

Thermal-Response-Test (TRT) und Temperaturmessung als Grundlage der Planung großer Erdwärmesondenanlagen



Dipl.-Geologe Marcus Richter
HGC Hydro-Geo-Consult GmbH



Gliederung

1. TRT – Grundlagen und Anwendungsgebiete
2. Testablauf, Auswertung und Ergebnisse
3. Erfahrungen und Besonderheiten
4. Einflussfaktor Untergrundtemperatur

1. TRT – Grundlagen und Anwendungsgebiete

- Primärer geologischer Parameter für die fachgerechte und nachhaltige Dimensionierung von Erdwärmesondenanlagen
 - *Wärmeleitfähigkeit des anstehenden Gebirges*
- Weiterhin u. a. bedeutsam:
 - spezifische Wärmekapazität (gesteinsabhängig)
 - topographische Lage (Untergrundtemperatur)
 - geohydraulische Verhältnisse
 - natürlicher Wärmefluss („Maß“ für teufenabhängige Temperaturzunahme)

- TRT als Verfahren zur standort-/ sondenspezifischen Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit (Integral sämtlicher Einflussfaktoren → Gestein + Grundwasser)
- Ausführung als „standard – TRT“ oder teufenorientiert (je nach Aufgabenstellung und Geologie)



Primäre Anwendungsgebiete

- Erdwärmesondenanlagen und Energiepfähle
- Anlagen mit einer Heiz-/Kühlleistung der Wärmepumpe größer ca. 30 kW

Hintergrund

- Wärmeleitfähigkeiten der Gesteine in der Literatur / VDI 4640 weisen sehr hohe Variationsbreite auf



Vermeidung der Anlagenüber-/unterdimensionierung

- Entzugsleistungen der VDI 4640 in W/m sind auf Großanlagen nicht übertragbar

VDI 4640 (Teil 2):

„ Bei einer größeren Anzahl von Einzelanlagen, bei Anlagen mit mehr als 2400 projektierten Jahresbetriebsstunden, bei Anlagen mit zusätzlichen Wärmequellen/-senken (z.B. Kühlung) und bei Anlagen mit einer Wärmepumpen-Gesamtheizleistung >30 kW muss die korrekte Anlagenauslegung durch Berechnungen nachgewiesen werden.“

Für Erdwärmesondenanlagen mit einer Heizleistung größer 30 kW oder solchen, bei denen die Voraussetzungen für eine Anwendung der spezifischen Entzugsleistungen nicht gegeben sind, muss die korrekte Dimensionierung der Erdwärmesonden gemäß VDI 4640-2 durch Berechnungen nachgewiesen werden. Dies erfolgt üblicherweise durch die Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes mittels **Thermischen Response Test (TRT)** und der Simulation des Betriebs der geplanten Erdwärmesondenanlage mittels Spezialsoftware.

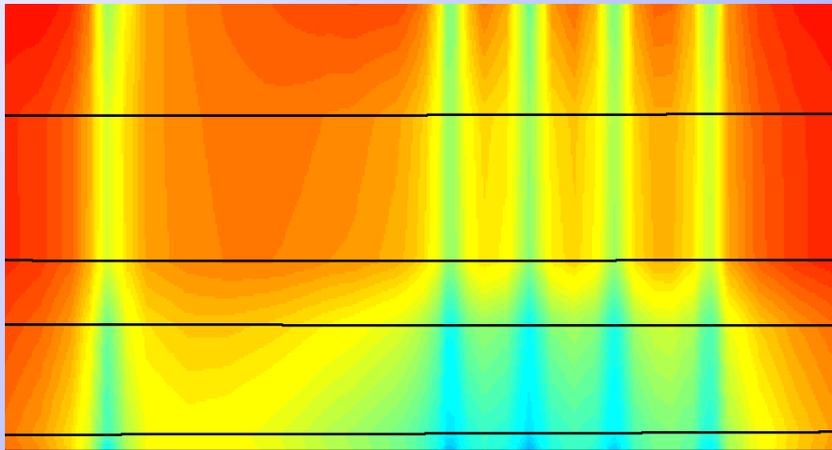
Nicht anwendbar sind die spezifischen Entzugsleistungen gemäß VDI 4640-2 bei einer größeren Anzahl kleiner Anlagen auf einem begrenzten Areal, z. B. in Neubaugebieten. Auch für einen frostfreien Betrieb von Erdwärmesonden, wie er in Hessen für bestimmte Gebiete gefordert wird, sind die Voraussetzungen für eine Dimensionierung anhand der spezifischen Entzugsleistungen der VDI 4640-2 nicht gegeben.

Aufgrund einer gegenseitigen thermischen Beeinflussung ist der **Abstand zwischen Erdwärmesonden** eine wichtige Planungsgröße. Hierbei muss zwischen dem Abstand der Sonden innerhalb einer Anlage und dem Abstand zweier oder mehrerer benachbarter Anlagen unterschieden werden.



Warum?

- **Gegenseitige Beeinflussung der Sonden (Verringerung der Entzugsleistung)**
- **Pauschale Ansätze der VDI 4640 berücksichtigen die Spezifik der Großanlagen nicht**
- **Mögliche Umweltbeeinflussung (Aufheizung / Abkühlung → Auswirkung auf Nachbarn?)**
- **Fehlende Kenntnis der geothermischen Untergrundparameter kann gravierenden Einfluss auf den Anlagenbetrieb haben**



Schnittdarstellung durch ein
Sondenfeld mit 5 Erdwärmesonden
(Modelliert mit FEFLOW 5.4)

