

„Anwendung der Transient-Hot-Bridge-Methode für Sedimentböden“



Dipl.-Ing Vladislav Meier
AG 1.74

Physikalisch- Technische Bundesanstalt, Braunschweig

- **Problemstellung**
- **Stand der Technik**
 - **Transiente Messtechnik**
 - **Auswertungsprobleme**
 - **Nadelsonden, „Hot probe“**
 - **Vorteile und Schwachstellen**
- **THB- Messsystem**
 - **Messsystembeschreibung**
 - **Vorteile**
- **Anwendung der THB-Methode**
 - **Naturreservat Spreewald**
 - **Hilgersrieder und Norderneyer Watt**
- **Zusammenfassung**

Problemstellung

Natur- und Klimaschutz

Bodenkunde

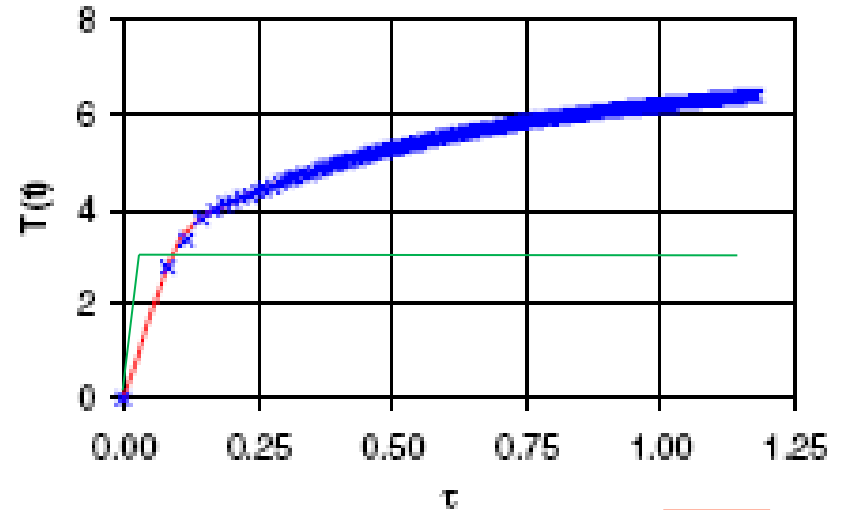
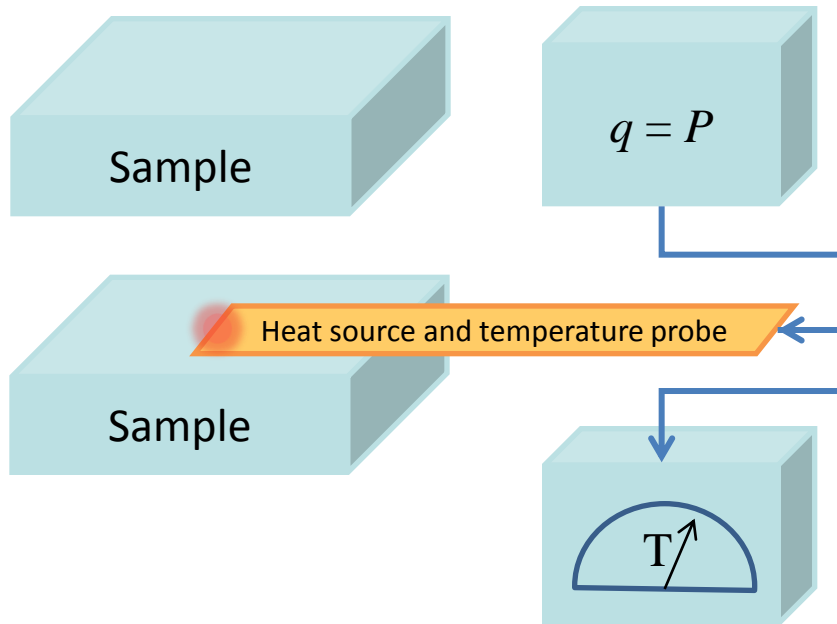


Auslegung neuer Energienetze



- **Messungen Vorort bei rauen Bedingungen**
- **Sichere intensive/zahlreiche Feldmessungen**
- **Kostenfaktor**

