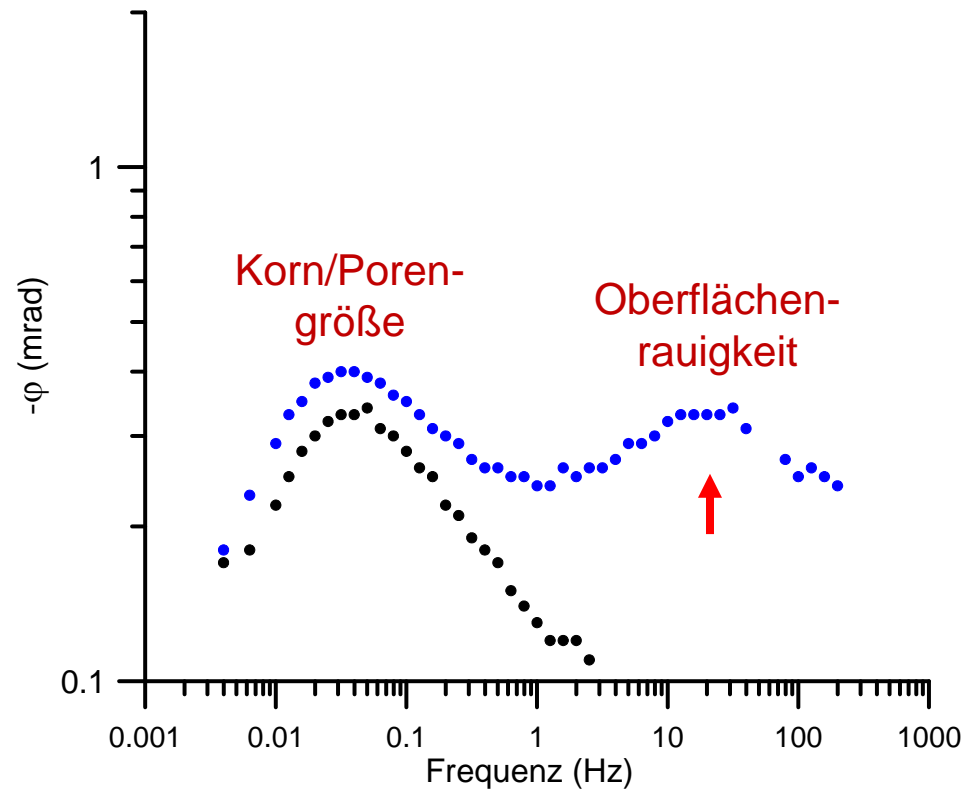
→ charakteristische Länge r
(Kornradius, Porenhalsradius)

(Titov, Kemna, Tarasov, Vereecken, 2004, Vadose Zone J.)

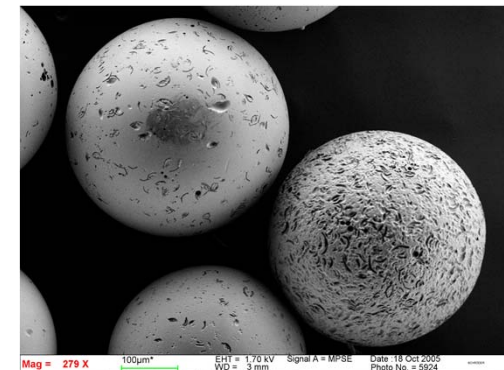
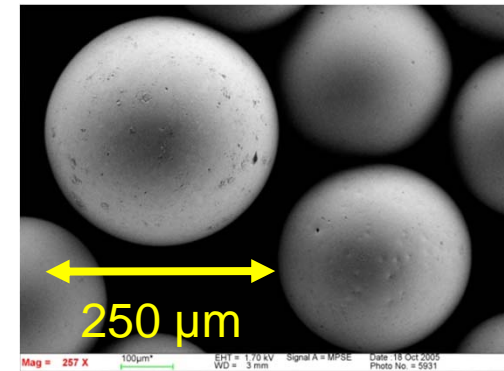
Spektroskopische und tomographische Anwendungen

Anwendung: Texturelle Charakterisierung

- Beispiel: Phasenspektren von Glasperlen unterschiedlicher Rauigkeit



glatte Oberfläche

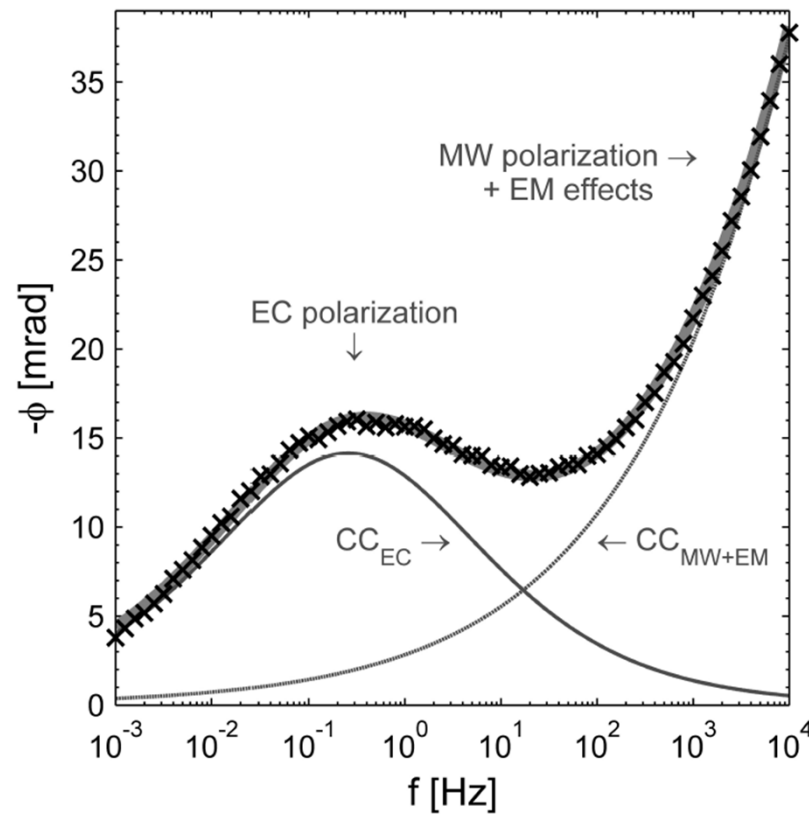


raue Oberfläche

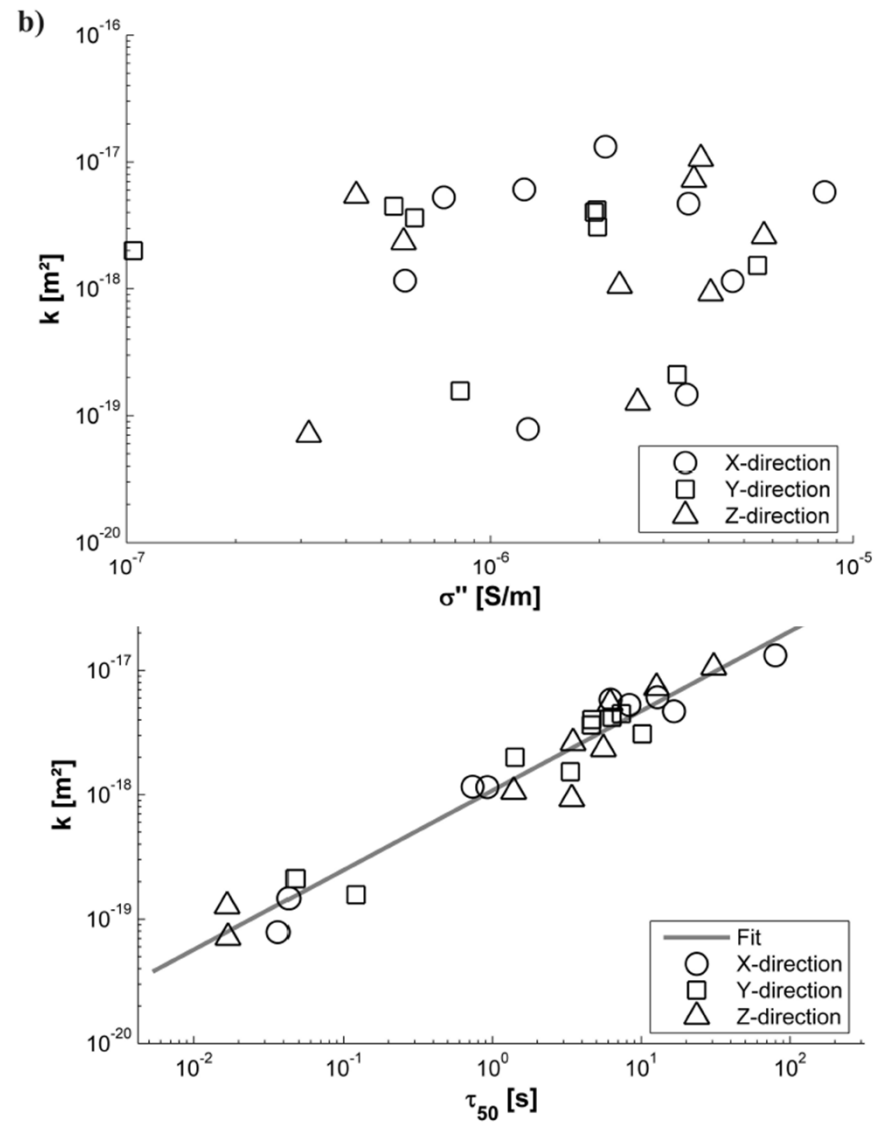
(Leroy, Revil, Kemna, Cosenza, Ghorbani, 2008, J. Colloid Int. Sci.)