2. Testablauf, Auswertung und Ergebnisse

Fertig gestellte
Sondenbohrung,
Verpressung
weitgehend
ausgehärtet



Messung
„Nulltemperatur“
bzw. T-Log



Durchführung
TRT (ggf.
teufenorientiert),
bei Bedarf
nachfolgende T-
Logs



Prinzipielle Verfahrensweise

Temperaturaufprägung auf
unbeeinflusstes Gebirge

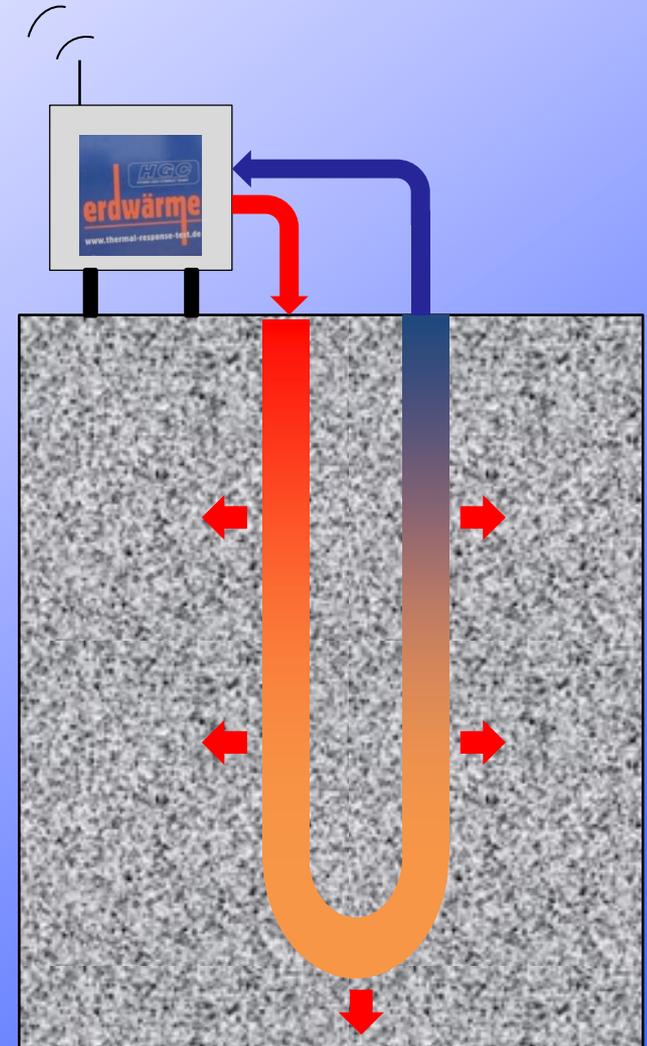


Messung der „Antwort“ des Gebirges

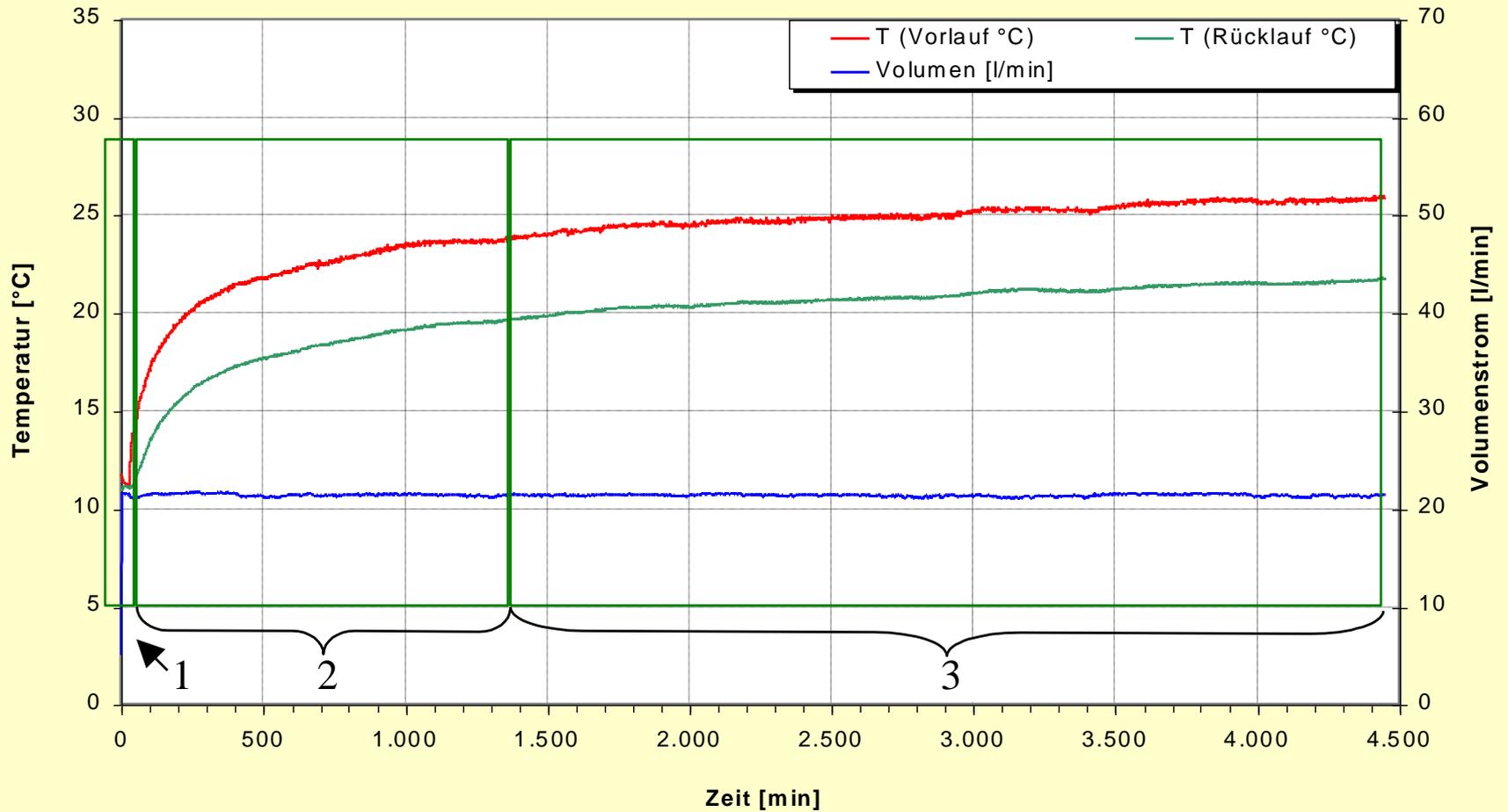


Berechnung der effektiven
Wärmeleitfähigkeit (W/m K), **keine**
Aussagen zu Entzugsleistung in W/m