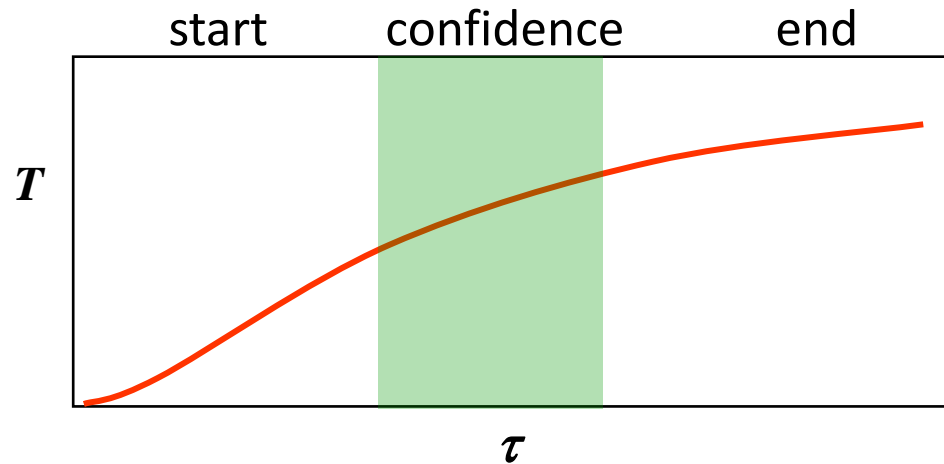
Transiente Messtechnik



$$\tau = \sqrt{\frac{a \cdot t}{L^2}}$$

$$\lambda_m \sim \frac{P_0}{L \cdot \Delta T(\tau)} \cdot F(\tau)$$

Auswertungsprobleme



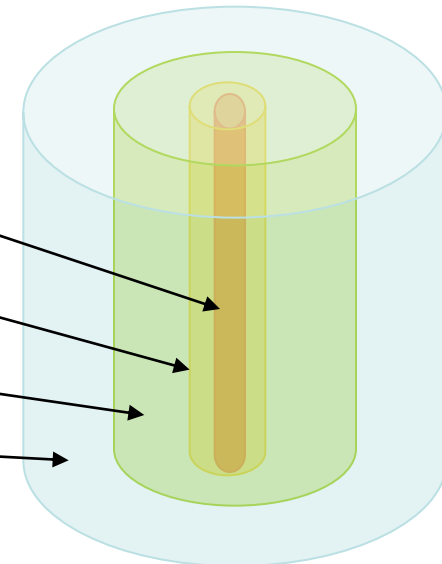
$$\Delta T(t) = F(\lambda_h, a_h; \lambda_c, a_c; \lambda_s, a_s; \lambda_e, a_e; P, t)$$

λ_h, a_h – Heizelement

λ_c, a_c – Kontaktschicht

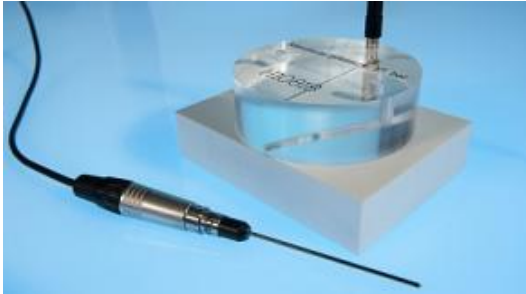
λ_s, a_s – Probe

λ_e, a_e – Umgebung



Nadelsonden - “Hot probe”

<http://www.te-ka.de/de/tk04>



Messbereich und Messunsicherheit:
WLF 0,1 – 10 W/mK \pm 2,5%



Nadelsonden - "Hot probe"

The new KD2 Pro

The KD2 Pro uses three interchangeable sensors to measure thermal diffusivity, specific heat (heat capacity), thermal conductivity and thermal resistivity. Using the transient line heat source method, the KD2 Pro takes measurements at 1-second intervals during a 90-second measurement cycle. It then analyzes the data and corrects for sample temperature drift—providing accurate thermal properties measurements.

Users can read values directly or download raw values for analysis as required by IEEE and ASTM Standards. It also features an automated mode where users can set the measurement interval and collect unattended data. ■



KD2 Pro Specifications

Measurement Time 90 Seconds	Operating Environment -50° to 150° C
Accuracy* 7% Specific Heat 5% - 10% Thermal Conductivity/ Resistivity 5% Thermal Diffusivity	Case Size 15.5cm x 9.5cm x 3.5cm
Measurement Ranges* K: 0.02 to 2 Wm ⁻¹ C ⁻¹ D: 0.1 to 1.0 mm ² s ⁻¹ R: 0.5 to 50 mC W ⁻¹ C: 0.5 to 4 MJ m ⁻² C ⁻¹	Data Storage 4095 readings, flash memory
Cable Length 0.8m	Power Requirement 4 AA Batteries



■ **KS-1**
6cm SENSOR

The KS-1 is ideal for measuring thermal conductivity and thermal resistivity. Conforms to ASTM Standard D5334-00. 60mm long, 1.27mm diameter



■ **TR-1**
10cm SENSOR

The TR-1 measures thermal conductivity and thermal resistivity and conforms to IEEE Standard 442-1981 and ASTM Standard D5334-00. 100mm long, 2.4mm diameter