Anwendung: Abschätzung der Permeabilität

■ Messungen an Sandsteinen

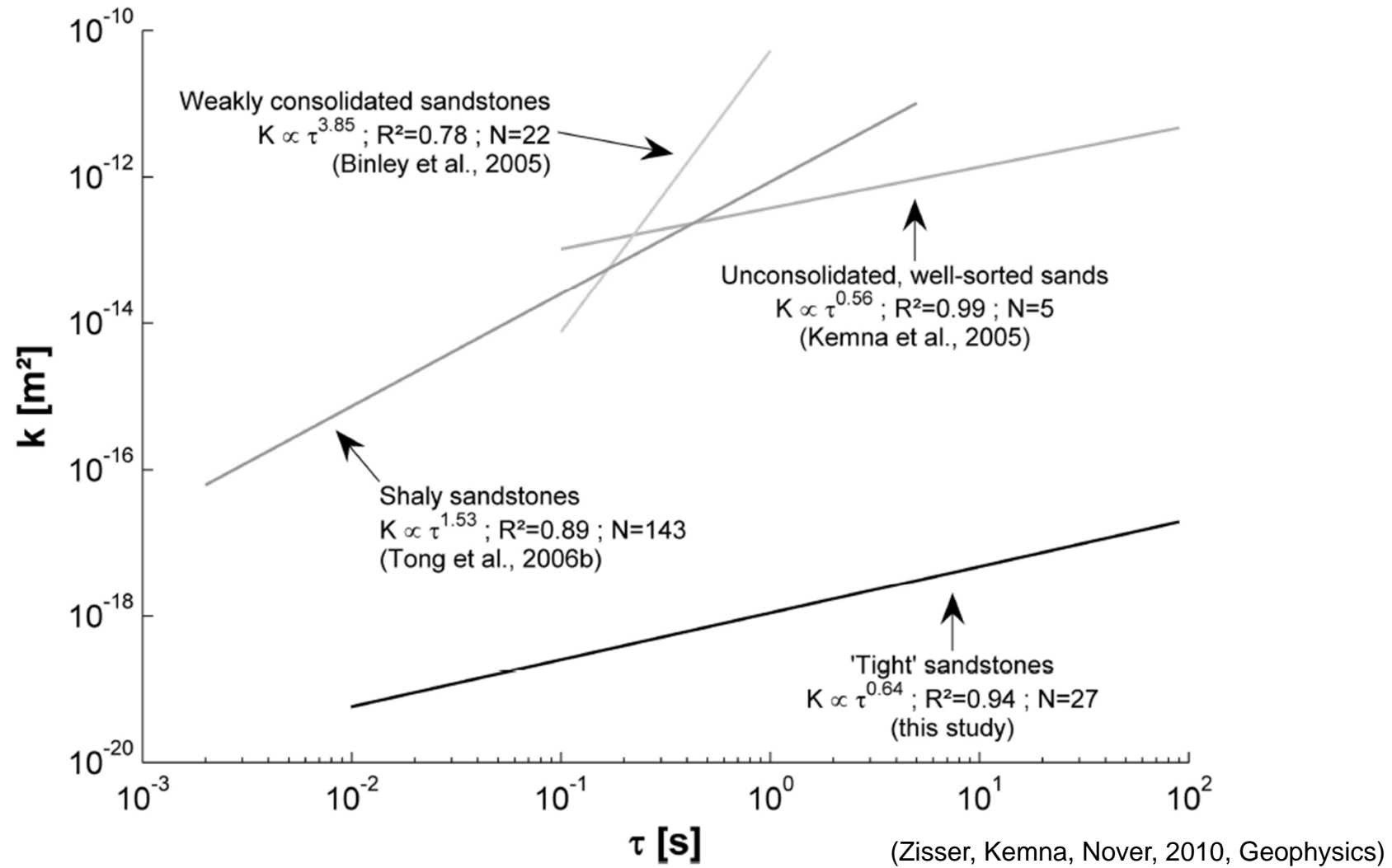


(Zisser, Kemna, Nover, 2010, Geophysics)



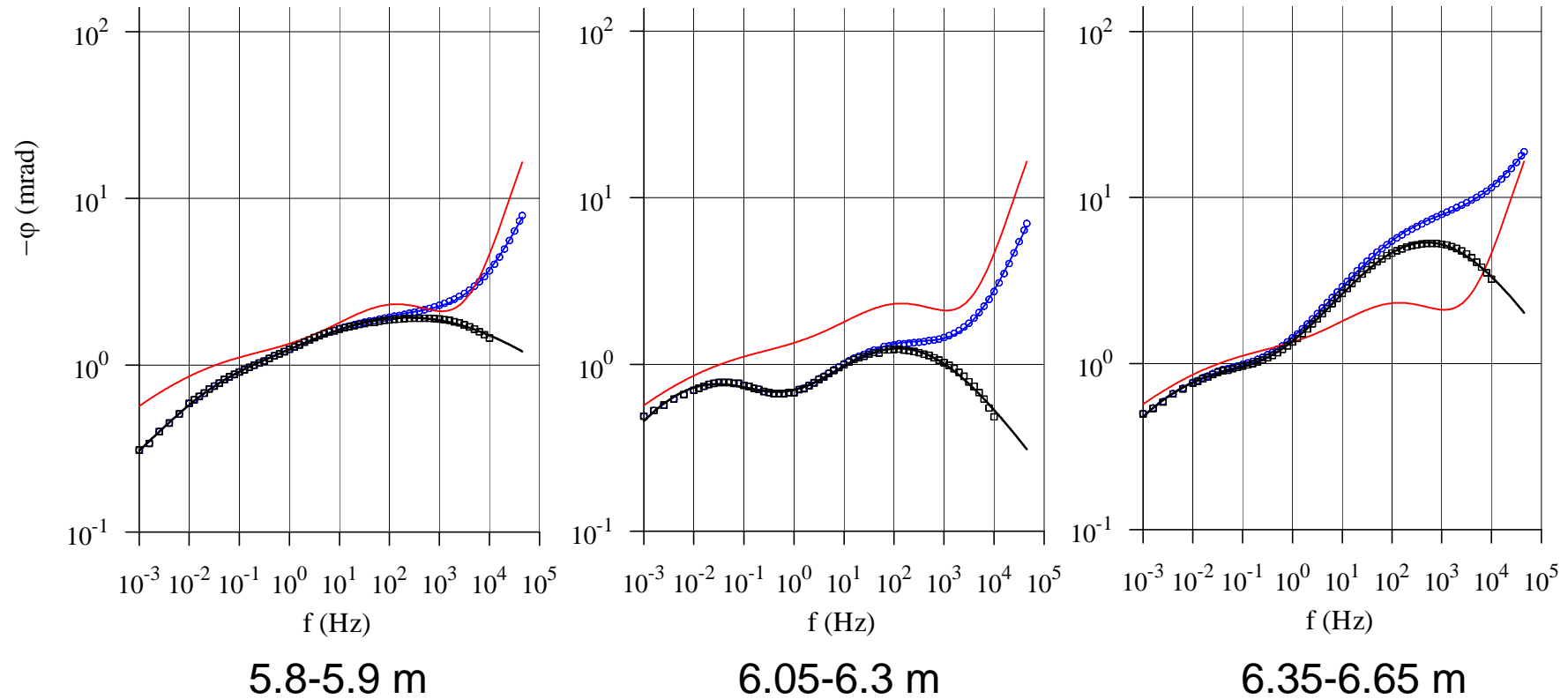
Anwendung: Abschätzung der Permeabilität

Measurements on sands/sandstones



Messungen an Proben des Aquifers „Krauthausen“

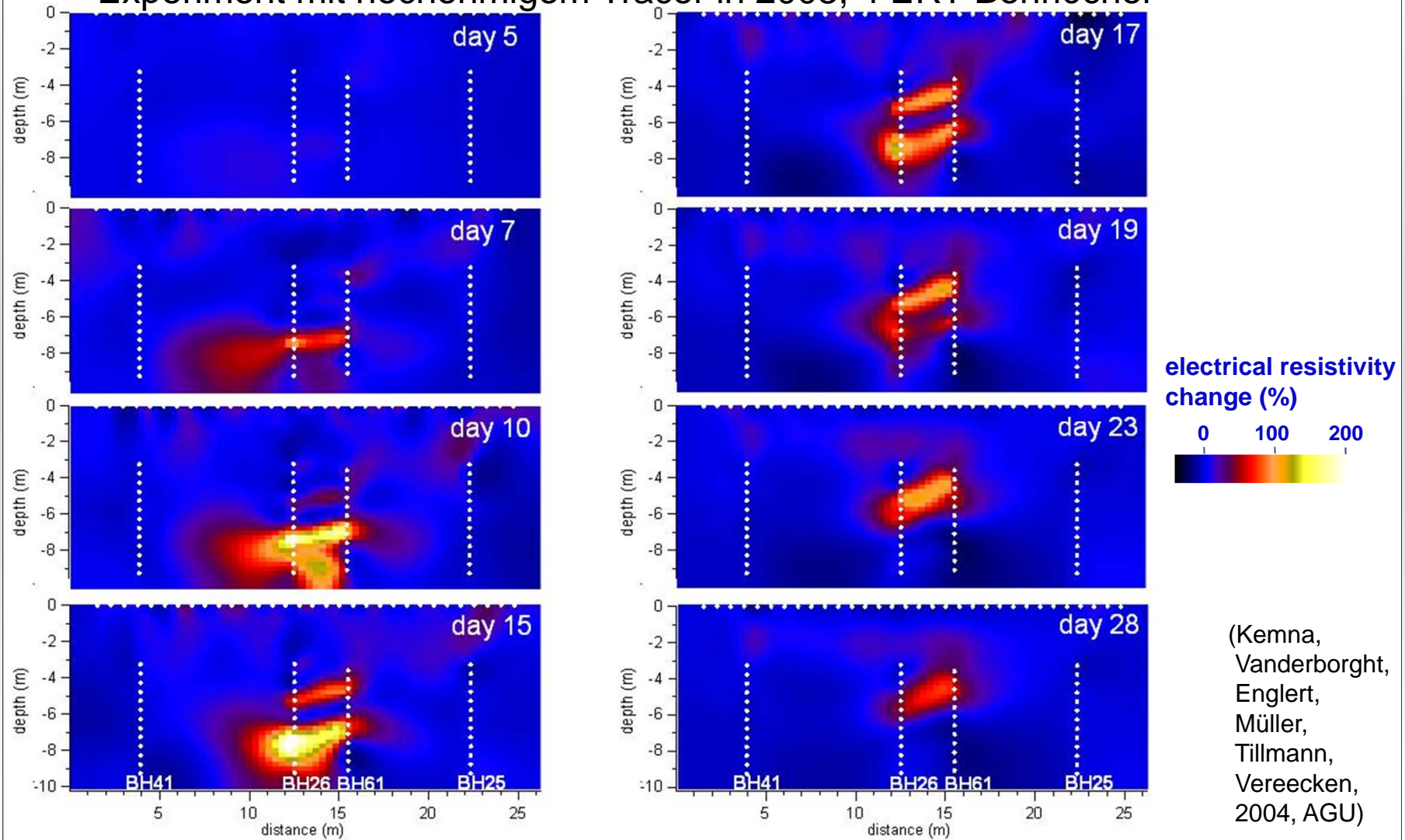
- Die meisten Spektren zeigen bimodales Verhalten