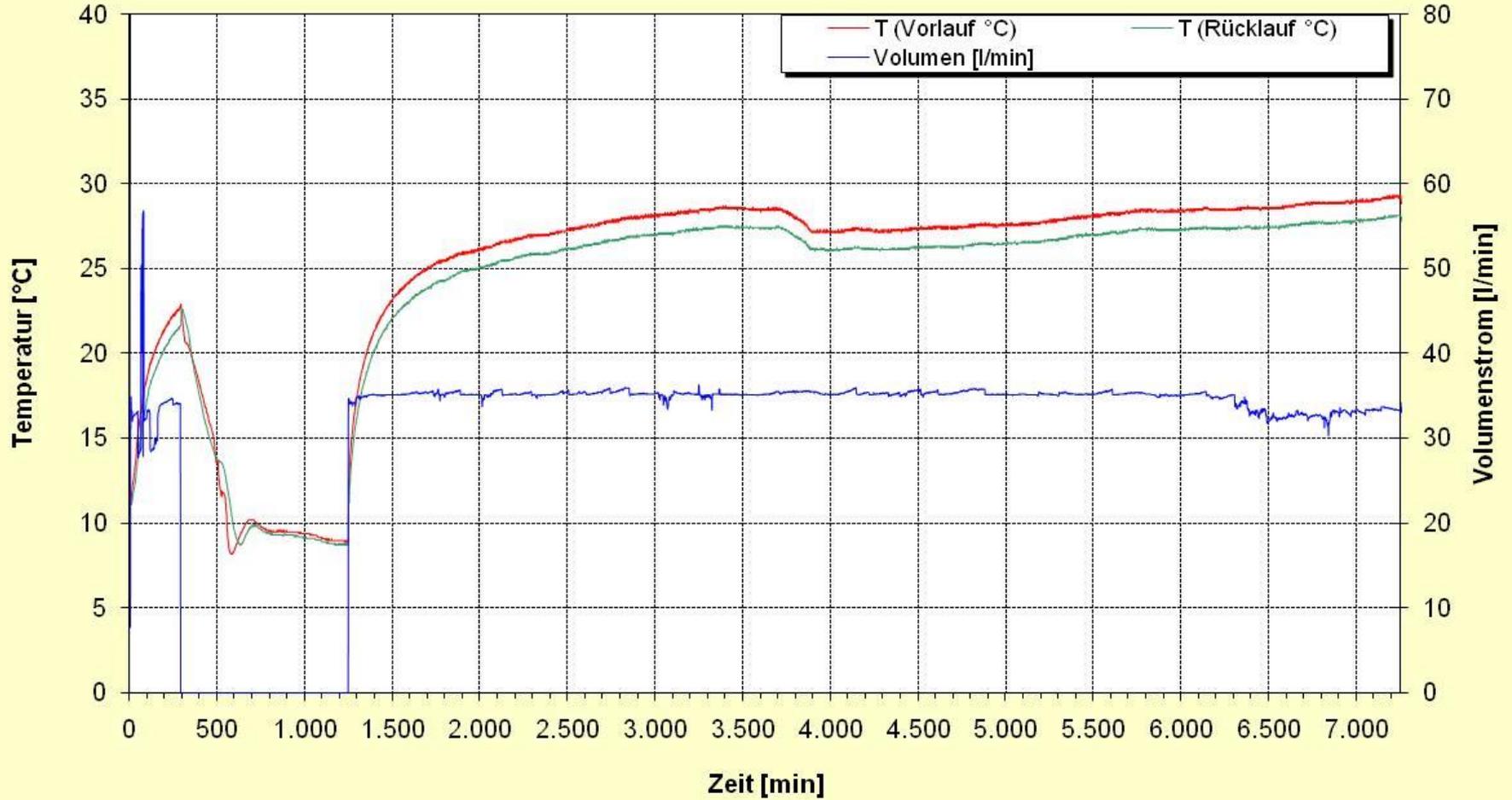
Grundlage der Auswertung sind
zuverlässige Angaben zu Bohrteufe,
Bohrablauf, Schichtenverzeichnis und
Verpressung