■ **SH-1**
30mm Dual SENSOR

The SH-1 is the only sensor that measures thermal diffusivity and specific heat. 30mm long, 1.28mm diameter, 6mm spacing



The original KD2

- Single Needle Technology
- Requires No Calibration
- Stainless Steel Case
- Displays in Engineering Units
- Small Needle Minimizes Material Disturbance

KD2 Thermal Properties Analyzer

The pocket-sized KD2 uses a single sensor to measure thermal conductivity and thermal resistivity. It uses the transient line heat source method to calculate and display the thermal conductivity in 90-seconds. The small needle size results in very little compaction during installation and allows for a short heating time—minimizing thermally induced drying around the probe. ■



■ The thermal conductivity of ice is not constant. It is a function of the rate of freezing.


KD2 Specifications

Measurement Time 90 Seconds	Accuracy 5% Thermal Conductivity 5% Thermal Resistivity
Measurement Ranges K: 0.02 to 2 Wm ⁻¹ C ⁻¹ R: 0.5 to 50 mC W ⁻¹	Operating Environment -20° C to 60° C
Power Requirement 3.0 Volt Lithium Battery	Sensor 60mm Length 1.27mm Diameter

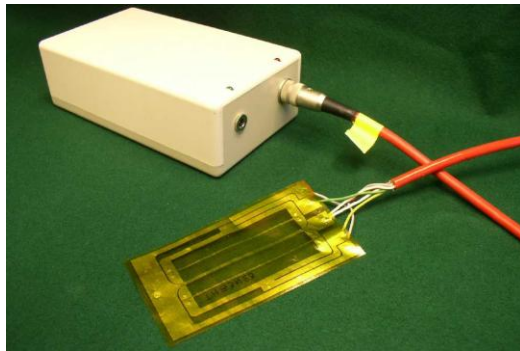


■ The KD2 is ideal for fast measurement of thermal conductivity in a variety of solids and liquids.

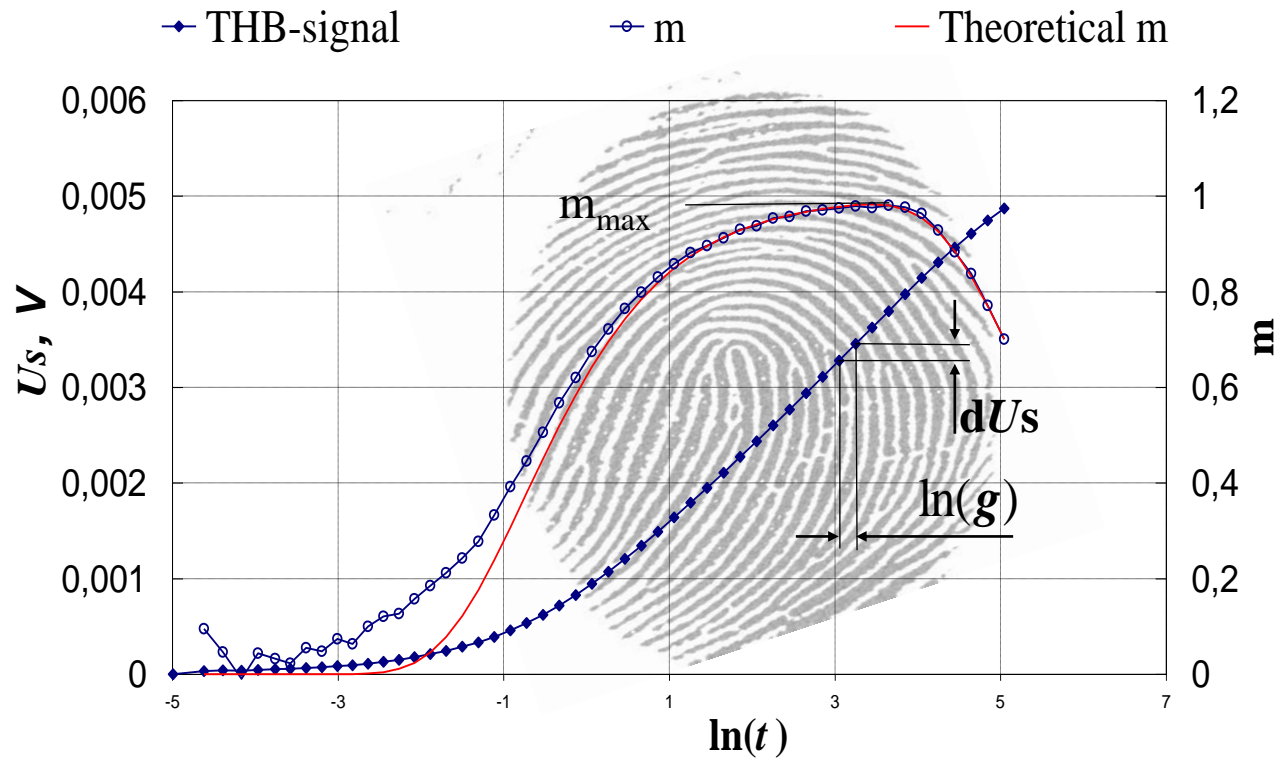
Nadelsonden und “Hot probe”

