



Bayerisches Landesamt für  
Umwelt



# Ringversuch Wärmeleitfähigkeitsmessungen – Wie belastbar sind die Messwerte?

Marcellus Schulze, LfU, Ref. 104

6. Norddeutscher Geothermietag

# Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine – Schlüsselparameter für die Dimensionierung von Erdwärmeanlagen

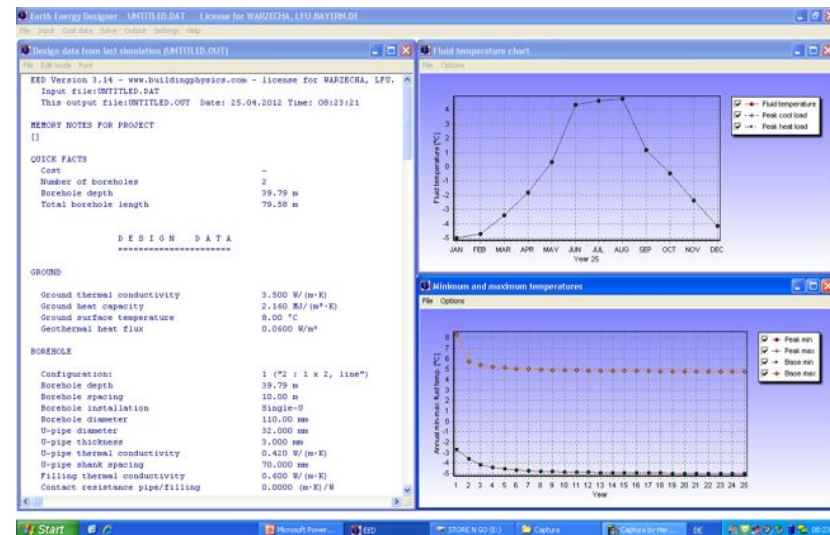
- Die **Auslegung von Erdwärmesondenanlagen** erfolgt häufig mit **Pauschalwerten** (50 W/m Entzugsleistung).
- Pauschalwerte** stellen „**Summenparameter**“ für **verschiedene Einflussgrößen** dar.
- Durch den **verstärkten Einsatz von Simulationsprogrammen** erfolgt zunehmend eine Berücksichtigung **verschieden sensibler Parameter des Untergrundes** und der Anlage (Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Bohrlochwiderstand, Untergrundtemperatur, Bohrlochdurchmesser, etc.).
- Großen Einfluss** auf die **Dimensionierung der Anlagen** hat der Parameter „**Wärmeleitfähigkeit**“.

```

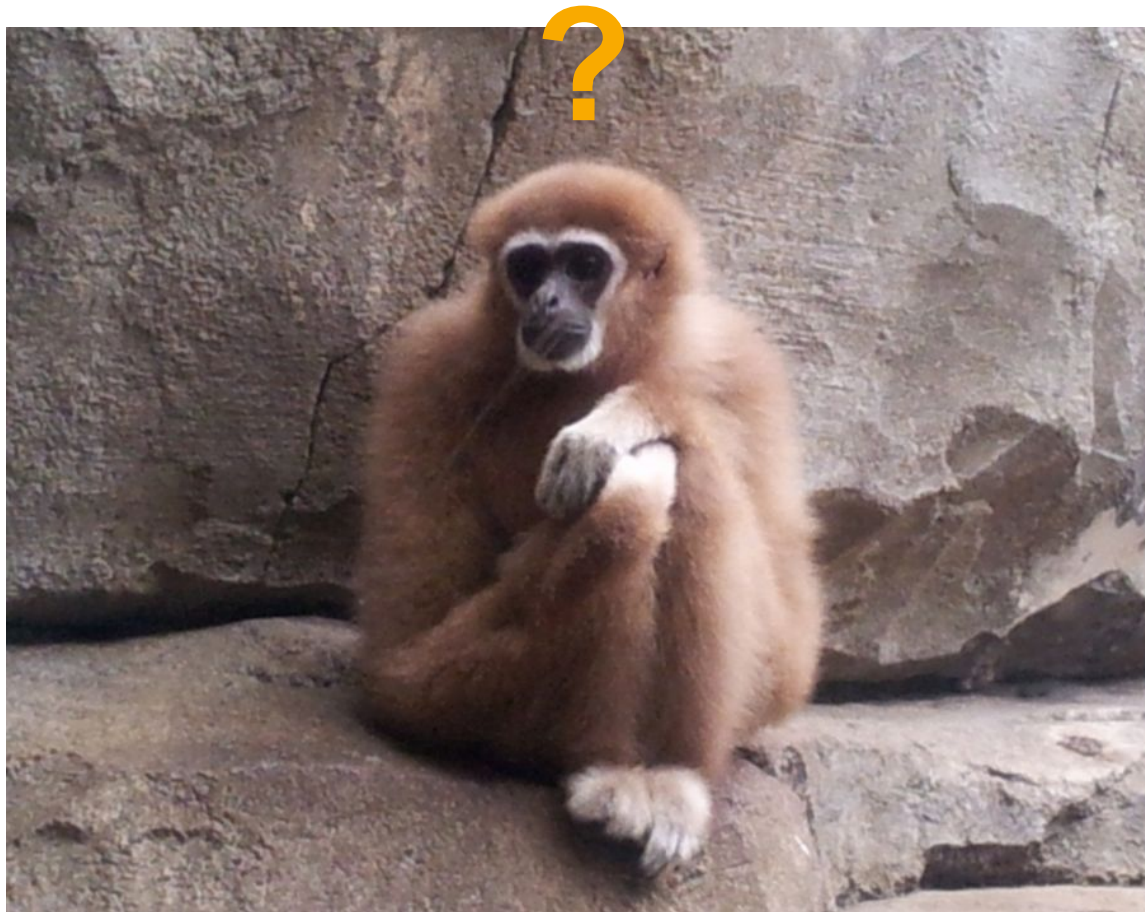
DESIGN DATA
=====

GROUND

Ground thermal conductivity      3.500 W/(m·K)
Ground heat capacity             2.160 MJ/(m³·K)
Ground surface temperature      8.00 °C
Geothermal heat flux            0.0600 W/m²
    
```



## Woher bekommt der Planer Wärmeleitfähigkeitswerte?



- Literatur
- Richtlinien (VDI 4640)
- Simulationsprogramme

- ⇒ **Von den staatlichen Geologischen Diensten (SGD)!**
- ⇒ **Wärmeleitfähigkeiten für verschiedenen lithologischen Einheiten**



## Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit

### Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit im Labor

Optical Scanning

Thermal-Conductivity-Scanner (TCS): Berührungslose und zerstörungsfreie Temperaturmessung und Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit.