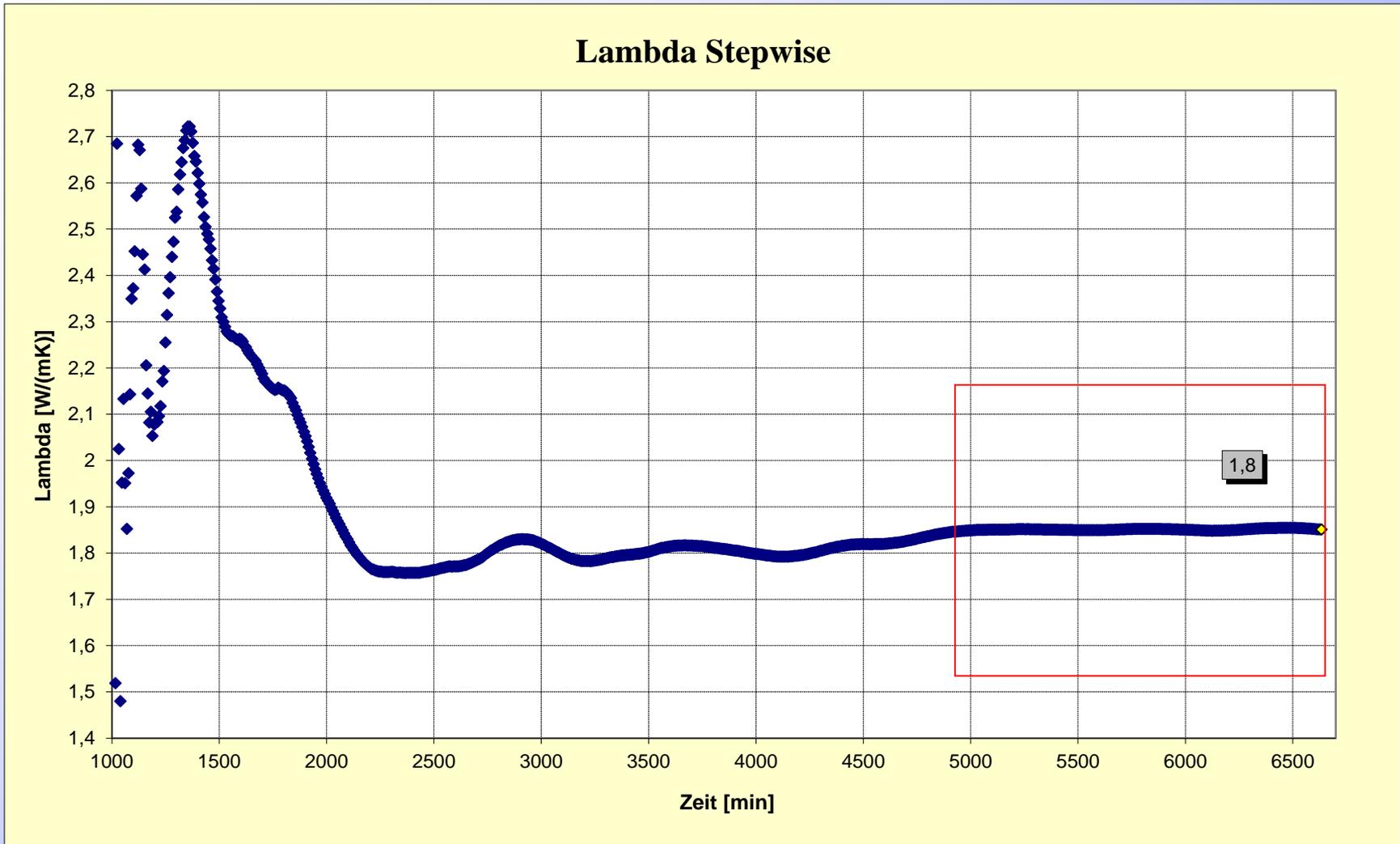
Datenaufzeichnung Thermal-Response-Test



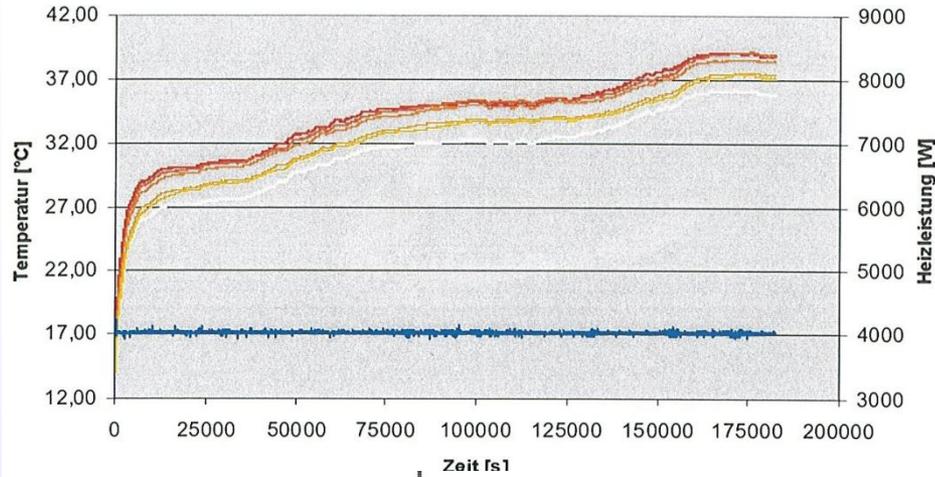
Datenaufzeichnung Thermal-Response-Test



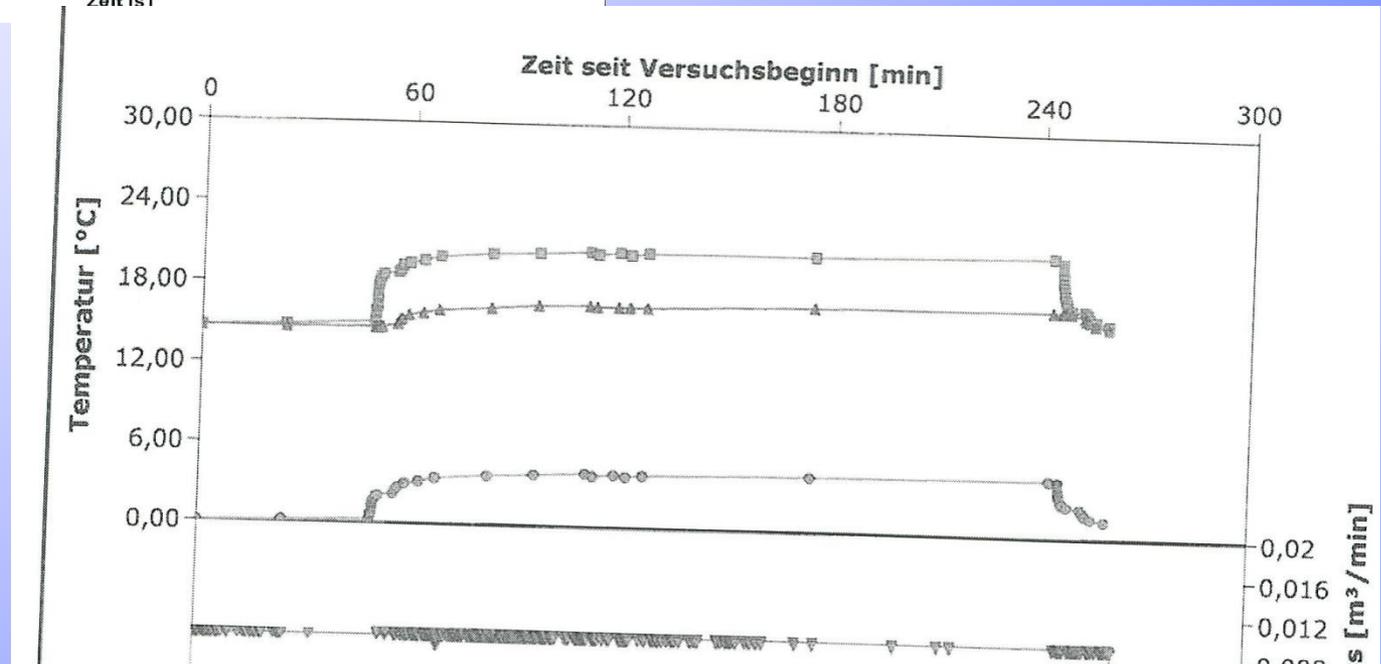
Lambda Stepwise



Stufenweise TRT-Auswertung



... so nicht ...