- 
- Vorteile**
- **Schnell - einige Minuten**
 - **Mobil – tragbar von einem Mensch**
 - **Günstig ? – bis 5000 €**
- Schwachstelle**
- **Brüchige Sonde**
 - **Große Messunsicherheit**
 - Leichte Böden
 - Therm. Kontakt
 - Wärmekapazität
 - **Störungsanfälligkeit**
 - Temperaturdrift
 - El.-magn.

THB- Messsystem



THB- Auswertung

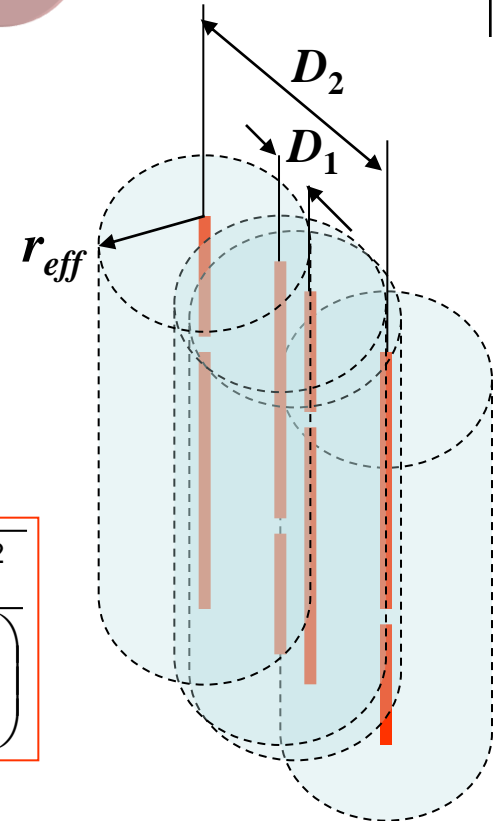
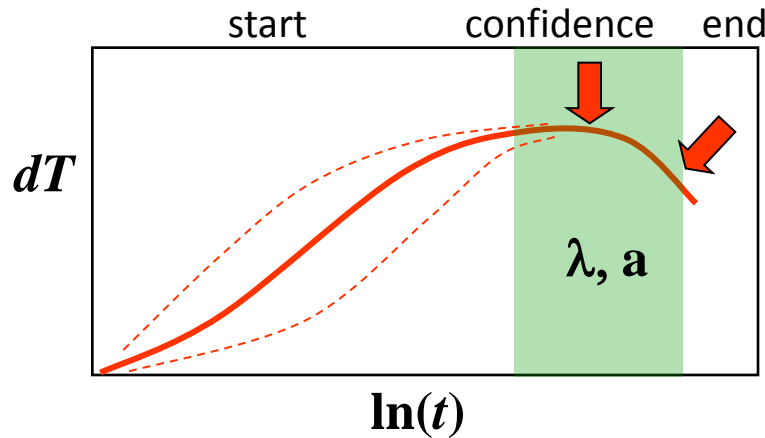
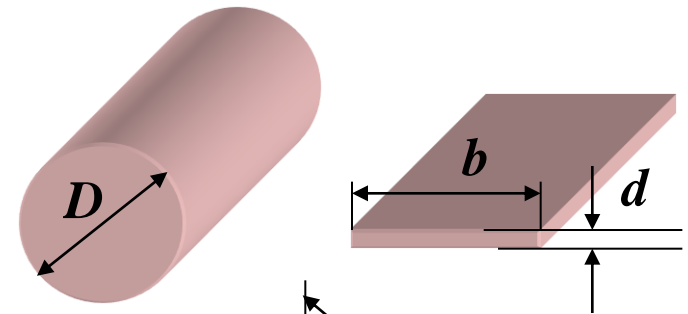


$$\lambda = \frac{\alpha \cdot R_{eff}^2 \cdot \ln(g)}{4 \cdot \pi \cdot L_{eff} \cdot d(U_s)_{\max}} \cdot \left(\frac{I_m}{2}\right)^3 \cdot m_{\max}$$

$$a = \frac{D_2^2}{4 \cdot t \cdot \ln\left(\frac{1}{1-m}\right)}$$

THB- Vorteile

- Günstiges Verhältnis für eigene Wärmekapazität und Kontaktfläche
- THB- Signal auflösbar für beide Messgrößen