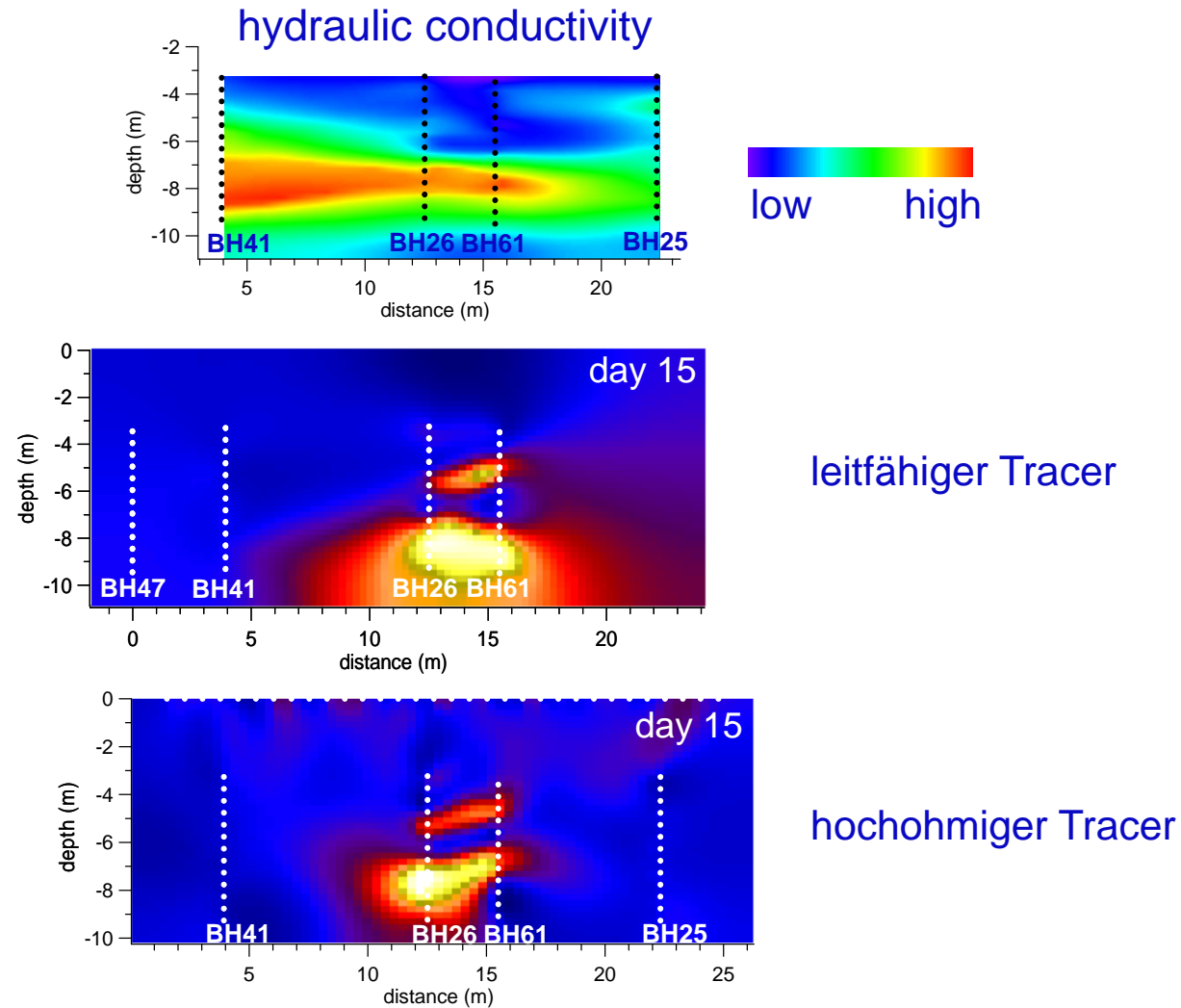
(Kemna, Flores-Orozco, Vanderborght, 2008, IGC)

Monitoring eines Tracer-Experiments in Krauthausen

■ Experiment mit hochohmigem Tracer in 2003; 4 ERT-Bohrlöcher



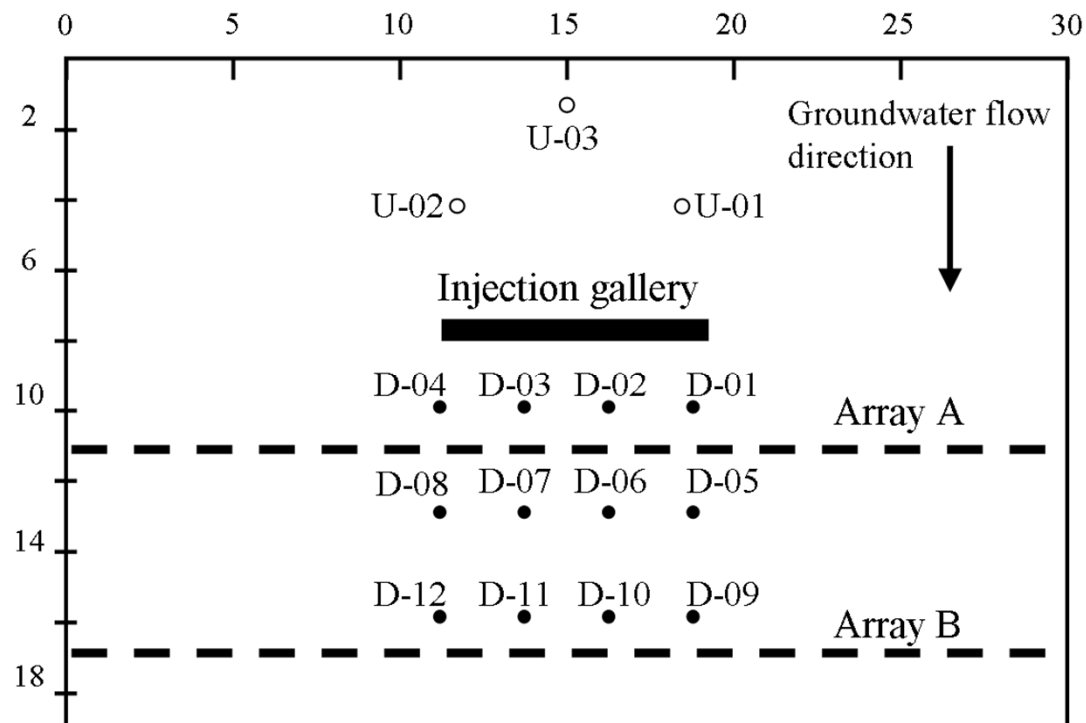
Direkte K -Abschätzung vs. beobachteter Tracer-Durchbruch



(Kemna,
Vanderborght,
Englert,
Müller,
Tillmann,
Vereecken,
2004, AGU)

Anwendung: Charakterisierung biogeochemischer Prozesse

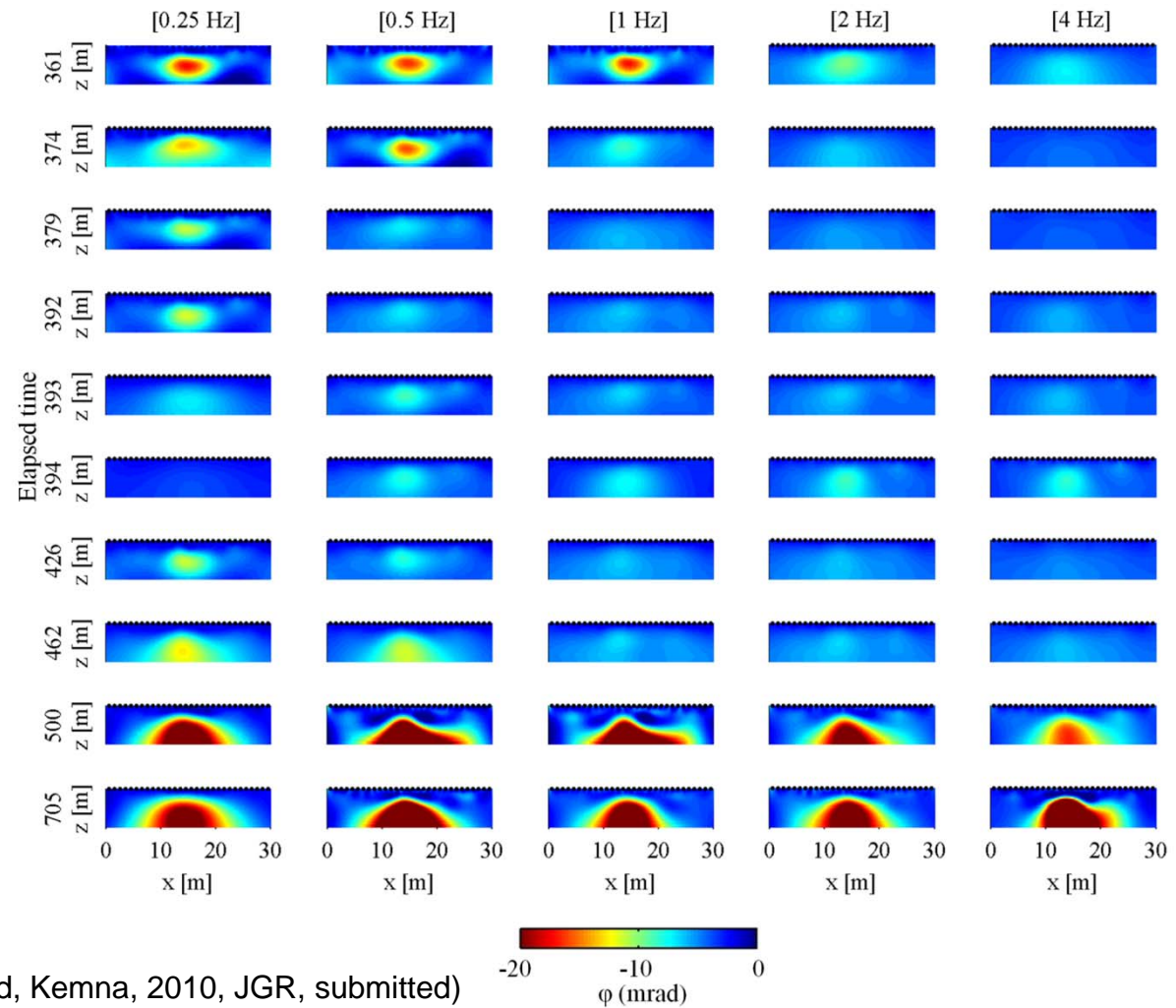
- Monitoring of stimulated bioremediation (acetate injection) at Rifle test site, Colorado (for uranium removal)



(Flores-Orozco, Williams, Long, Hubbard, Kemna, 2010, JGR, submitted)