Untergrund	Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)		Vorlauftemperatur [°C]	Rücklauftemperatur [°C]	Durchfluss [m³/min]	
	Ansatz gemäß VDI 4640	Messwert				
Kies, trocken	0,4	3,1 – 4,7			0,0087	
Kies, nass	1,8		333			0,0087
Sand, trocken	0,4	3,1 – 4,7			0,009	
Sand, nass	2,4		167			0,0087
			167			0,009
			33			0,009
		33			0,009	
		33			0,0093	
		178			0,0093	
		179	29	18,70	14,30	
		180	29,6167	18,90	14,60	
		181	29,95	19,10	14,70	
		182	30,6167	19,30	14,90	
		183	30,7333			0,009
		184	30,75			0,009
		185	31,5833			0,009
		186	31,6			0,009
		187	31,8			0,009
		188	31,8167			0,009
		189	32,2667			0,009
		190	32,2833			0,009
		191	32,4			0,009
		192	32,4333			0,009
		193	32,5167	19,60	15,10	
		194	32,8333			0,009
		195	32,85			0,009
		196	33,25			0,009
		197	33,2667			0,009
		198	33,6			0,009
		199	33,6167			0,009
		200	33,65			0,009

... so nicht

Weiterer Ergebnisparameter des TRT:

→ spezifischer Bohrlochwiderstand

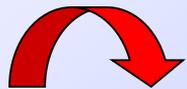
• Maß für die „Qualität“ der Verpressung

Geringe Bohrlochwiderstände werden

z.B. erreicht durch:

• sorgfältige und fachgerechte Verpressung

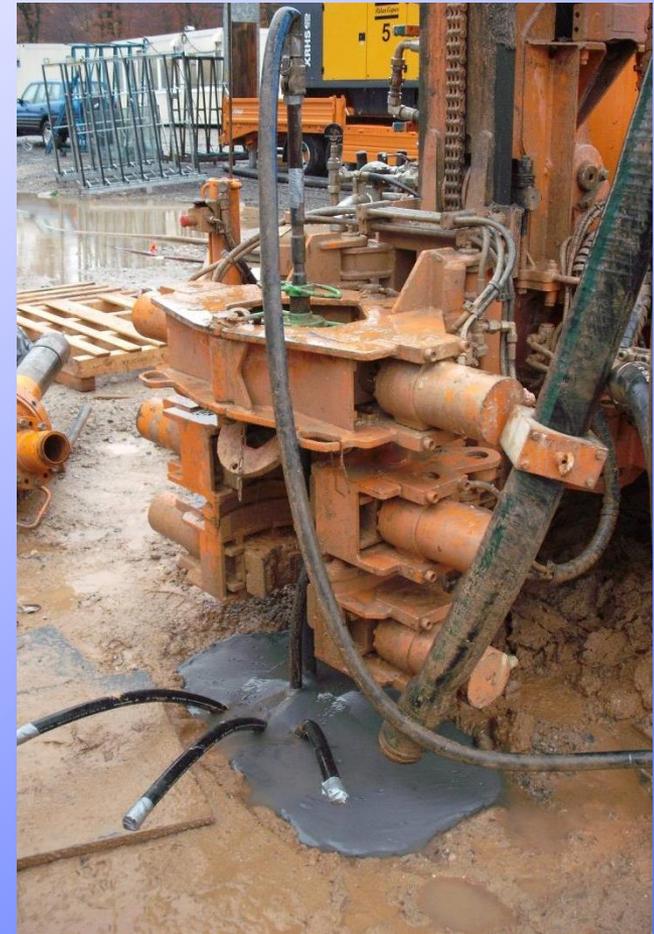
• Einsatz hochwertiger Verpressmaterialien