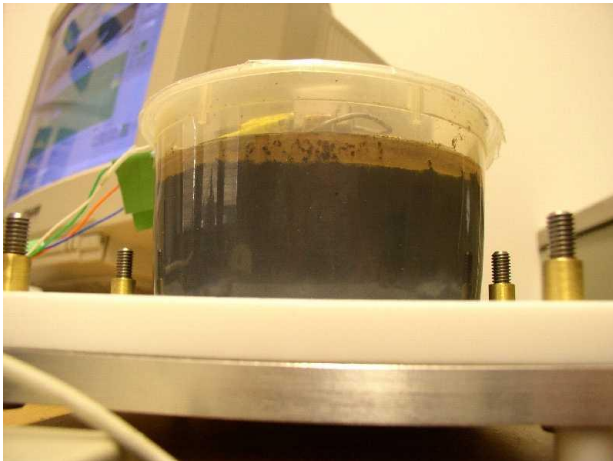


- Messvolumen - konstant

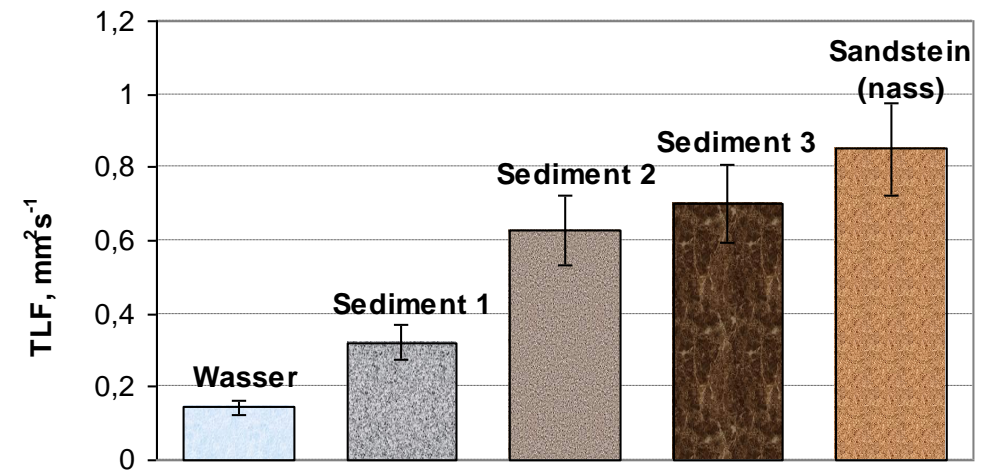
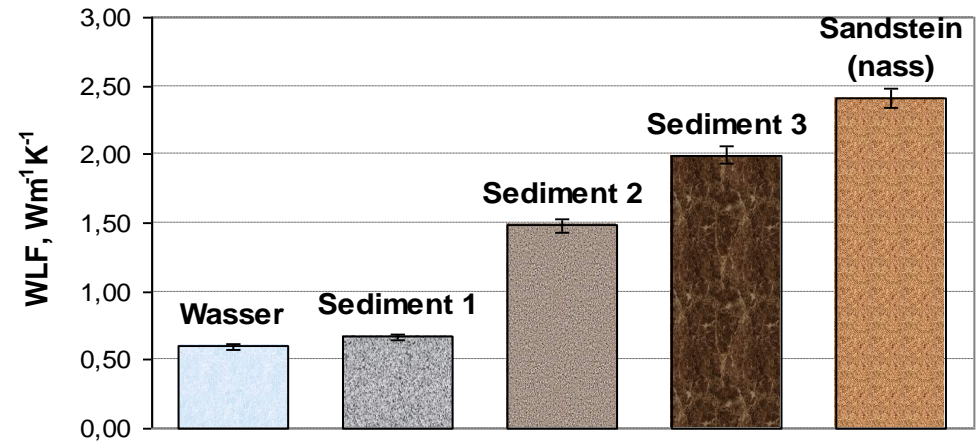
$$r_{eff} = \sqrt{\frac{D_2^2 - D_1^2}{\frac{2}{3} \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}}$$

THB- technische Daten

- **Schnelle Messung - einige Minuten**
- **Messbereich:**
 - λ - 0,1 bis 10 W/mK
 - a - 0,1 bis 5 mm²/s
- **Messunsicherheit für homogene Stoffe:**
 - λ - $\pm 5\%$ ($k = 2$)
 - a - 15% ($k = 2$)
- **Störungserkennung und Warnsystem**
- **Robuste Spatensonden mit**
 - besserem therm. Kontakt
 - kleinerer Wärmekapazität
- **Langes Verbindungskabel bis 10 m**
- **Störungsresistent gegen**
 - Tagestemperaturdrift
 - El.-magn. Verträglichkeit
 - Wetterfest
- **Kleines Gerät: 190 x 110 x 70**
- **Stromversorgung: Bleiakku 12 V x 3 A**
- **Gewicht gesamt: 2 kg**
- **Günstig – unter 1500 €**