Anwendung: Charakterisierung biogeochemischer Prozesse

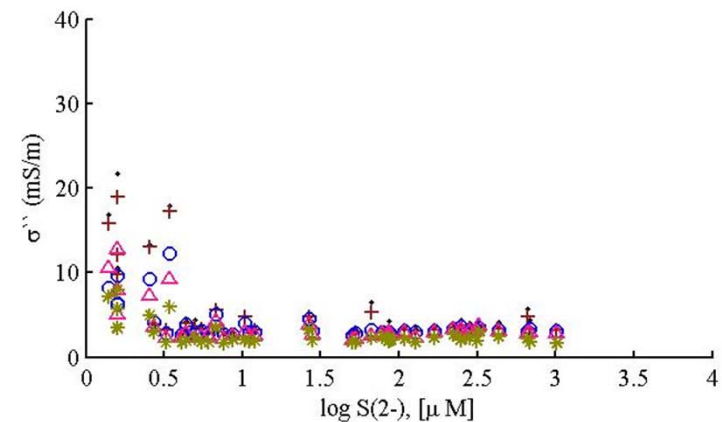
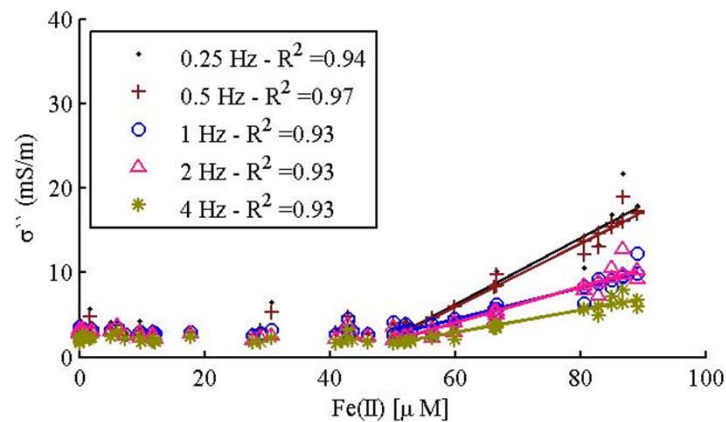
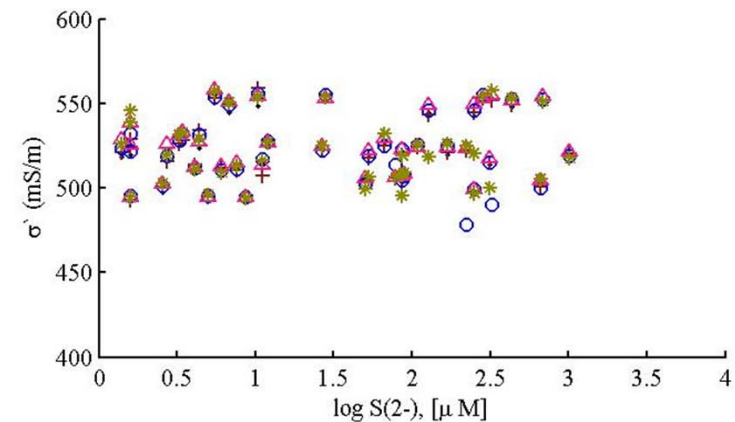
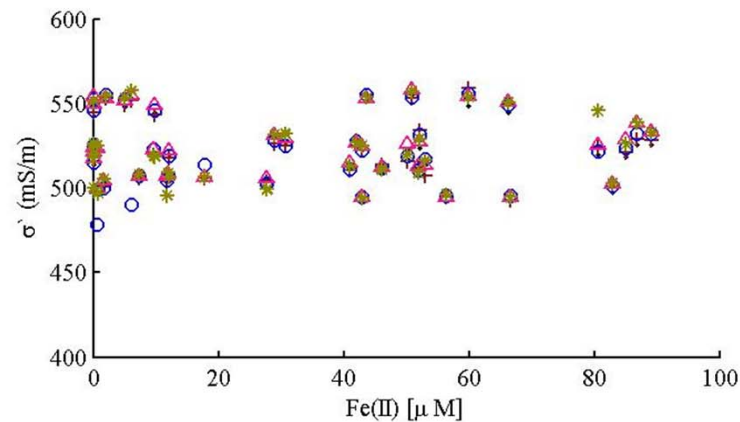
- Monitoring of stimulated bioremediation (acetate injection) at Rifle test site



(Flores-Orozco, Williams, Long, Hubbard, Kemna, 2010, JGR, submitted)

Anwendung: Charakterisierung biogeochemischer Prozesse

- Responses due to changes in electrochemical properties



(Flores-Orozco, Williams, Long, Hubbard, Kemna, 2010, JGR, submitted)

Aktuelle Forschungsprojekte

Elektrische Eigenschaften (SIP), elektrokinetische Kopplung (SP, Seismoelektrik), Inversion/Tomographie, Anwendungen:

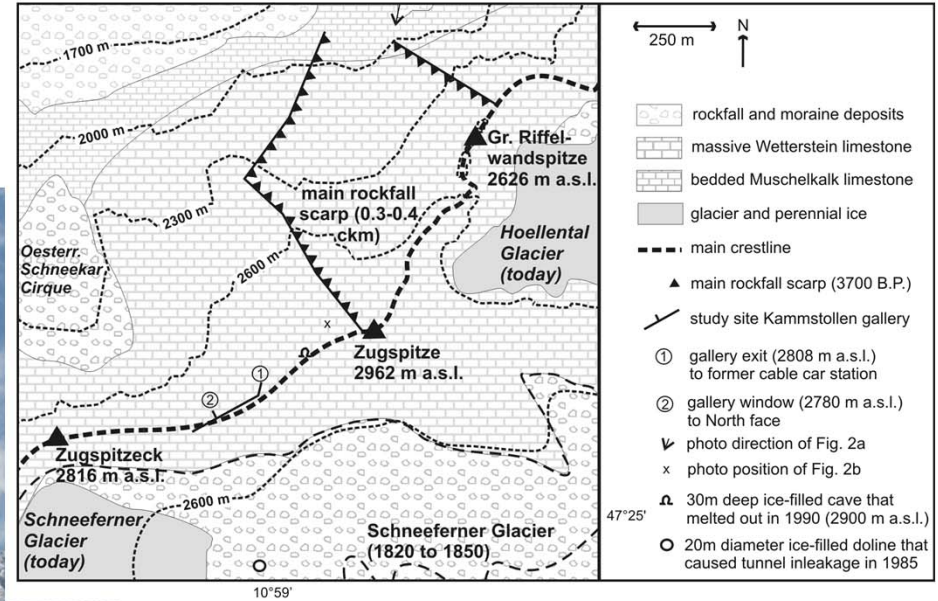
- 2D-EIT-Inversion mit Anisotropie (DFG SFB/TR 32)
- 4D-EIT-Inversion (spectral/time-lapse) (BMBF „Tomographie“)

- Elektrisch-hydraulische Parameterbeziehungen (DFG SFB/TR 32)
- Charakterisierung von Böden (EU iSOIL)
- Charakterisierung von kontaminierten Standorten (EU ModelPROBE)
- Charakterisierung/Überwachung von biogeochemischen Prozessen (US DOE)
- Überwachung von künstlicher Grundwasseranreicherung (MAR) (BMBF SMART)
- Charakterisierung/Überwachung von Wurzelwachstum (DFG FOR1320)
- Charakterisierung/Überwachung von terrestrischen Permafroststandorten

- Entwicklung einer seismoelektrischen Explorationsmethode (DGMK)