Linienquellen-theorie

Voll- und Halbraumsonde: Berechnung der Wärmeleitfähigkeit aus der Aufheizkurve eines idealen thermischen Leiters in einem homogenen Vollraum. Messung an einem Punkt in der Probe.



### In-situ Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit im Untergrund

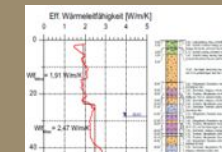
TRT

Thermal-Response-Test: Integrale Bestimmung der Temperaturänderung und Wärmeleitfähigkeit im Bohrloch (Ein Wert für das gesamte Bohrloch)



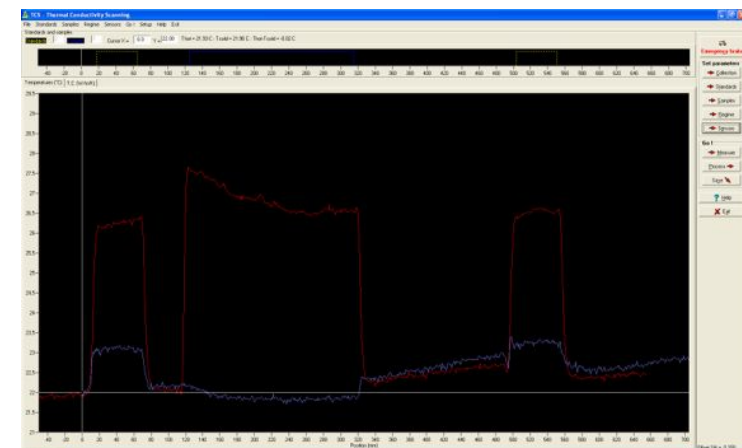
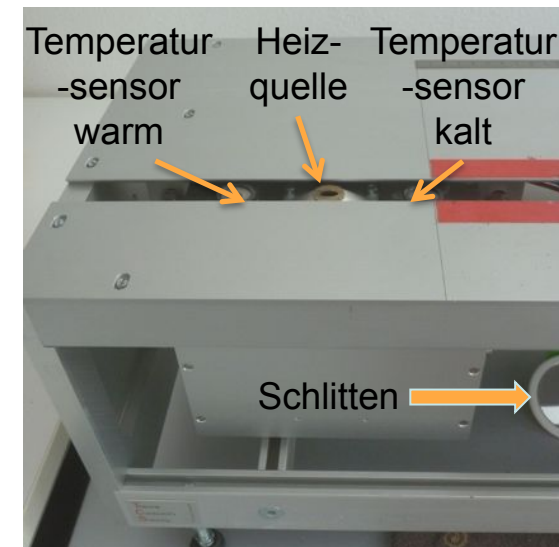
EGRT

Enhanced-Geothermal-Response-Test: Tiefenaufgelöste Temperaturmessung mit Hilfe eines Glasfaserkabel



## Optical Scanning mit Thermal-Conductivity-Scanner (TCS)

- Prinzip der **instationären, berührungslosen Messung** der Wärmeleitfähigkeit nach Prof. Y. Popov.
- **Thermisches Abtasten** der Probenoberfläche mit einer **fokussierten Wärmequelle**, die sichtbares Licht und Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) emittiert.
- **Vor und hinter der Wärmequelle** erfolgt eine **kalte** und **heiße Temperaturmessung** mittels Infrarot-Thermosensoren.
- Aus der **Temperaturdifferenz** lässt sich die **Wärmeleitfähigkeit** berechnen.
- **Aufwand für Probenvorbereitung ist sehr gering.**
- **Tiefschwarzer Acryl-Lackanstrich** für einheitliche Reflektion erforderlich.
- **Messergebnis: „Profil“ der Wärmeleitfähigkeit** der Probe mit Mittelwert, Maximum, Minimum, prozentualer Standartabweichung und Inhomogenitätskoeffizient
- Besonders für **Festgesteine** geeignet.
- Durch Erfassen der vielen Einzelmesswerte auch für anisotrope Proben geeignet.



# Line-Source-Methode (Messgeräte mit Voll-/ Halbraumsonde)

- **Instationäres Messverfahren** (Linienquelle: **Berechnung der Wärmeleitfähigkeit** aus dem Temperaturgradienten einer konstante oder impulsartige **Temperatur-änderung**)
- Die **Linienquelle** wird kontinuierlich geheizt und während der Heizdauer die **Temperatur der Quelle** selbst gemessen.
- **Sensoraufbau:**
  - Die Sonde besteht aus einem in eine Metallhülse eingelassenem Keramikröhrchen, welches von einem Heizdraht schlaufenförmig durchzogen wird.
  - Innen integriert ist der Temperatursensor. Trägt man die Quellentemperatur gegen den Logarithmus der Heizdauer auf, so ist der Bereich, in dem die anfänglichen Kontaktwiderstände überwunden sind, an der Linearität der Kurvensteigung erkennbar.
- **Sensor** muss **Kontakt mit der Probe** haben!
- Besonders für **Lockermaterialien** geeignet.
- Für die Messung muss sich ein **Temperaturgleichgewicht** einstellen => **Geringer Probendurchsatz**.



Bild 26: VLQ-Sonde für die Messung der Wärmeleitfähigkeit (HONARMAND 2002)



Bild 24: HLQ-Sonde für die Messung der Wärmeleitfähigkeit (HONARMAND 2002)

## Gerätetypen und technische Spezifikationen

Verfahren	Gerät/ Hersteller	Technische Spezifikationen
Optical Scanning	- Thermal-Conductivity Scanner (Lippmann & Rauhen)	Messbereich WLF: $0,2 - 25 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , Messgenauigkeit: 3 %, Probendurchsatz: 60 Proben/h, Probenmaterial: Festgesteine Messwerte: Pro 0,1 mm/ Messwert
Vollraumsonden	- TK 04 (Teka) - Kd2 pro (Dacagon) - Isomet (Applied Precision Ltd.) - Solid Therm (GeoTec)	Messbereich WLF: $0,1 - 10 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , $0,2 - 4 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , $0,015 - 2 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , Messgenauigkeit: 5 - 10 %, Probendurchsatz: Messung: 1 - 10 min/ Proben, 2 bis 3 Proben/d Probenmaterial: Lockergesteine/ Böden
Halbraumsonden	- TK 04 (Teka) - Isomet (Applied Precision Ltd.)	Messbereich: $0,3 \text{ bis } 10 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , $0,04 - 6,0 \text{ W/m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , Messgenauigkeit: 5 - 10%, Probendurchsatz: Messung: 1 - 10 min/ Proben, Probenmaterial: Fest-/ Lockergesteine/ Böden



# Ziel des Ringversuches Wärmeleitfähigkeiten

- Nach **DIN 38402 Teil 41** (1984-5) sind **Ringversuche** geeignet, **quantitative Aussagen** über die **Zuverlässigkeit von Analyseverfahren** zu gewinnen.
- Die **Zuverlässigkeit oder Präzision** definiert das **Ausmaß** der **gegenseitigen Annäherung** zwischen **unabhängigen Ermittlungsergebnissen**, die **unter festgelegten Bedingungen** gewonnen werden.
- Insbesondere wird zwischen **Wiederholungsbedingungen** und **Vergleichsbedingungen** unterschieden.