Messungen der Wärmeleitfähigkeit von Sedimenten aus Flüssen im Spreewald am 20.10.06



Spreewaldnaturreservat

3 Messkampagnen 2006 – 2008

Im Rahmen des DFG-Forschungsprojektes mit Institut für Landschaftswasserhaushalt
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V., Müncheberg



Messung Sedimenten in Flüssen und torfartigen Böden am Ufer

substrate	thermal conductivity - λ / $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$	thermal diffusivity - α / $10^{-6}\text{m}^2\text{s}^{-1}$	Vol. heat capacity - ρc / $10^6\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$
sediment 1 (n = 3)	2.80 (0.15)	1.02 (0.09)	2.87 (0.30)
sediment 2 (n = 6)	2.82 (0.18)	1.10 (0.04)	2.61 (0.26)
soil 1 (n = 5)	0.75 (0.10)	0.30 (0.04)	2.71 (0.52)
soil 2 (n = 3)	0.57 (0.05)	0.29 (0.02)	2.01 (0.36)

Messunsicherheit für WLF ca. 10%

Hilgersrieder und Norderneyer Watt

Messkampagne im September 2010

im Auftrag der transpower offshore gmbh

Messungen der Wärmeleitfähigkeit von Wattsedimenten entlang des Seekabels



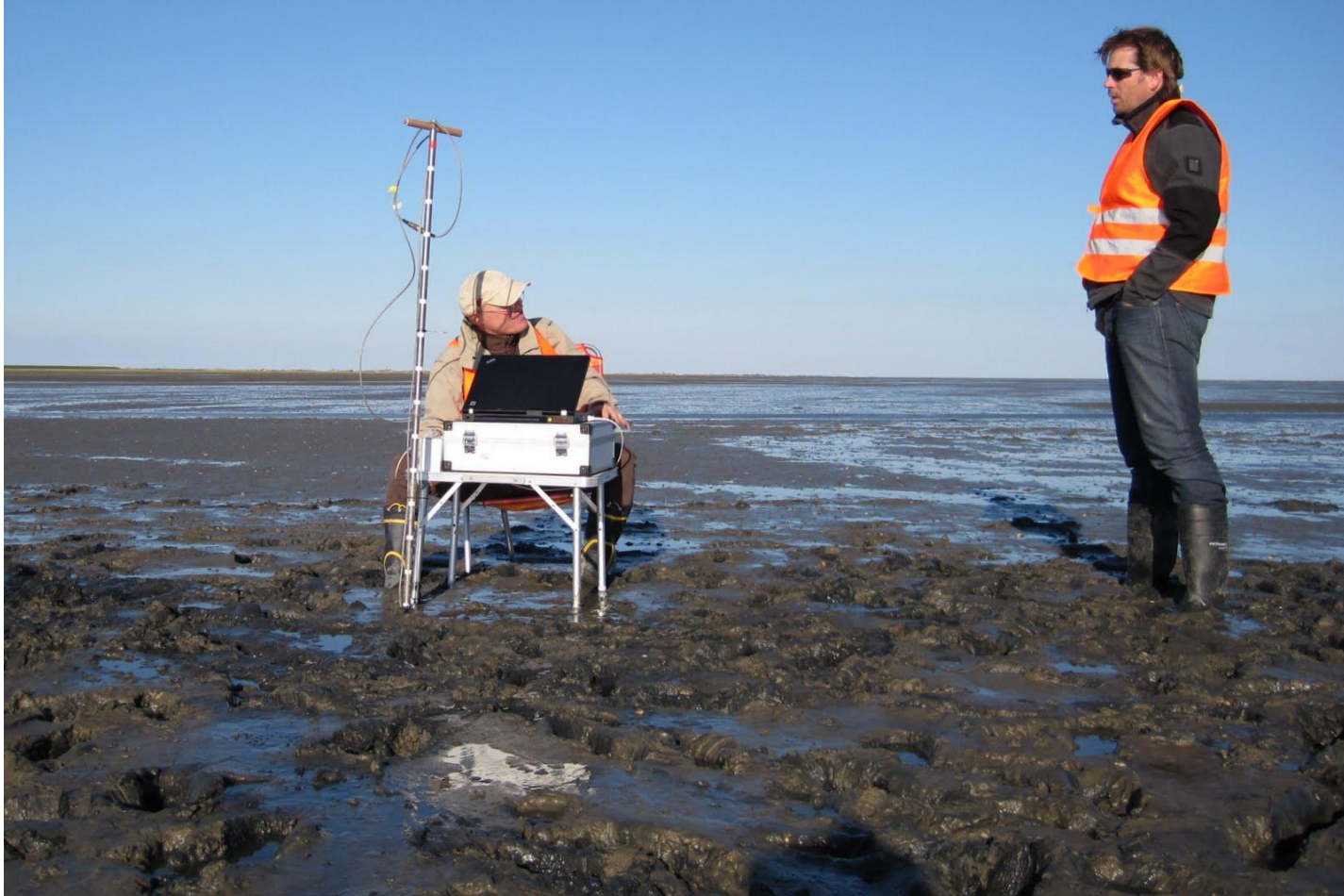
Messbedingungen und Herausforderungen

Wasserflut - Tiden