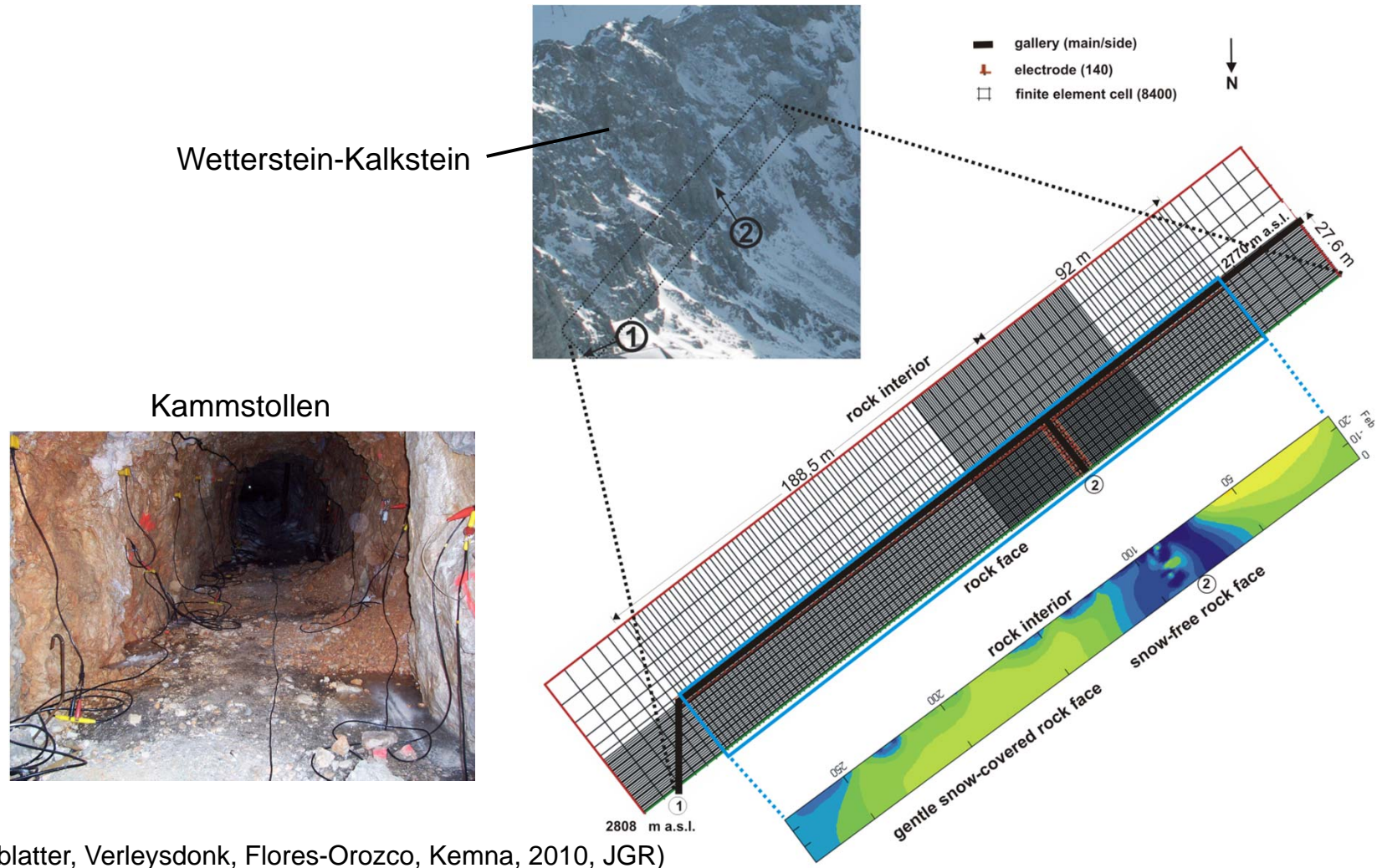
Permafrost-Monitoring in den Alpen

- Zugspitze



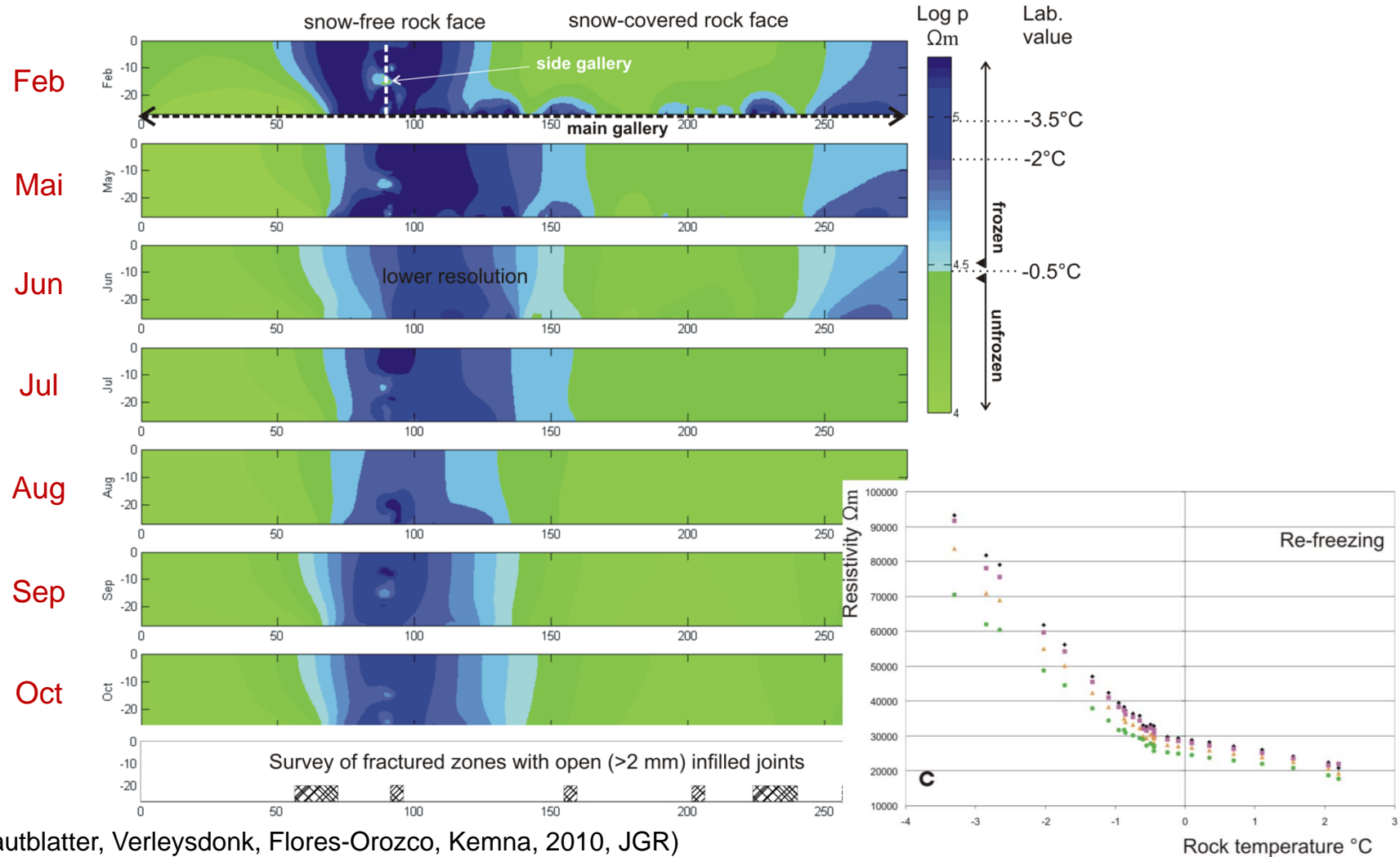
Permafrost-Monitoring in den Alpen

- Zugspitze: Messgeometrie



Permafrost-Monitoring in den Alpen

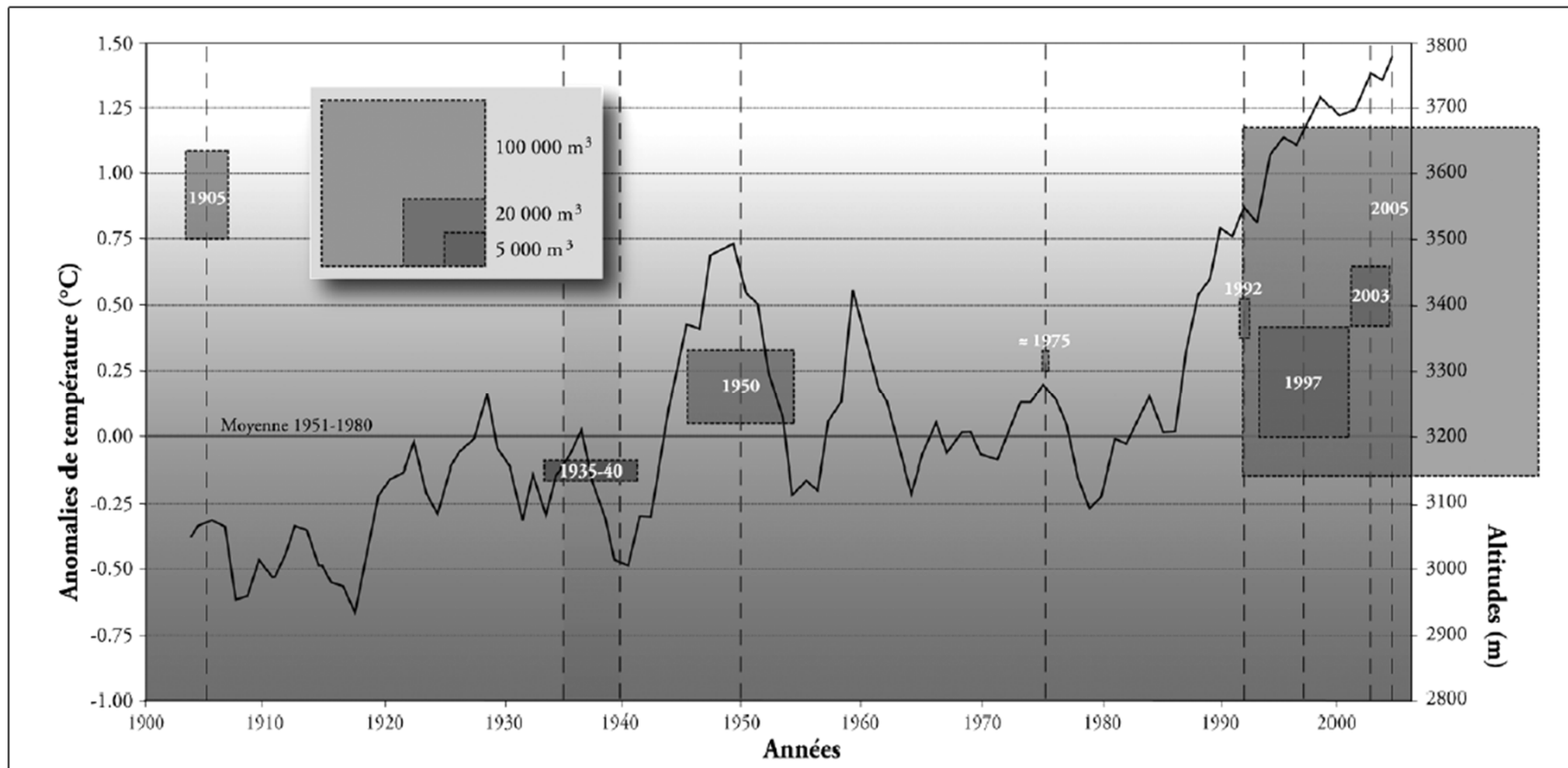
- Zugspitze: Jahreszeitliche Änderungen des spezifischen Widerstandes (2007)



(Krautblatter, Verleysdonk, Flores-Orozco, Kemna, 2010, JGR)

Permafrost-Monitoring in den Alpen

- Aiguilles du Midi, Frankreich

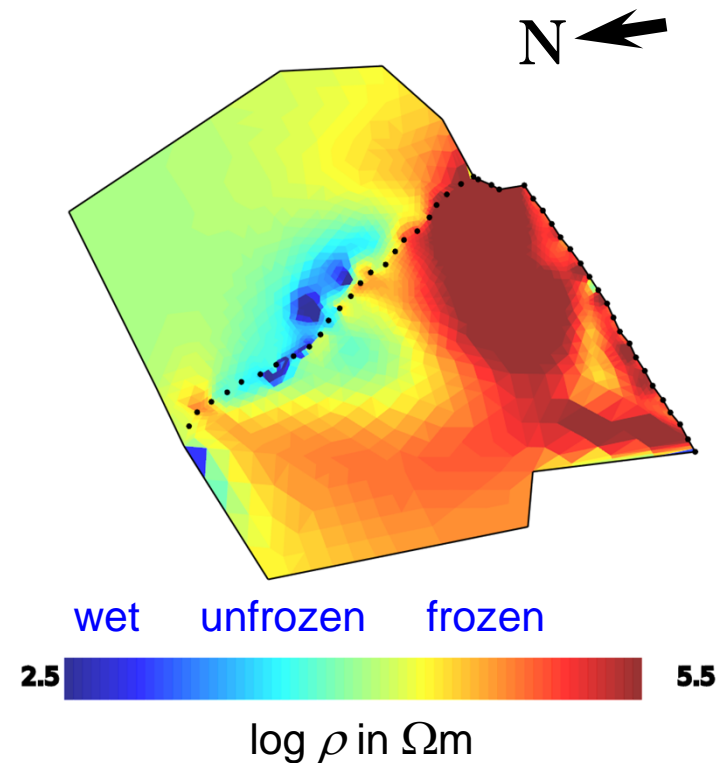


(Ravel and Deline, 2008)