### Wiederholungsbedingungen

- Reproduzierbarkeit der Messergebnisse durch:
  - Mehrfachmessungen mit einem Thermal-Conductivity-Scanner
  - Mehrfachmessungen mit einem Messgerät mit Vollraumsonde
  - Mehrfachmessungen mit einem Messgerät mit Halbraumsonde
  - Mehrfachmessung nach der Anwendung einer Aufbereitungsmethode

### Vergleichsbedingungen

- Vergleichsmessungen mit den unterschiedlichen:
  - Thermal-Conductivity-Scannern
  - Messeräten mit Vollraumsonden
  - Messgeräten mit Halbraumsonden
  - drei Messmethoden
  - laborspezifischen und standardisierten Aufbereitungsmethoden für die Probenkörper (Verfahren: Trocknen, Wassersättigung, Temperaturequilibrium)

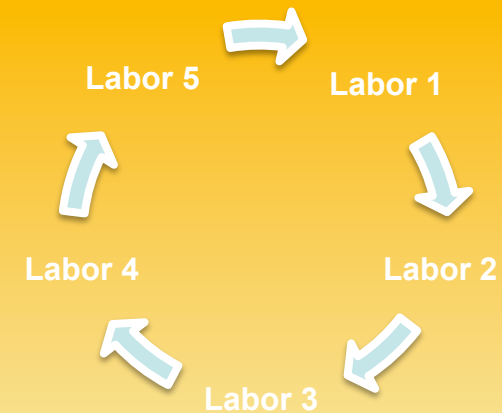


## Durchführung des Ringversuches

- Der Ringversuch wird in ein ringförmiges und sternförmiges Verfahren aufgeteilt.

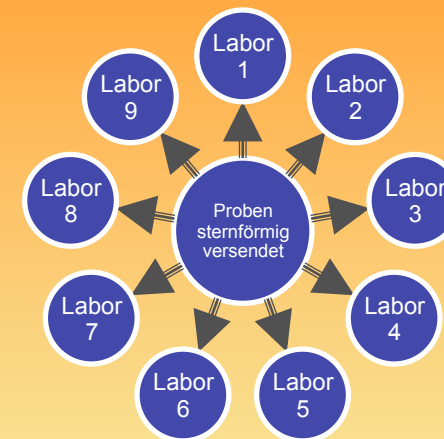
Ringförmiges Verfahren (Wiederholungsbedingungen):

Ein homogener Probenkörper (Glas- oder Kunststoffkörper) wird von allen Teilnehmern unter gleichen definierten Bedingungen mehrfach gemessen.



Sternförmiges Verfahren (Vergleichsbedingungen):

Jedes teilnehmende Labor erhält einen separaten Probenkörper und nimmt die Aufbereitung, Messung und Auswertung nach den jeweiligen laborspezifischen Vorgehensweisen vor. Zusätzlich läuft ein Referenz-Probenkörper mit, der unter gleichen definierten Bedingungen gemessen wird.



## Probenkörper im Ringversuch Wärmeleitfähigkeiten

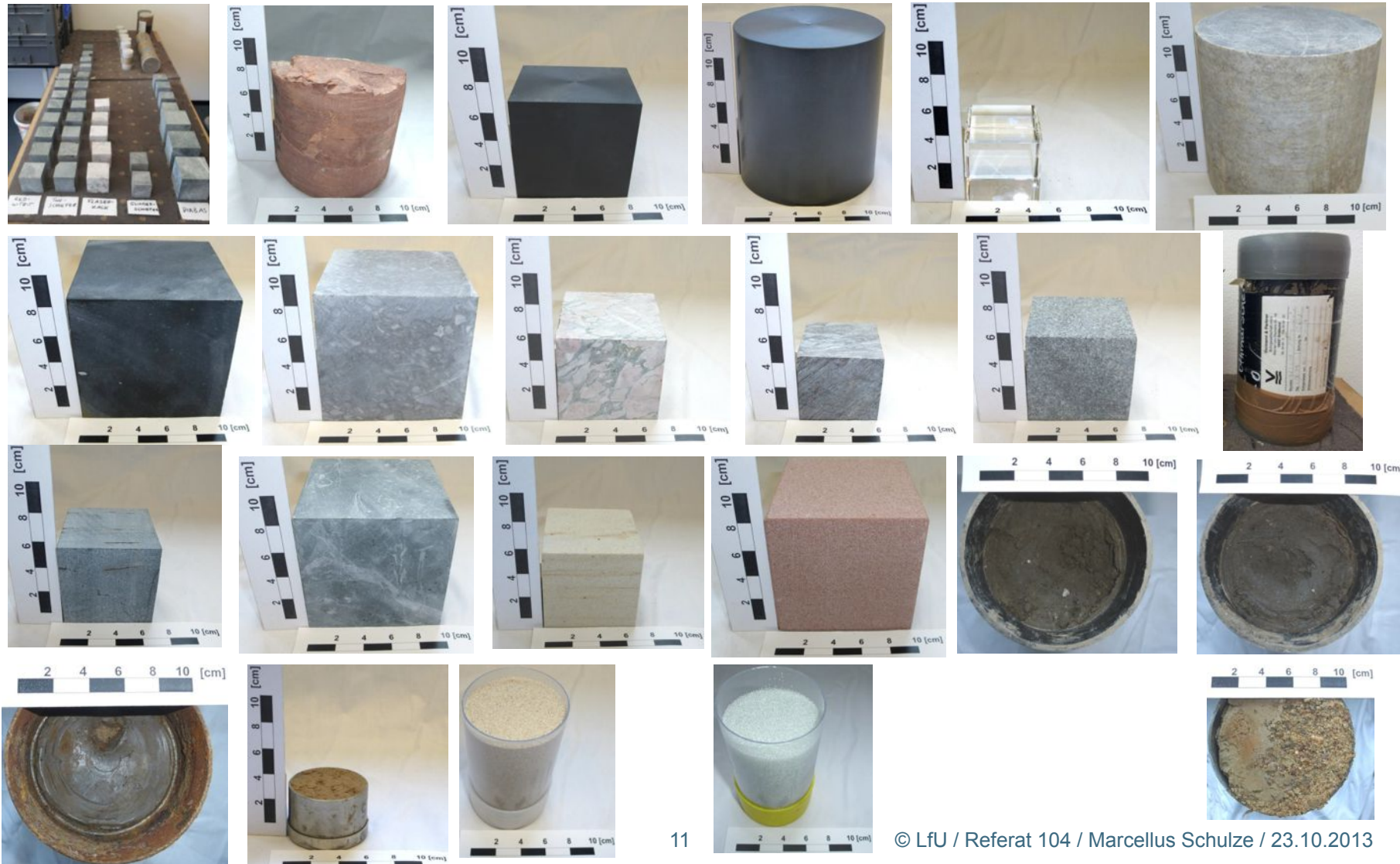
- 22 verschiedene Probenarten im Ringversuch
- 14 Probenkörper sind für die Messung mit dem TCS geeignet, 8 für die Vollraumsonden-Messgeräte und 18 für die Halbraumsonden-Messgeräte