→ hohe Wärmeleitfähigkeit

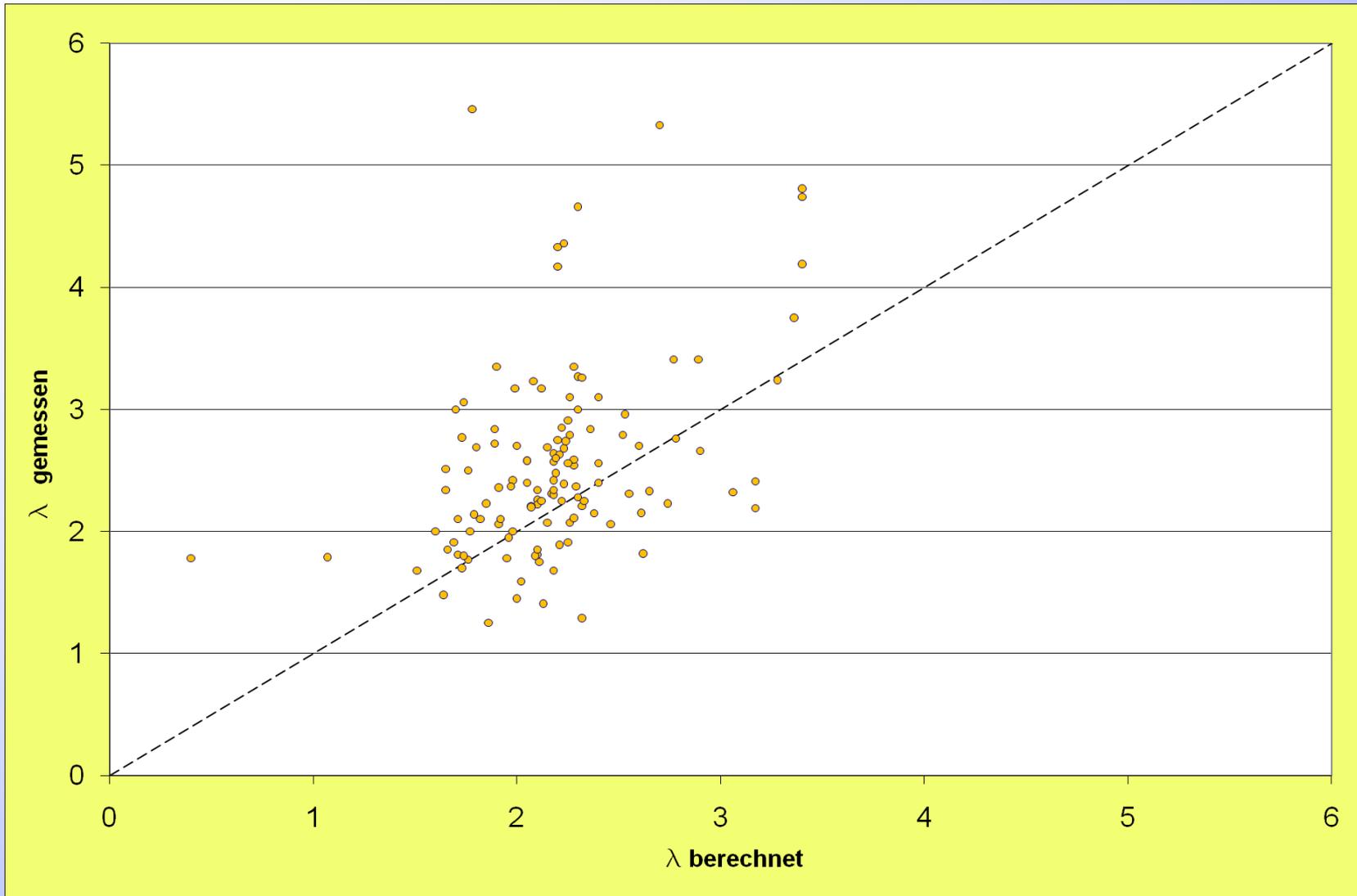
→ geringe Setzung der Suspension

→ Homogenität der Masse

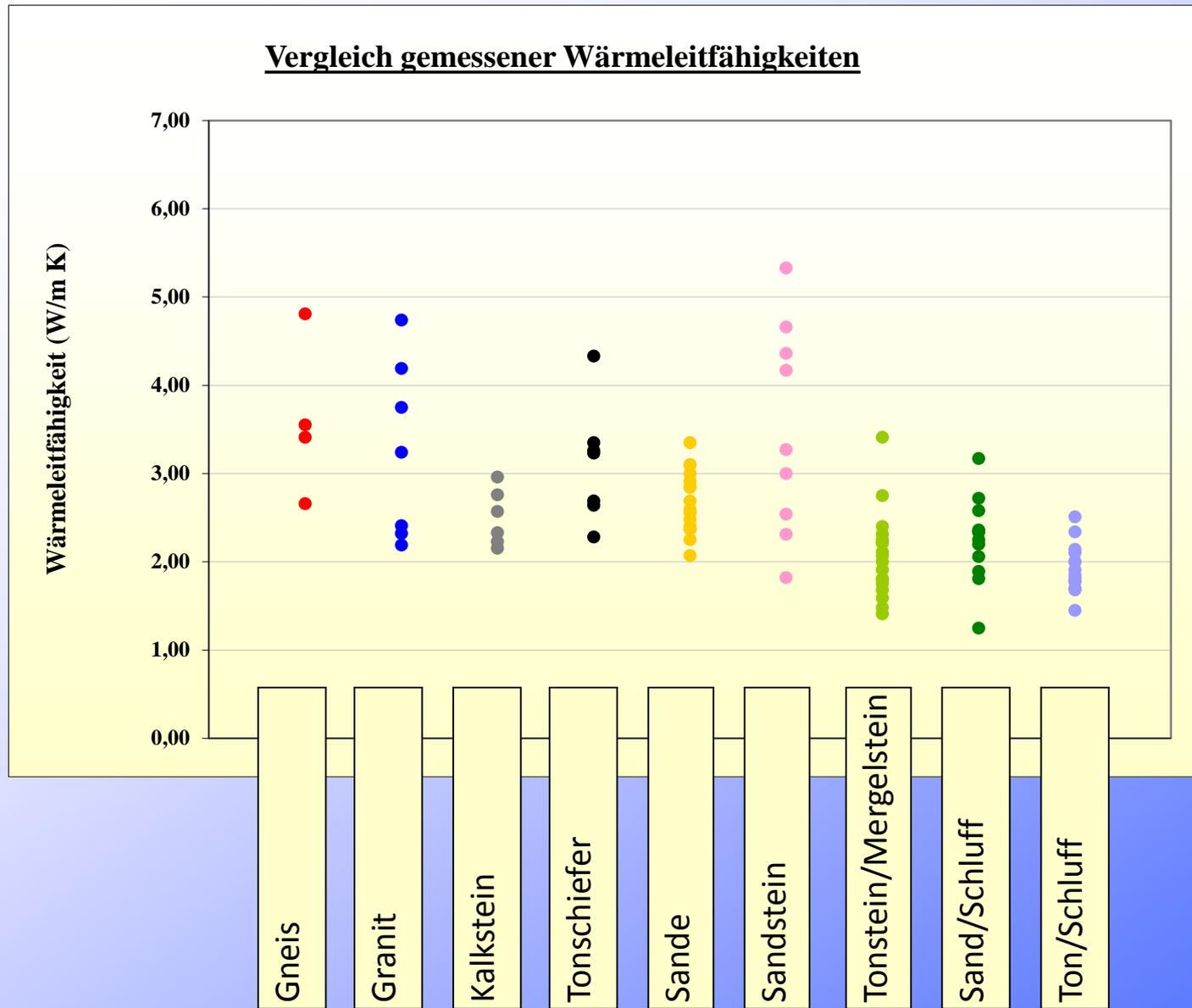


*Geringer Bohrlochwiderstand → guter thermischer Anschluss
der Sonde an das Gebirge → Einsparung von Bohrmeteren*

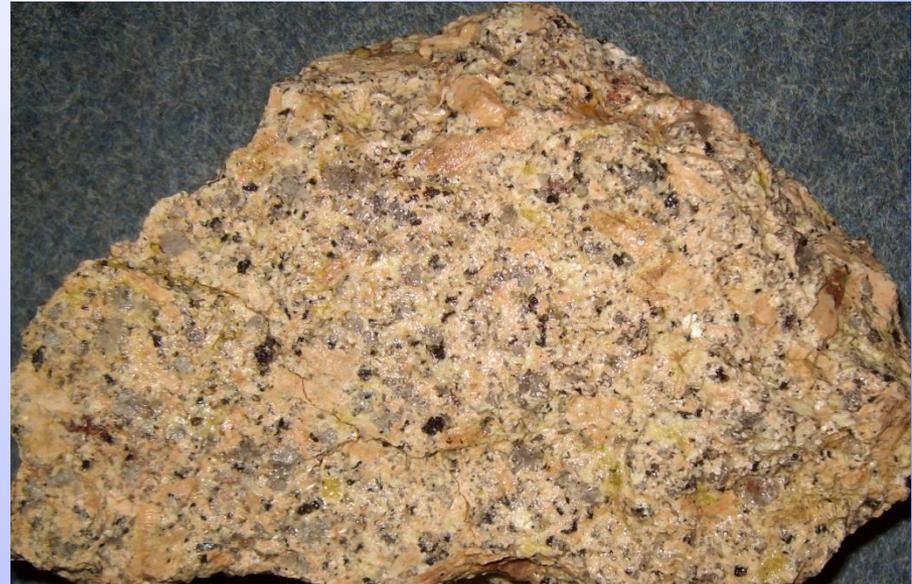
3. Erfahrungen und Ergebnisse



Vergleich gemessener Wärmeleitfähigkeiten



Mineral	λ [W/m K]
Quarz	6,0 - 10,5
Feldspäte	≈ 2
Biotit	1,2 - 2,0
Muskovit	1,7 - 3,9
Hornblende	$\approx 2,7$
Pyroxene	$\approx 4,3$
Turmalin	$\approx 4,5$
Gips	$\approx 1,2$
Pyrit	19,2 - 39