- A unique high-alpine site (summit 3,842 m a.s.l.) to study bedrock permafrost
- Electrical imaging in 2008, 2009, 2010

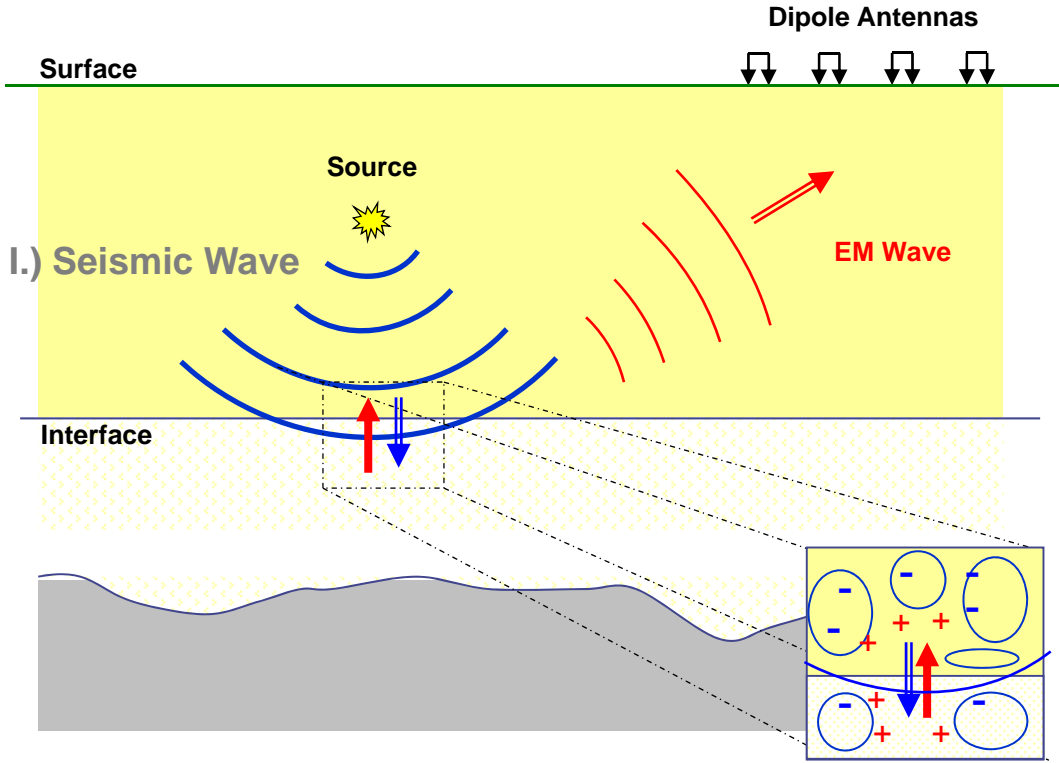


- Imaging result for Oct 2008 data
- First calibration measurements in the lab suggest considerable gradients in temperature, covering wet, unfrozen and frozen conditions
- Image indicates zone affected by artificial heating (heated part of gallery inside the rock)
- Fractures visible along the galleries coincide with zones of lower resistivity



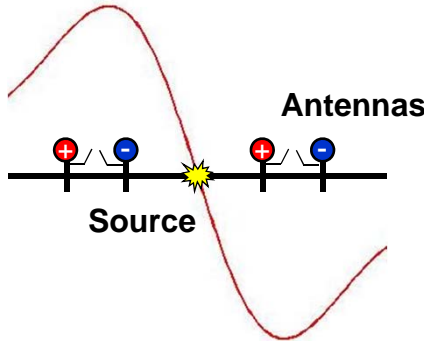
(Kemna, Krautblatter, Deline, Ravanel, Coviello, Cremonese, Pogliotti, 2010, EUCOP)

Seismoelectric phenomena: Interface response

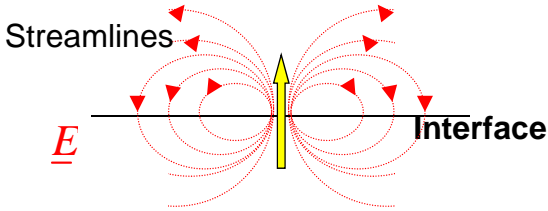


I.) Seismic Wave

II.) Electrokinetics

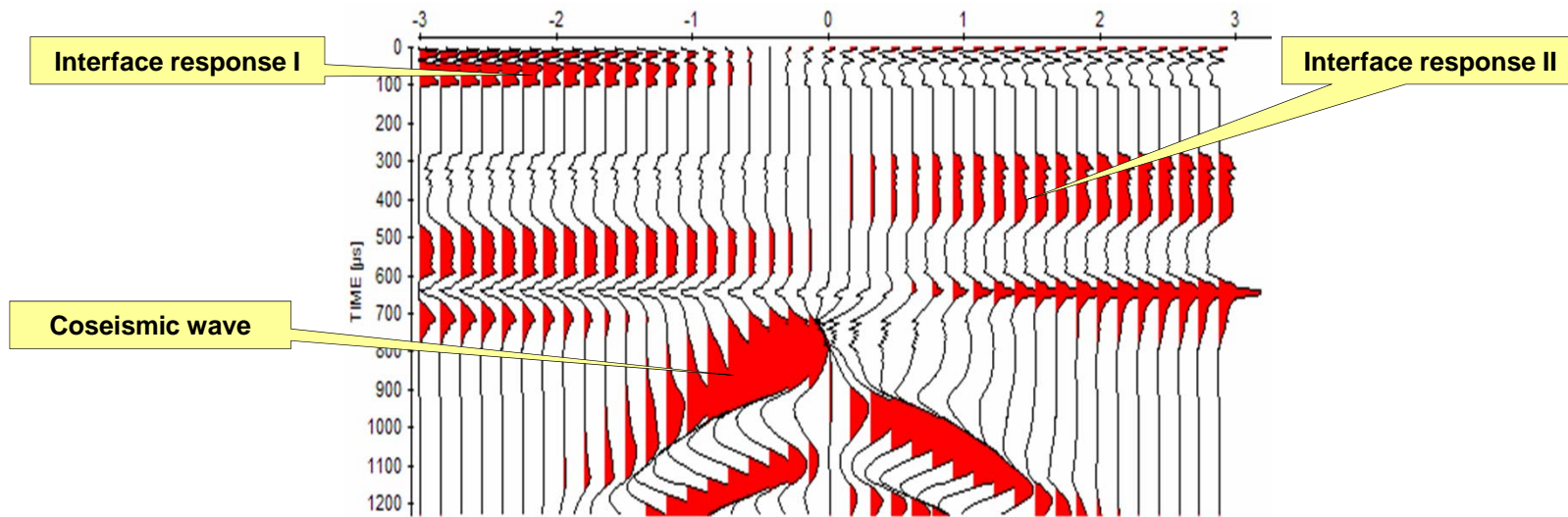


IV.) Measurements



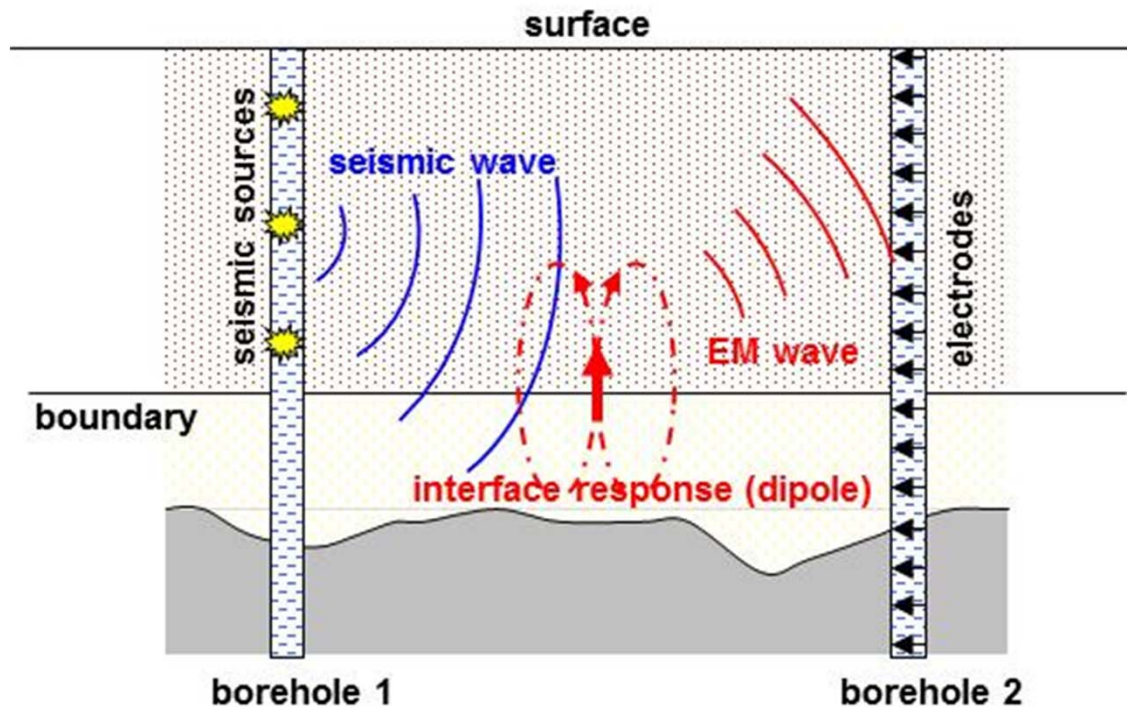
III.) Wave conversion

Seismoelectrogram (surface survey)