Lfd.-Nr.	Material	Qu	Form	TCS	VLS	HLS	Anzahl	Stern	Ring	Trocken (T), gesättigt (G), lagerfeucht (L)
1	PE-Körper	HE	Q 8x8x8 cm	x	x	x	1		X	L
2	PE-Körper	HE	H=14, Ø=13 cm	x	x	x	1		X	L
3	Glaskörper	HE	Q 5x5x5 cm	x	-	x	1		X	L
4	Tonstein	BY	halb Bohrkern; L=9 cm	x	-	x	1		X	L
5	Anhydrit	TH	H=12,5, Ø=13 cm	x	x	x	1		X	L
6	Basalt	RP	Q 10x10x10 cm	x	x	x	1		X	T
7	Kalkstein	RP	Q 10x10x10 cm	x	x	x	1		X	T
8	Glimmerschiefer	BY	Q 5,8x5,8x5,8 cm	x	x	x	1		X	T
9	Flaserkalk (Devon)	BY	Q 7x7x7 cm	x	x	x	7	X	X	T
10	Tonalit (Redwitz)	BY	Q 7x7x7 cm	x	x	x	7	X	X	T
11	Tonschiefer	BY	Q 7x7x7 cm,	x	x	x	7	X	X	T
12	Diabas (Devon)	BY	Q 7x7x7 cm, Q10x10x10 cm	x	x	x	7	X	X	T
13	Sandstein (RoL)	BY	Q 10x10x10 cm	x	x	x	7	X	X	T + G
14	Sandstein (BS)	RP	Q 10x10x10 cm	x	x	x	7	X	X	T + G
15	Geschiebemergel 26	HH	Bohrkern	-	x	-	1		X	L
16	Geschiebemergel 27	HH	Bohrkern	-	x	-	1		X	L
17	Geschiebemergel BU 1	BE	Bohrkern	-	x	-	1		X	L
18	Klei	HH	Bohrkern	-	x	-	1		X	L
19	Löss	RP	Stechzylinder	-	x	x	6	X	X	T + G
20	Ton	RP	Stechzylinder	-	x	x	1	X	X	L
21	Quarzsand (BM)	BY	Inlinerohre	-	x	x	6	X	X	T + G
22	Glasperlen	HH	0,75-1,00 mm	-	x	x	6	X	X	T + G

Qu = Quelle (Land), TCS = Thermal-Conductivity-Scanner, VLS = Vollraumsonde, HLS = Halbraumsonde, Stern 0 Sternförmiges Verfahren, Ring = Ringförmiges Verfahren

# Probenkörper im Ringversuch Wärmeleitfähigkeiten





# Vorbereitung des Ringversuches

- **Voruntersuchungen:**
  - Probenaufbereitung (z.B. Test des Einbringens von Bohrungen in Gesteine für Vollraumsonden)
  - Wiederholungsmessungen mit dem TCS zur Identifizierung der erforderlichen Messreihen, -durchgänge und Parameter
- **Anleitung** für den Ringversuch erstellt
- **Messprotokolle** für Thermal-Conductivity-Scanner, Messgeräte mit Vollraumsonden und Halbraumsonden entwickelt
- Laufzettel
- **8 Labors** nehmen am Ringversuch teil:
  - 5 Labors mit Thermal-Conductivity-Scanner
  - 6 Labors mit Vollraumsonden Messgerät
  - 2 Labors mit Halbraumsonden Messgerät

Informationen aus den Bund/Länder-Arbeitsgruppen der Staatlichen Geologischen Dienste

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Geologie

**Inhaltsverzeichnis**

- 1. → Einleitung → 5
- 1.1. → Auftrag des BLA-GEO und DK → 5
- 2. → Zweck und Zielsetzung des Ringversuches → 5
- 3. → VO → 5
- 3.1. → 5.18 → Kiesel → 40
- 3.2. → 5.19 → Löss → 41
- 3.3. → 5.20 → Ton → 41
- 3.4. → 5.21 → Quarzsand (Baumarkt) → 42
- 3.5. → 5.22 → Glasperlen → 45
- 6. → Zusammenfassung → 45
- 7. → Literatur → 46

**Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1: Proben im ringförmigen Verfahren für den TCS → 8
- Abbildung 2: Proben im ringförmigen Verfahren für TCS → 8
- Abbildung 3: Beispiel für Beschriftung der Probekörper und Aufzeichnung des → 8

Klicken Sie hier, um eine Kopfzeile hinzuzufügen

Flaserkalk - Sternförmig verzweigte Proben	
Probenbezeichnung:	Flaserkalk
Form (Probekörper):	Quader - 7 x 7 x 7 cm
Messgerät:	TCS
Probenaufbereitung erfolgt nach vorgegebener Methode:	Ablauf Probenaufbereitung und Messung
Teilnehmer:	1. Beschriftung der Probekörper / Anzeichnung Messbereich 2. Fotografieren der Messbereiche (jede Seite)
Gewicht vor der Trocknung [g]:	3. Messbereichschneiden
Trocknung für 24 Stunden Temperatur: 105 °C	4. Trocknung der Probekörper bei 105 °C, für 24 Stunden 5. Probekörper vollständig abkühlen lassen (optimal im Eszikkator)
Gewicht nach der Trocknung [g]:	6. Erste Messreihe durchführen 7. nach 24 Stunden 1. Wiederholungsmessung durchführen 8. nach weiteren 24 Stunden 2. Wiederholungsmessung durchführen → Optional 3 weitere Messreihen mit anderem Standard
Erfolgte die Abkühlung und Lagerung der Proben im Eszikkator? Ja / Nein	
Fall nein, kurze Beschreibung:	
Messprotokoll TCS-Gerät	
Messreihe 1 - Standard a+b [W/(m·K)]:	*1 Eine 2. Messreihe ist nur optional erforderlich
Standard a [W/(m·K)]:	z.B. folgende Standard sind zum TCS Gerät vorhanden: 1,35 [W/(m·K)] und 3,85 [W/(m·K)]
Standard b [W/(m·K)]:	WLF einer Probekörper beträgt 1,9 [W/(m·K)], dann Messung der 1. Messreihe mit dem Standard 1,35 [W/(m·K)] und die 2. Messreihe mit dem Standard 3,85 [W/(m·K)] durchführen.
Messreihe 2*1 - Standard a+b [W/(m·K)]:	
Standard a [W/(m·K)]:	
Standard b [W/(m·K)]:	Sollwert Referenzkörper [W/(m·K)]:

Klicken Sie hier, um eine Fußzeile hinzuzufügen



# Aufbereitung der Probenkörper

## Thermal Conductivity Scanner



● Probenauswahl, Beschrieb und Dokumentation

● Aufbereitung: Sägen, Lackieren, Wägung, Erfassen von Zusatzparametern

● Trocknung, Wägung, Temperierung und Messung

● Wassersättigung und Wägung

● Messung

● Probenauswahl, Beschrieb und Dokumentation

● Aufbereitung: Bohren, Wägung, Erfassen von Zusatzparametern

● Trocknung, Wägung, Temperierung und Messung

● Wassersättigung und Wägung

● Messung



## Nadelsonde

## Vergleichsmessungen TCS Labor 1 und Labor 2



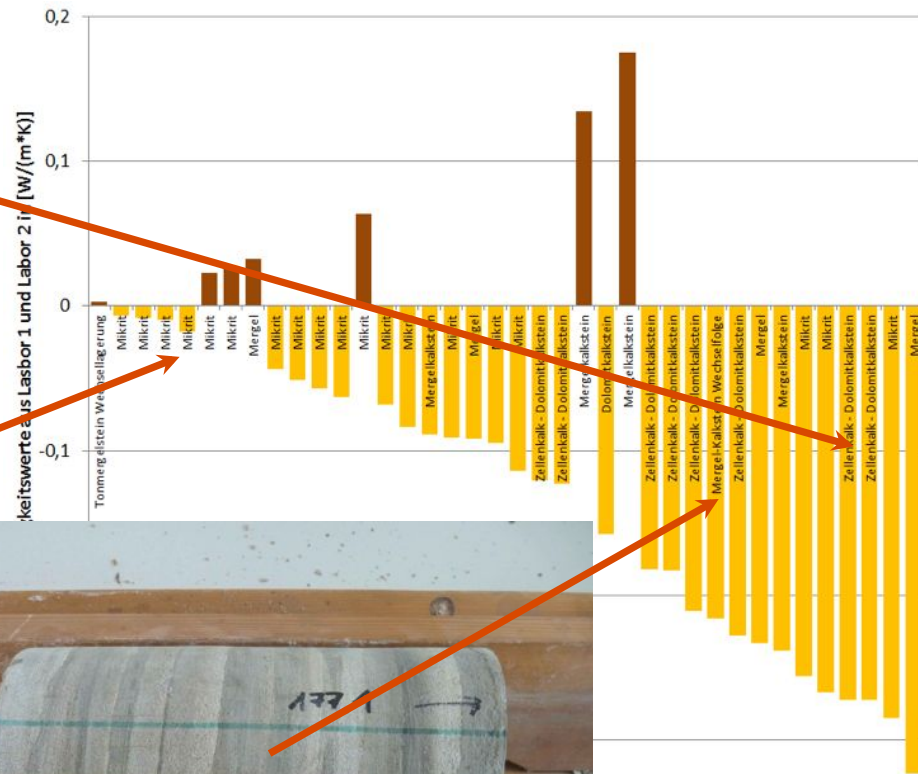
von  
niten) im  
nal-

er

maximale Abweichung: 0,020 W/(m·K).



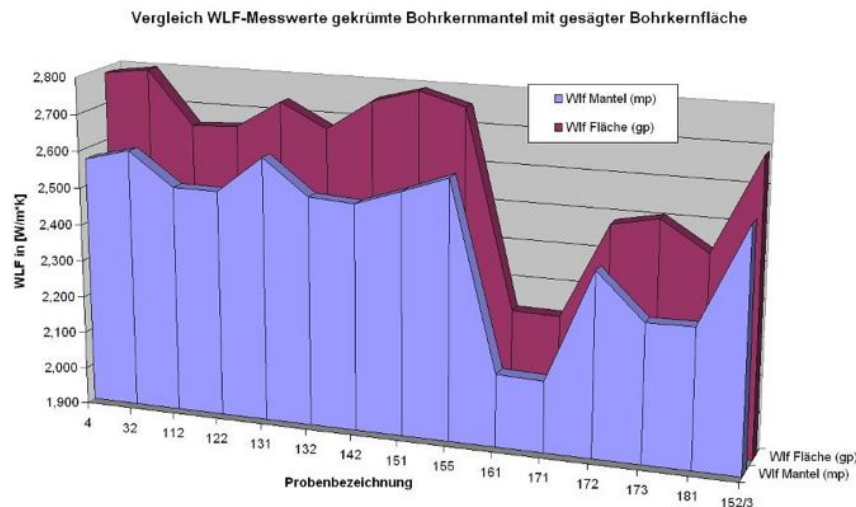
and



## Vergleich WLF Messwerte Bohrkernmantel vs. gesägte ebene Fläche

Proben-Bez	Wlf Mantel (mp)	Wlf Fläche (gp)	Differenz	Prozentuale Abweichung
4	2,572	2,783	0,211	8,2
32	2,603	2,799	0,196	7,5
112	2,514	2,656	0,142	5,6
122	2,513	2,663	0,150	6,0
131	2,615	2,737	0,122	4,7
132	2,520	2,674	0,154	6,1
142	2,512	2,757	0,245	9,8
151	2,554	2,791	0,237	9,3
155	2,601	2,757	0,156	6,0
161	2,097	2,230	0,133	6,3
171	2,092	2,228	0,136	6,5
172	2,395	2,484	0,089	3,7
173	2,273	2,508	0,235	10,3
181	2,275	2,430	0,155	6,8
152/3	2,548	2,690	0,142	5,6
<b>Min</b>	2,1	2,2		<b>3,7</b>
<b>Max</b>	2,6	2,8		<b>10,3</b>
<b>Mittel</b>	2,4	2,6		<b>6,8</b>