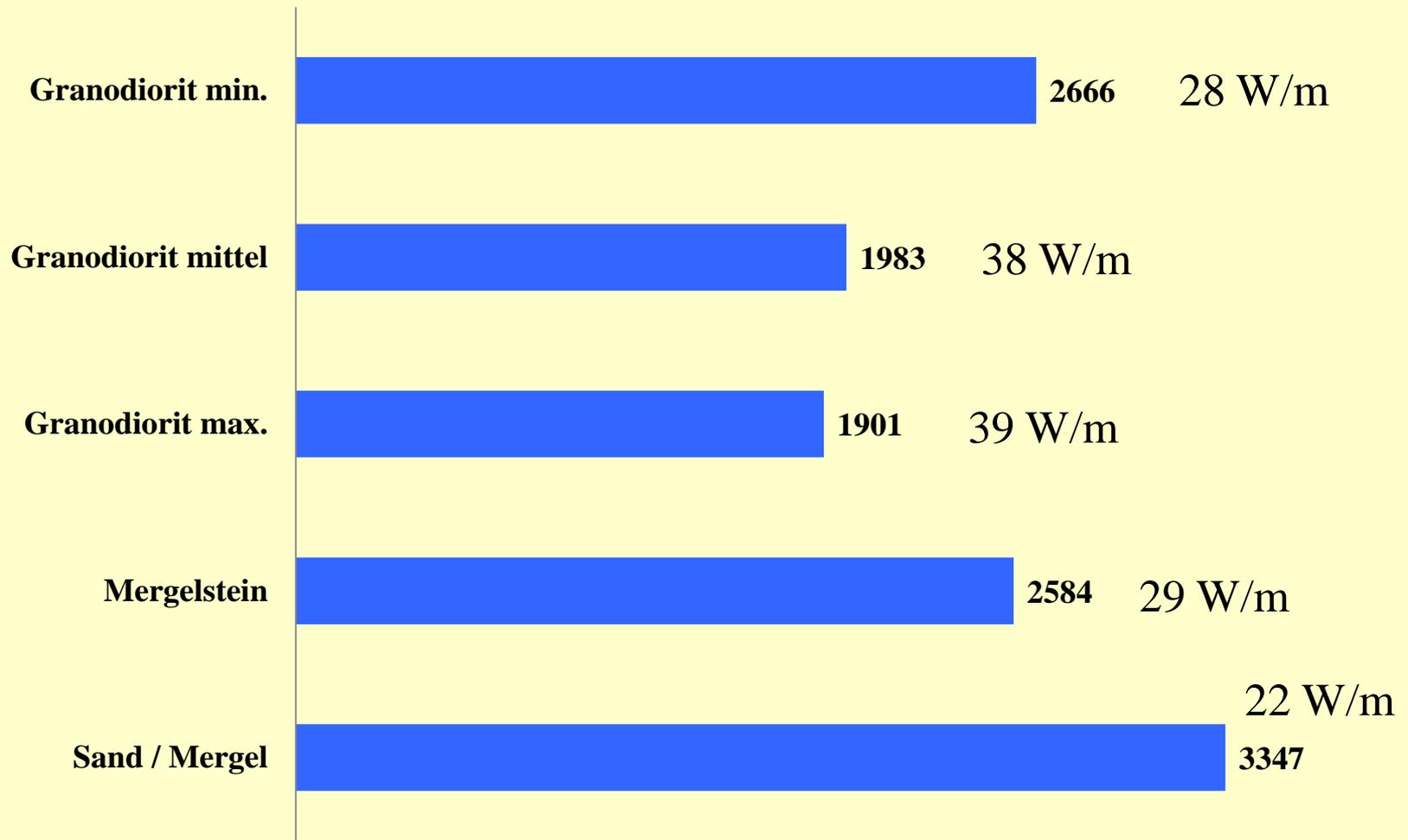


Beispiel: Auswirkung der Wärmeleitfähigkeit auf Dimensionierung eines Erdwärmesondenfeldes