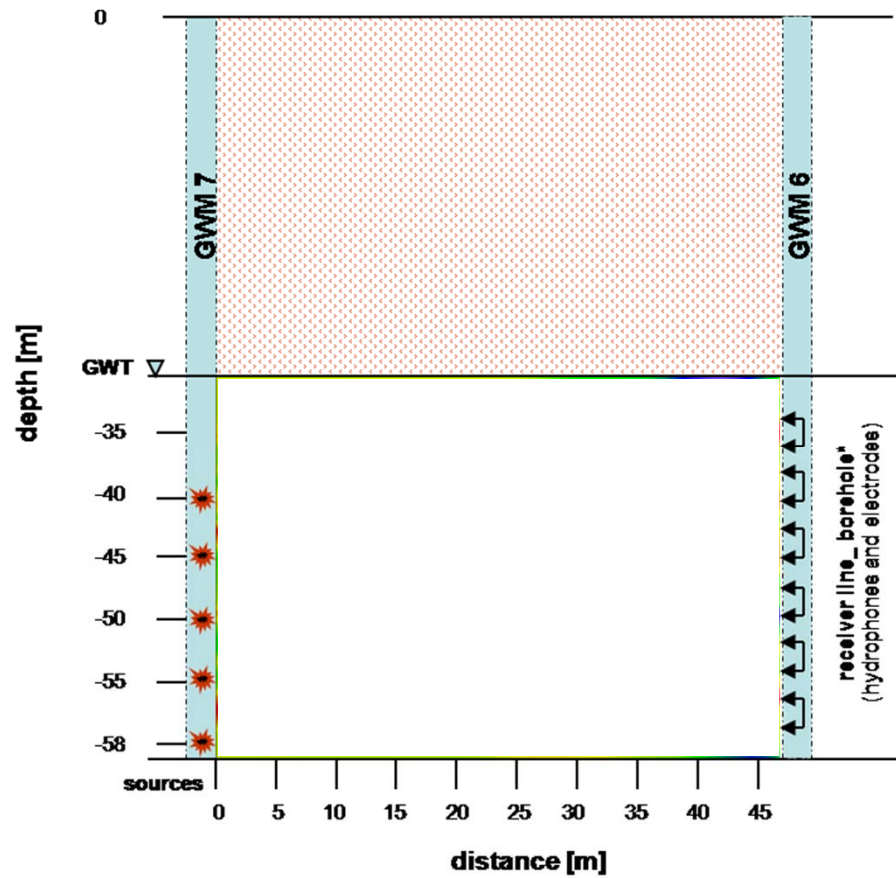
Motivation for tomographic seismoelectric measurements

- For cross-borehole surveys, first arrival of converted seismoelectric waves can be expected due to much higher velocity of converted wave