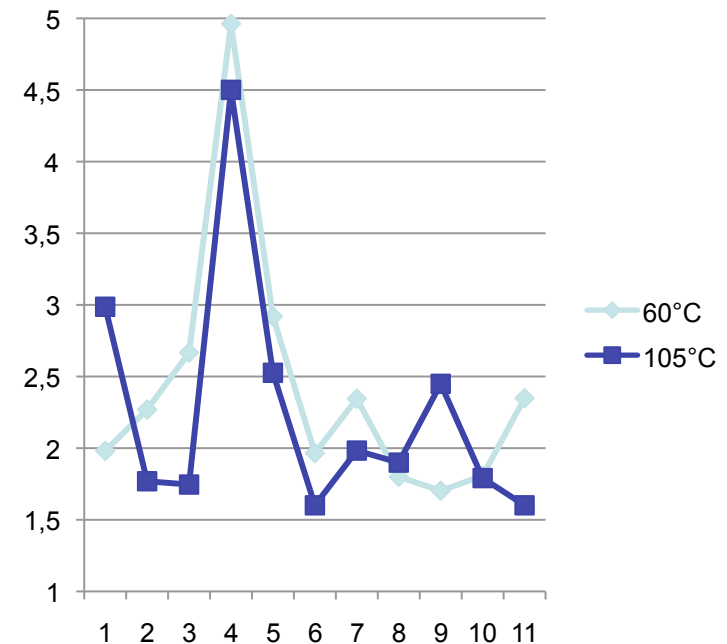
- Vergleich der Wärmeleitfähigkeitsmessung auf der gekrümmten und planen Oberfläche eines mikritischen Kalks (Solnhofner Formation) mit dem Thermal-Conductivity-Scanner
- Randbedingung: Gleicher Abstand der Probenoberfläche zum Messsensor.
- Ergebnis: Wärmeleitfähigkeitsmesswerte auf gekrümmten **Bohrkernmantel** sind im Mittel **6,8 % kleiner** als auf der **gesägten Fläche** durch Bohrkerntiefe (**max. 0,25 W/(m\*K)**)





# Vergleich Trocknungstemperaturen 60°C und 105°C TCS

- **Unterschiedliche Temperaturangaben in Normen** für die Trocknung von Gesteinsproben:
  - DIN EN 1936 (1999) „Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Reindichte, der Rohdichte, der offenen Porosität und der Gesamtporosität“: 70°C
  - DIN EN 13755 (2008): „Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Wasseraufnahme unter atmosphärischem Druck“: 70°C
  - DIN 18121-1 (1998): „Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Wassergehalt, Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung“: 105°C
- In DIN 18121-1 erfolgt der **Hinweis**, dass **bei höheren Temperaturen aus den Tonmineralen Kristallwasser ausgeschieden wird**.
- Zudem können Temperaturen über 70°C bei hohem Anteil **organischer Bestandteile** in der Probe zur **Oxidation** führen.
- **Vorversuche** haben ergeben, dass **die Höhe der Temperatur** bei der Trocknung **Auswirkungen auf Wärmeleitfähigkeit** hat.

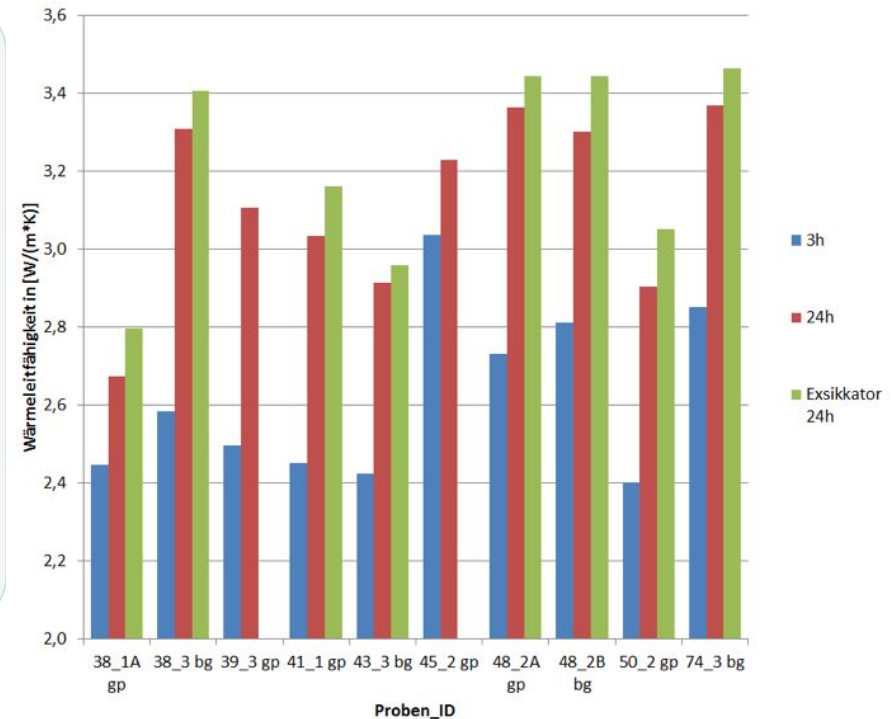


Bohrung Marbach 5830BG000040



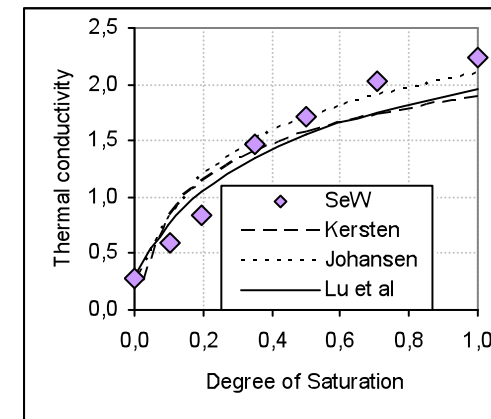
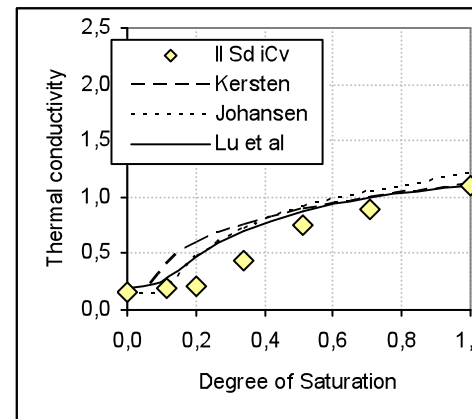
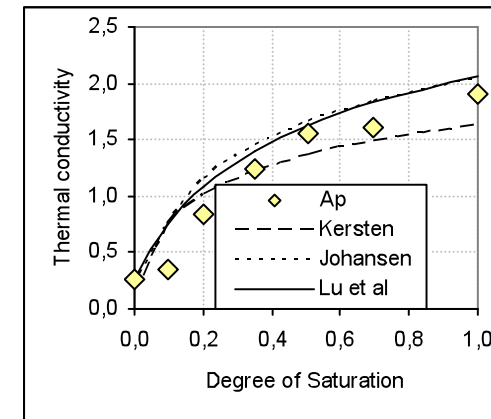
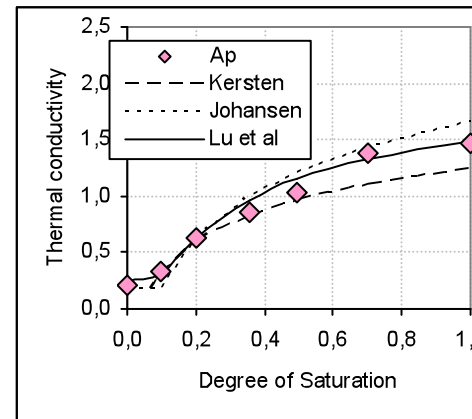
## Vergleich Wasser Sättigung im Wasserbad vs. Exsikkator

- **Unterschiedliche Verfahren für die Wassersättigung der Gesteine:**
  - DIN EN 13755 (2008): „Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Wasseraufnahme unter atmosphärischem Druck“: Sättigung im Wasserbad bis zur Gewichtskonstanz.
  - Exsikkator unter Anlagen eines Vakuums.
- **Deutliche Abweichungen** treten bei **zu kurzer Dauer** der Wasser Sättigung auf.