Messbedingungen und Herausforderungen

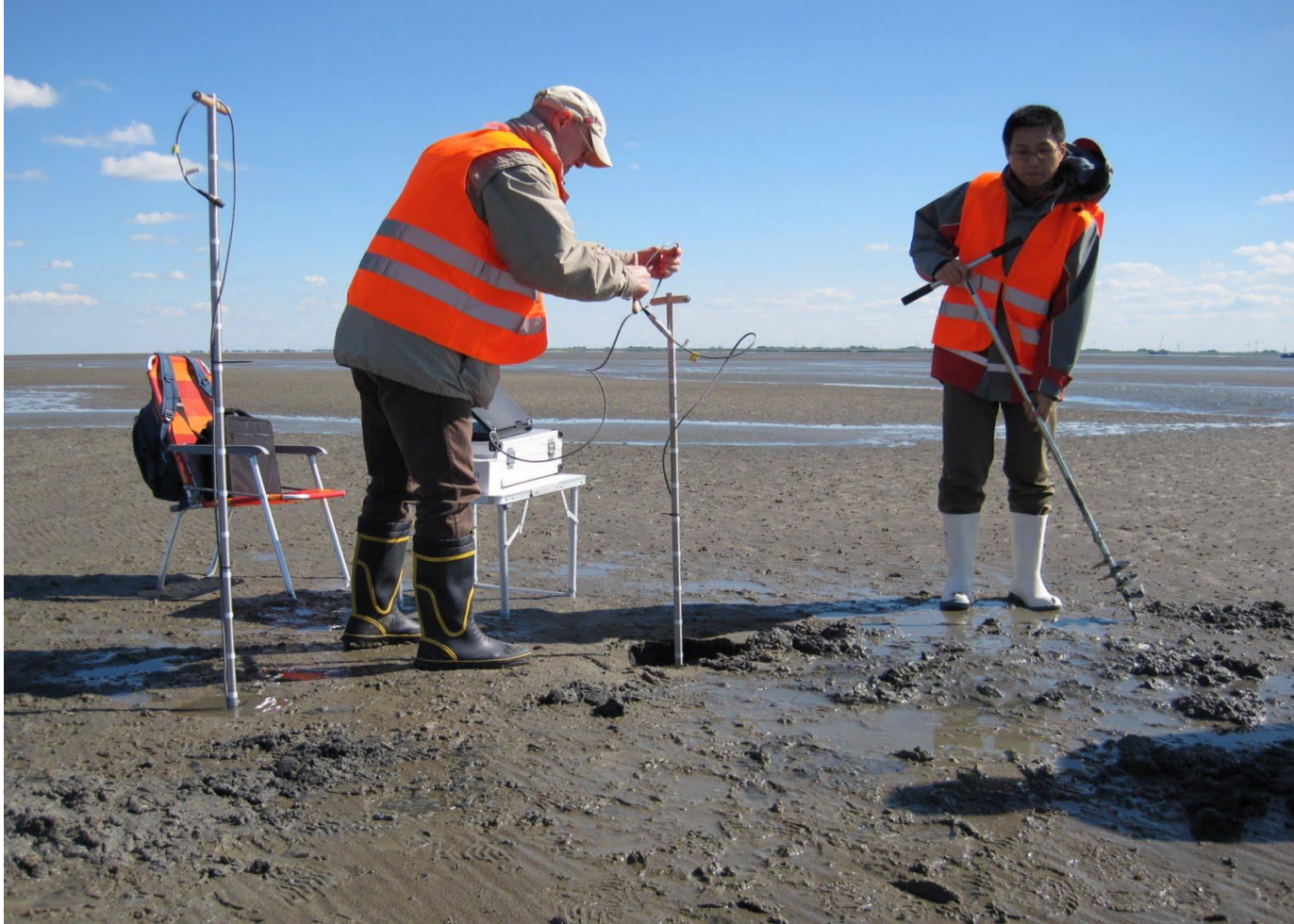
Sonnenlicht oben



Schlamm unten

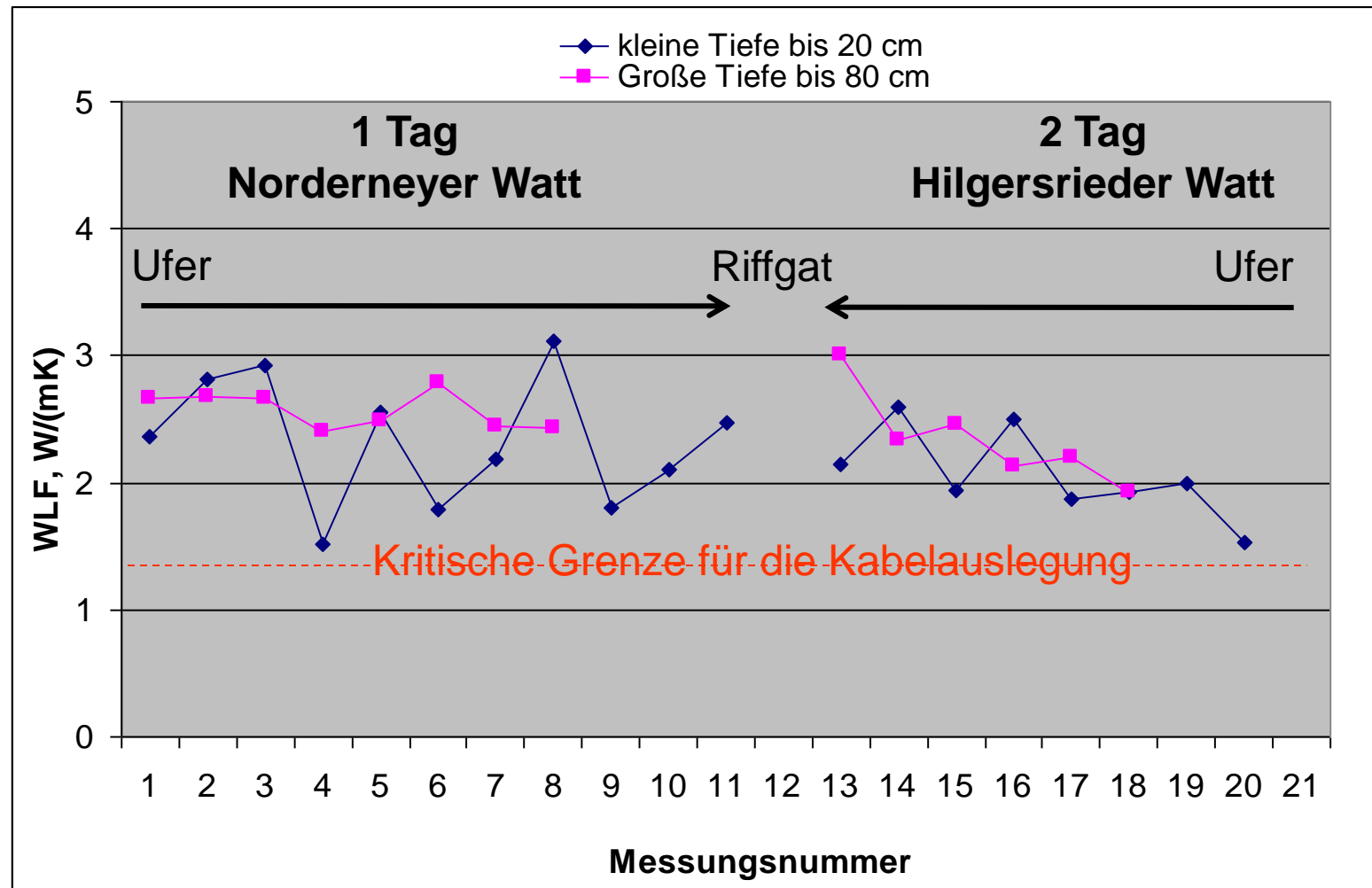
Messbedingungen und Herausforderungen

Harte Handarbeit



Maximale geschaffte Bohrungstiefe 80 cm

Ergebnisse



Zusammenfassung

- **Steigender Bedarf für mobile Messsysteme**
- **Das THB- Messsystem ist für Feldmessungen gut geeignet**
- **Weitere Entwicklungsbedarf**
 - Diagnoseverfahren für Messstörungen
 - kleinere Messunsicherheit
 - Verbesserung der Sonden und Messeinheit

Danke für ihre Aufmerksamkeit