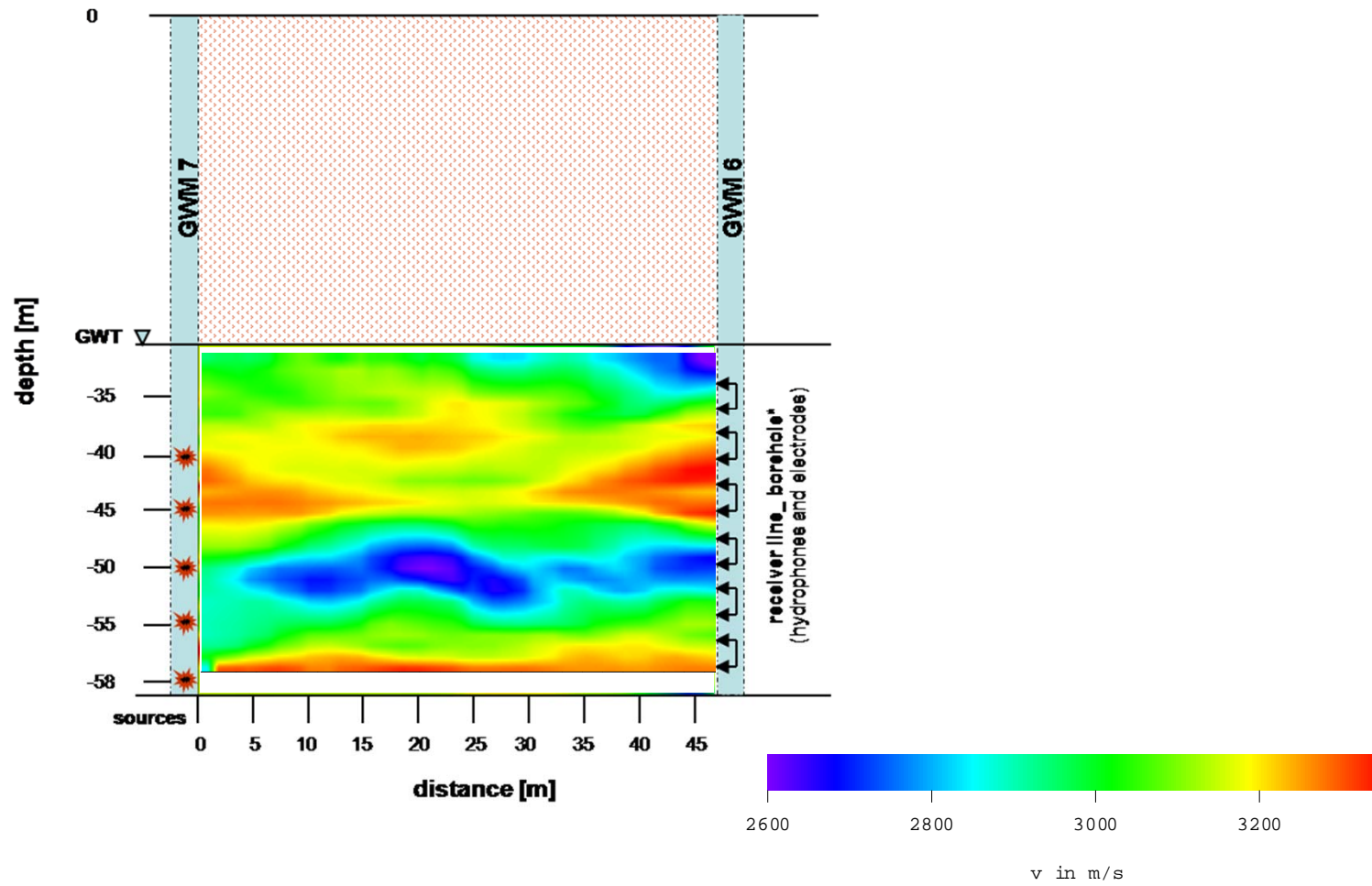


Seinsfeld test site

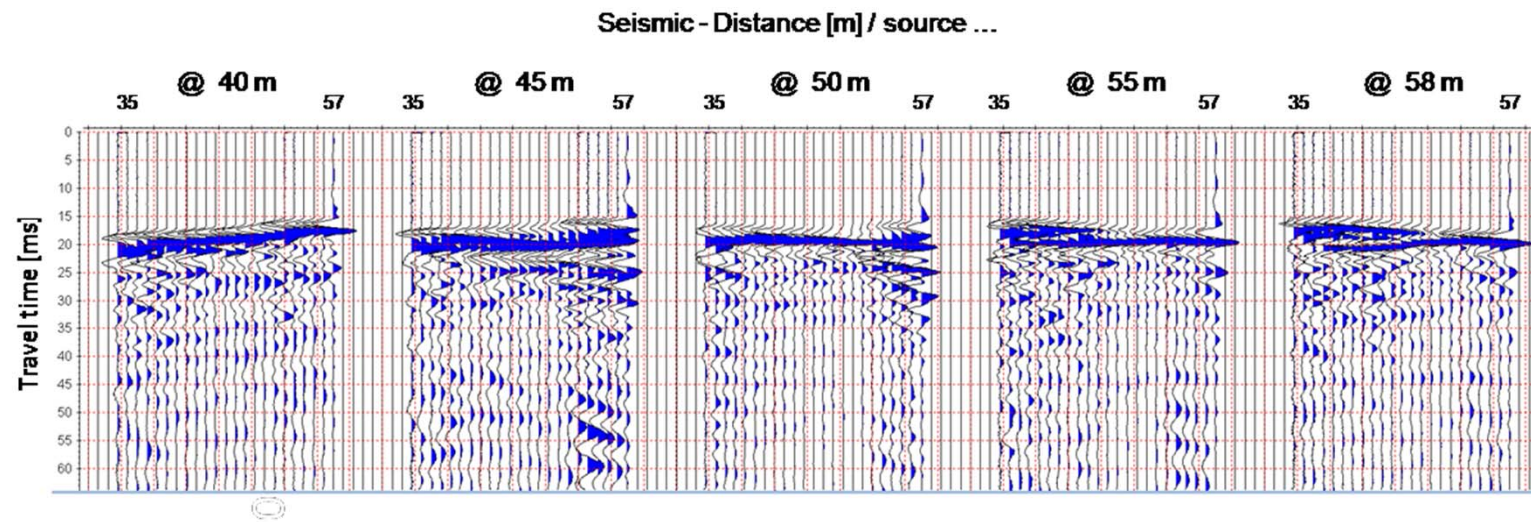
- Cross-borehole survey geometry



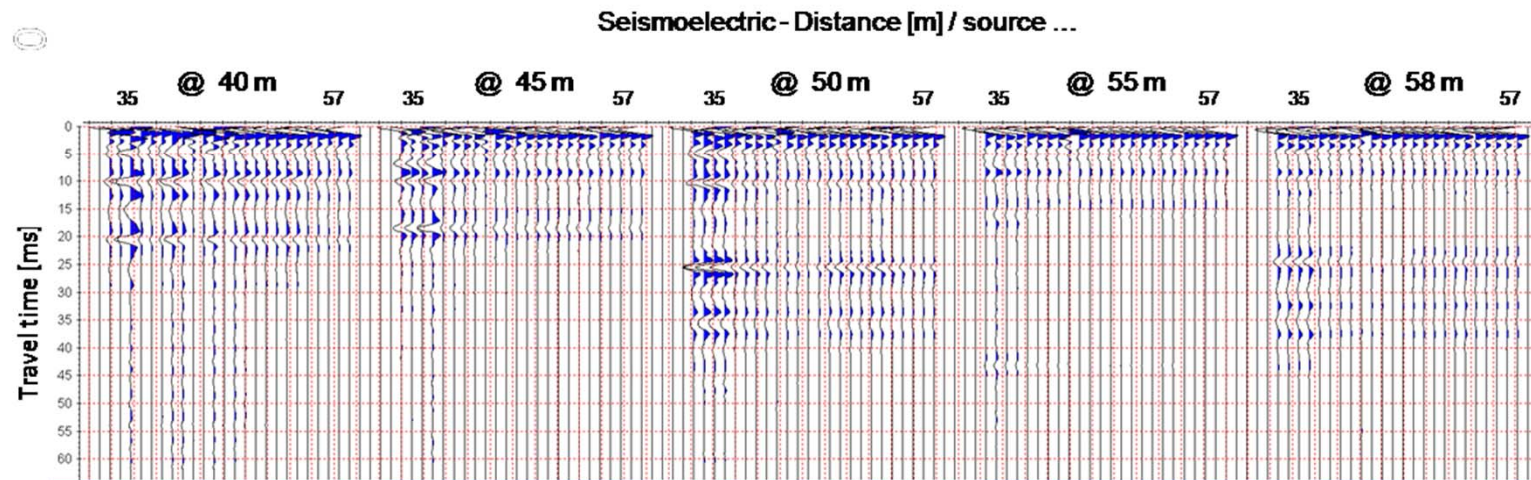
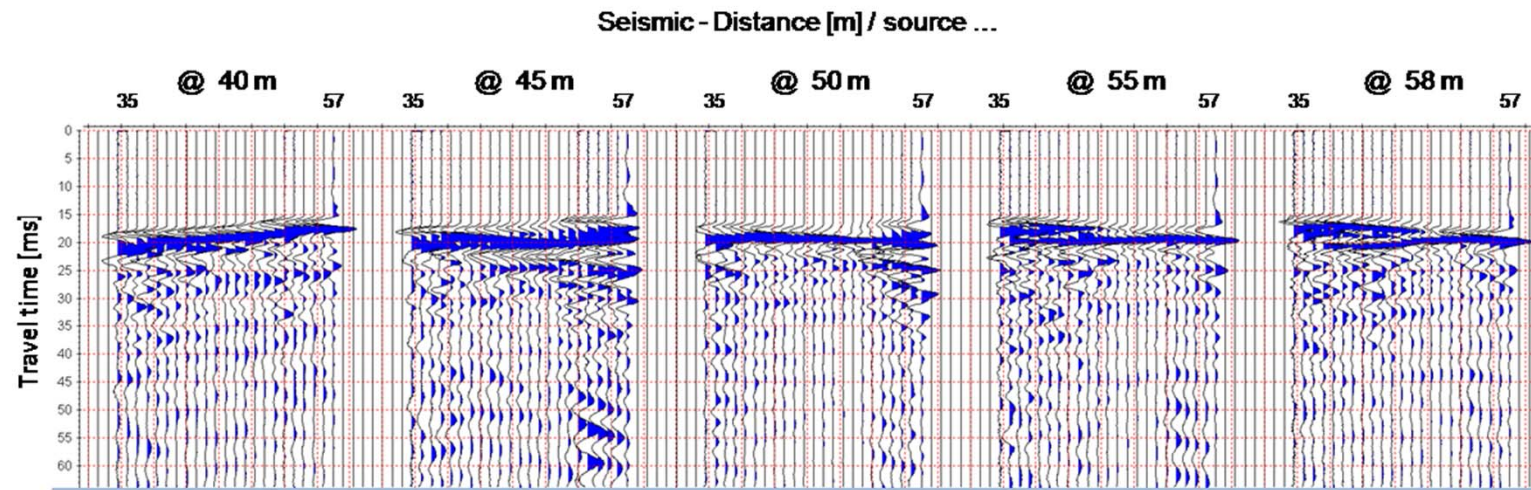
Seismic tomography



Seismoelectric cross-borehole measurements

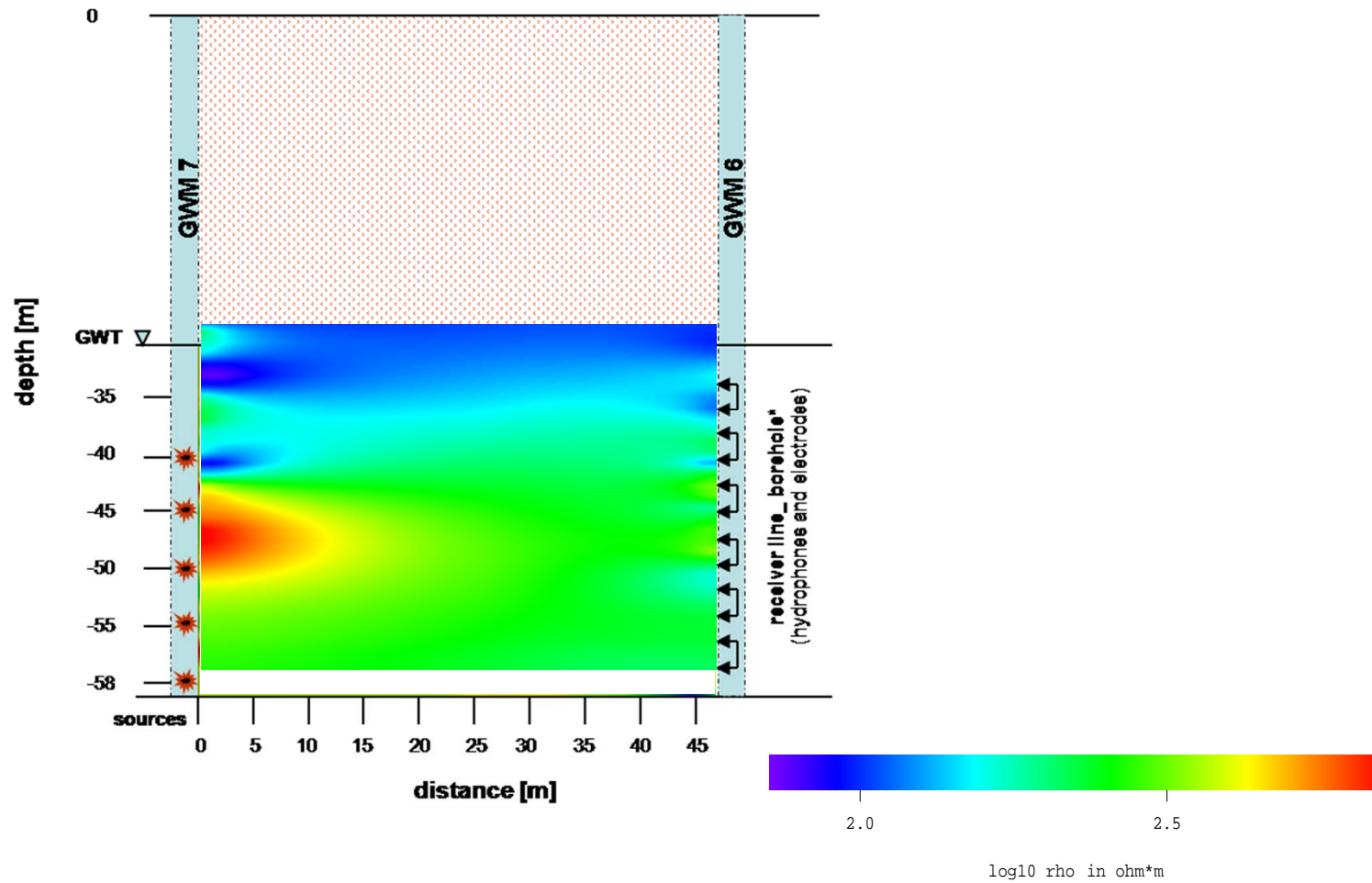


Seismoelectric cross-borehole measurements



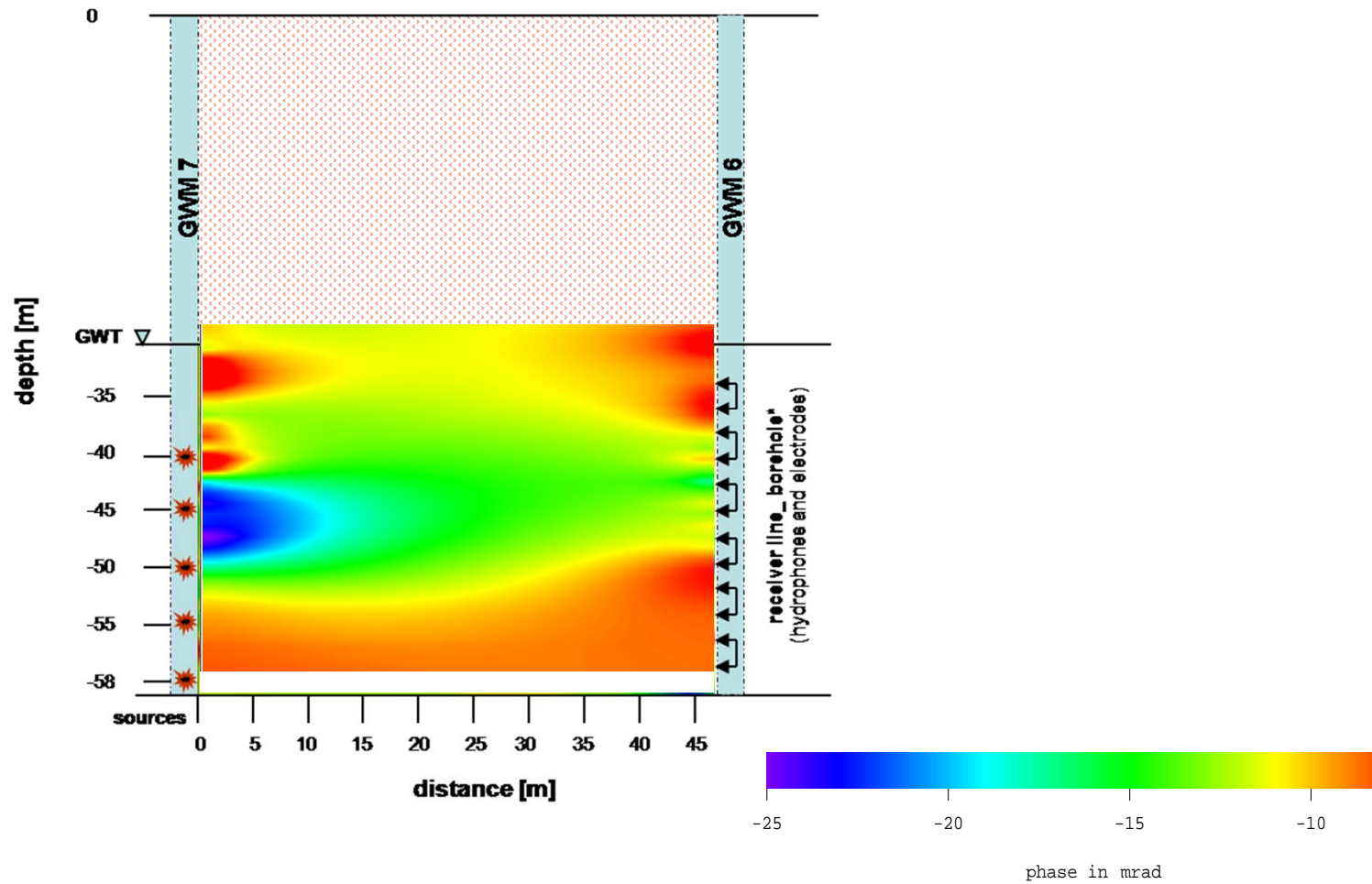
Electrical tomography

- Resistivity magnitude



Electrical tomography

- Resistivity phase (measure of induced polarization)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!