## Abhängigkeit Wärmeleitfähigkeit und Wassergehalt

- Es besteht eine **starke Abhängigkeit** der **Wärmeleitfähigkeit** vom **Wassergehalt**.
- Bei **Bodenproben** und **Lockergesteinen** ist **Wassersättigung einstellbar**.
- Für **Festgesteine** wurde die **Wärmeleitfähigkeit** bisher nur von **trockenen** und oder **100% gesättigten Gesteinen** gemessen.
- **Abhängigkeit** der **Wärmeleitfähigkeit** von **weiteren Parametern**: Porosität, Dichte, Mineralbestand, etc.
- Diese **Parameter** werden im **Ringversuch** bestimmt.



# Methodenvergleich

Y.A. Popov et al. / Geothermics 28 (1999) 253–276

269

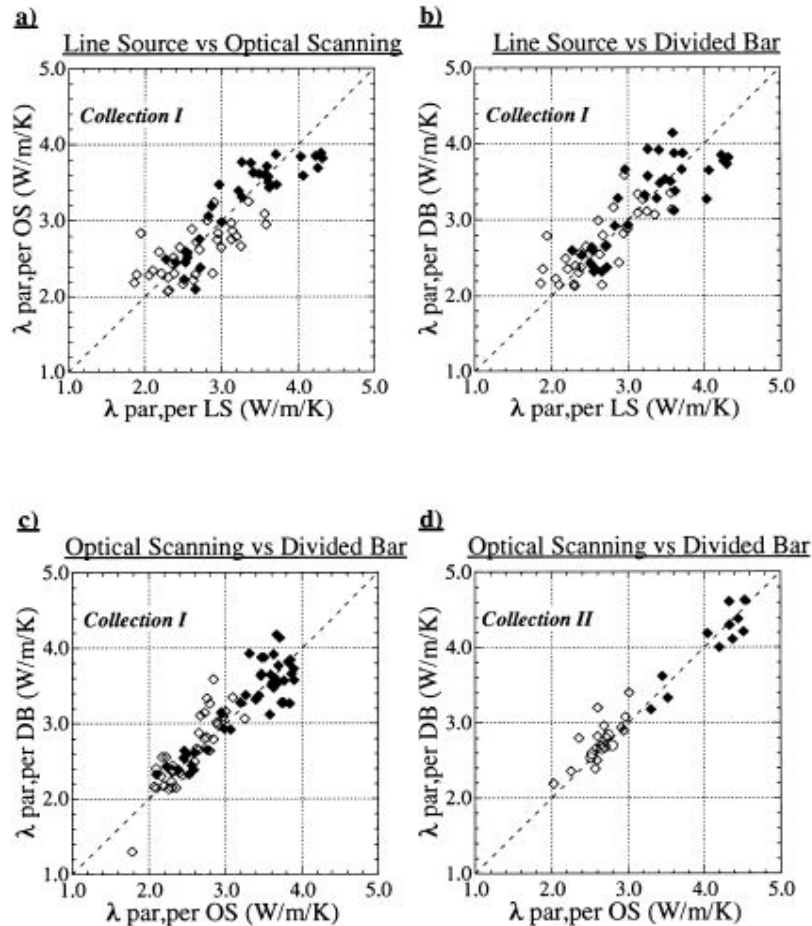
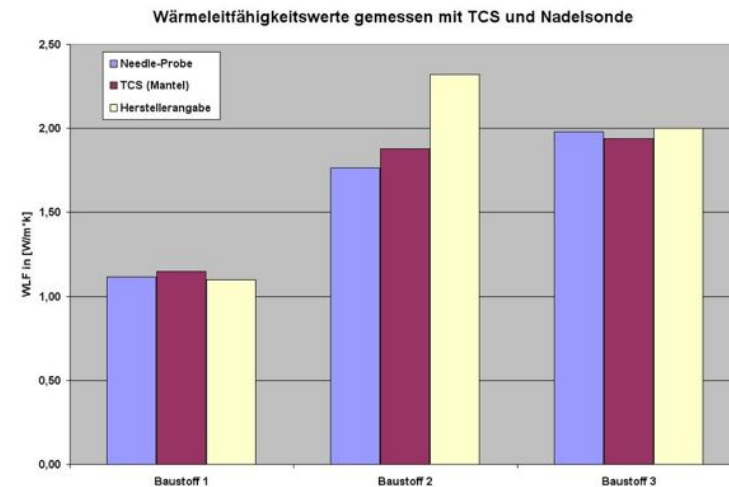


Fig. 8. Comparison of results. (a)–(c) Collection I; (d) Collection II; solid diamonds: thermal conductivity perpendicular to the foliation ( $\lambda_{\text{PER}}$ ); open diamonds: thermal conductivity parallel to the foliation ( $\lambda_{\text{PAR}}$ ); open circles: isotropic samples.

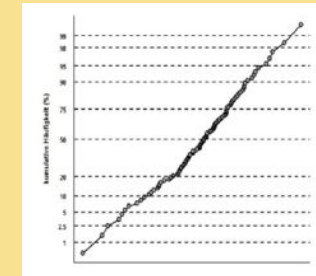
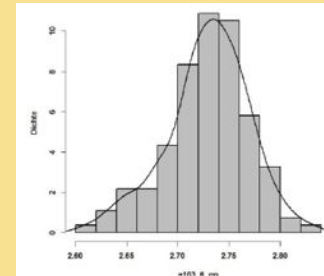
- Prof. Y. Popov (Moskau Universität) hat in einer Veröffentlichung in der Geothermics 1999 **keine signifikanten Unterschiede** in der Wärmeleitfähigkeitsbestimmung mit dem TCS, der Halbraumsonde und den Divided-Bars feststellen können.
- Eigene Messung LfU mit **Vollraumsonde** und TCS haben **keine relevanten Unterschiede** gezeigt.



## Auswertung TCS: Statistische Verteilung der Einzelmesswerte

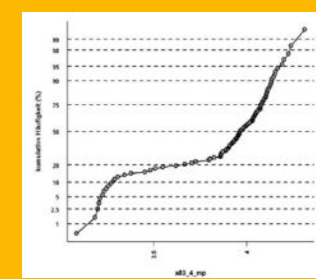
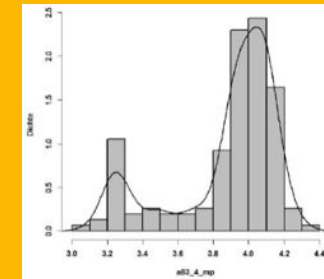
### Normalverteilte Funktion der Einzelmesswerte

Mittel	Median	Modalwert	Kurtosis	Shapiro-Wilk
2,729 W/m*K	2,732 W/m*K	2,73 W/m*K	0,33	0,13



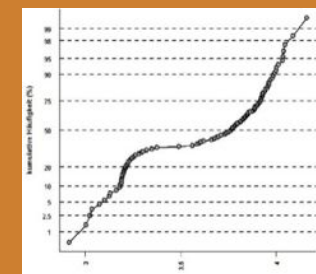
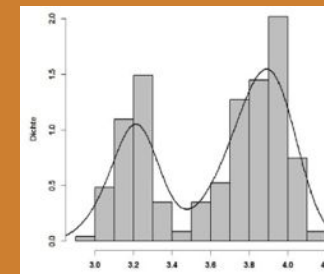
### Annähernd normal verteilte Funktion der Einzelmesswerte

Mittel	Median	Modalwert	Kurtosis	Shapiro-Wilk
3,872 W/m*K	3,966 W/m*K	4,05 W/m*K	0,21	$2,6 \cdot 10^{-12}$



### Bimodal verteilte Funktion der Einzelmesswerte

Mittel	Median	Modalwert	Kurtosis	Shapiro-Wilk
3,624 W/m*K	3,766 W/m*K	3,95 W/m*K 3,25 W/m*K	-1,38	$1,64 \cdot 10^{-12}$



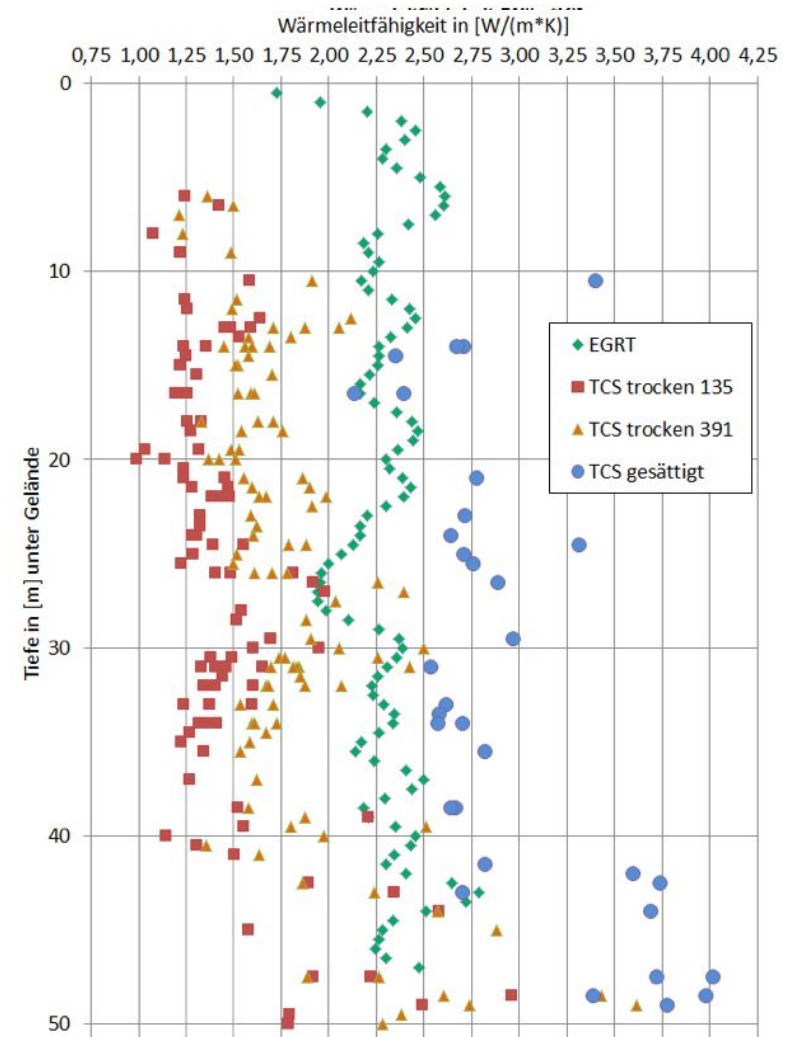


# Zusammenfassung

- In den vergangenen Jahren wurden **verstärkt Wärmeleitfähigkeitsmessungen** mit **unterschiedlichen Geräten, Methoden und Aufbereitungsprozessen** durchgeführt.
- Es **existiert** in Deutschland **keine Norm** für die **Durchführung von Wärmeleitfähigkeitsmessungen** oder für die **Messgeräte**.
- Um eine **Vergleichbarkeit der Messverfahren und Messwerte zur Wärmeleitfähigkeit der Gesteinen** herbeiführen zu können, ist ein **Ringversuch** notwendig.
- **Ziel des Ringversuches** ist es, eine **qualitative und quantitative Aussage** über die **Zuverlässigkeit der Messverfahren und Messergebnisse** zu erhalten.
- Die **Voruntersuchungen zum Ringversuch** haben ergeben, dass **Abweichungen durch verschiedene Effekte in unterschiedlichen Größenordnungen** auftreten.
- Um **zukünftig eine einheitliche Vorgehens** für die **Durchführung von Wärmeleitfähigkeitsmessungen** zu erreichen und dadurch die **Unsicherheiten und Abweichungen zu minimieren** oder zu vermeiden, erscheint die **Erarbeitung eines Leitfadens zur Durchführung der Wärmeleitfähigkeitsmessungen als Ergebnis des Ringversuches** zweckmäßig.

## Ausblick: Übertragbarkeit der Labormesswerte auf die realen Untergrundbedingungen?

- Eine **Validierung** der **Labormesswerte** an den **realen Wärmeleitfähigkeitswerten im Untergrund**.
- Im **Labor** werden lediglich der **konduktive Anteil des Wärmetransportes** ermittelt. **Wie hoch ist der konvektive Anteil?**
- TRT (Thermal-Response-Test) oder **besser noch EGRT** (Enhanced-Geothermal-Response-Test) sind **für eine Validierung geeignet**.





Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!