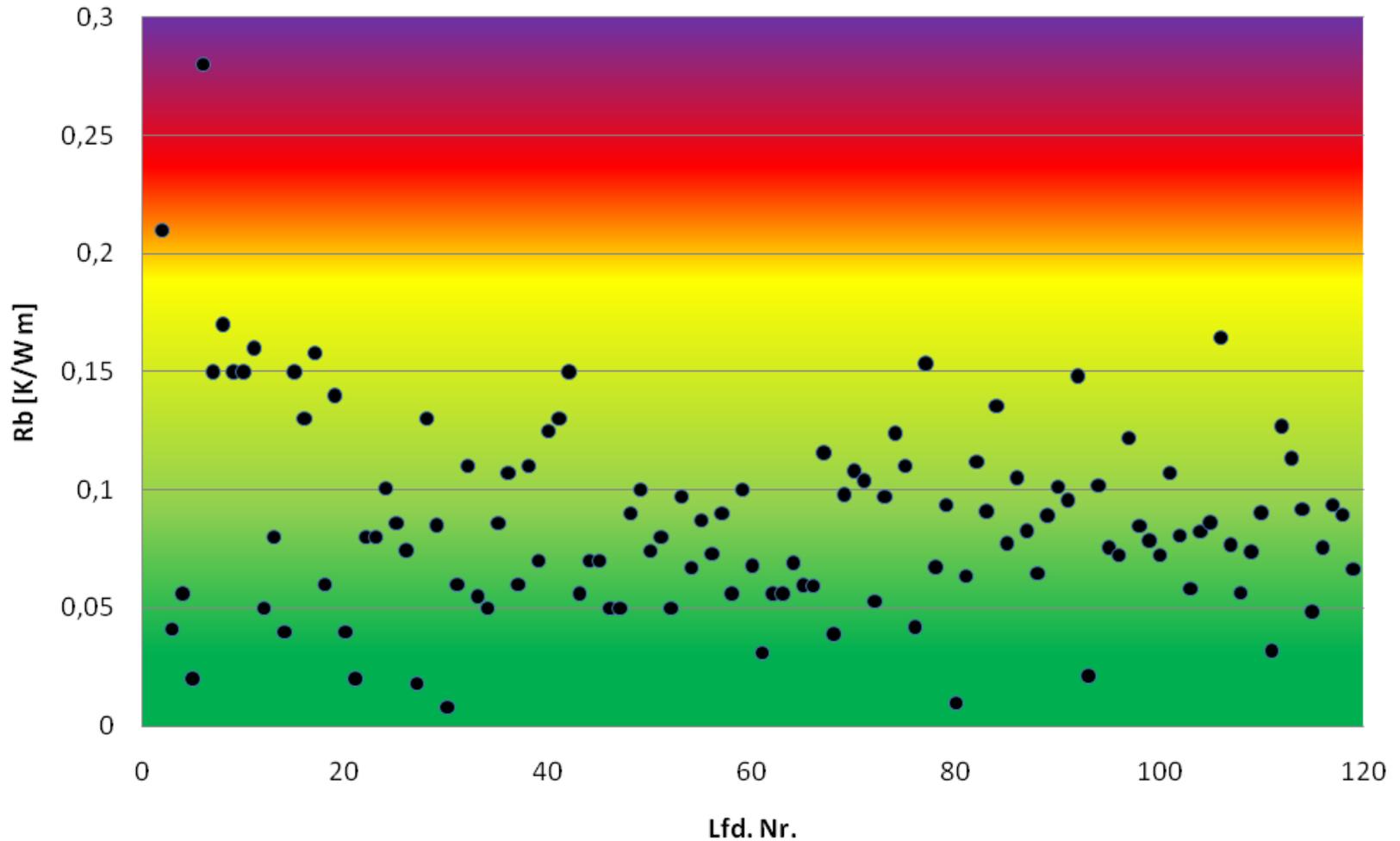
- Standort: Dresden
- Heizleistung: 100 kW bei 2000 Betriebsstunden/Jahr
- Kühlleistung: 20 kW bei 500 Betriebsstunden/Jahr
- Fiktive Jahresverteilung der Heiz-/ Kühlarbeit
- T –Randbedingungen der Sole: min.: 0°C; max.: 25°C

Gestein	λ [W/m K]
Granodiorit (min.)	2,03
Granodiorit (mittel)	3,3
Granodiorit (max.)	3,34
Mergelstein	2,1
Sand / Mergel	1,25

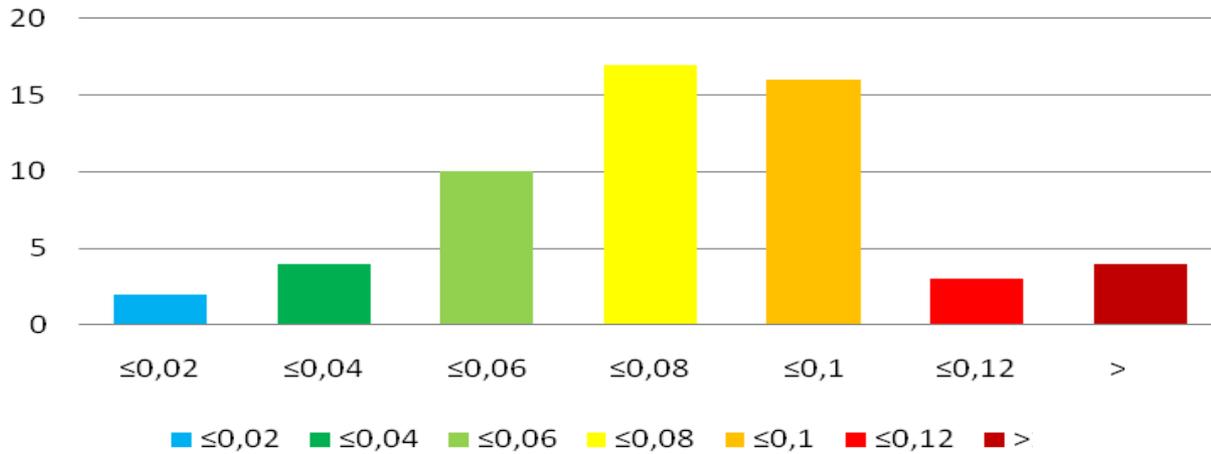
Erforderliche Bohrmeter in Abh. der Wärmeleitfähigkeit



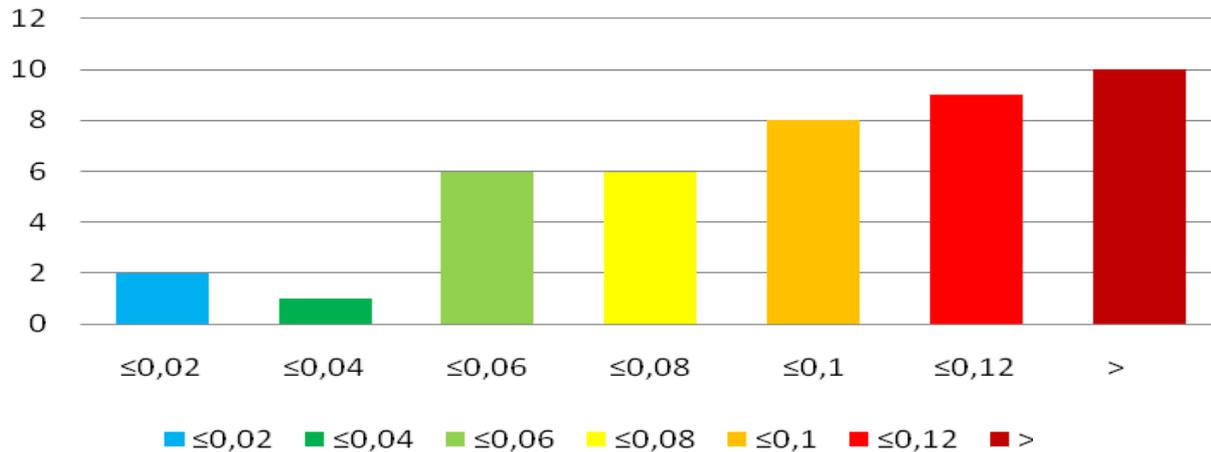
Darstellung gemessener Bohrlochwiderstände



Häufigkeit der Bohrlochwiderstände für Verpressmaterial des Typ1



Häufigkeit der Bohrlochwiderstände für Verpressmaterial des Typ 2



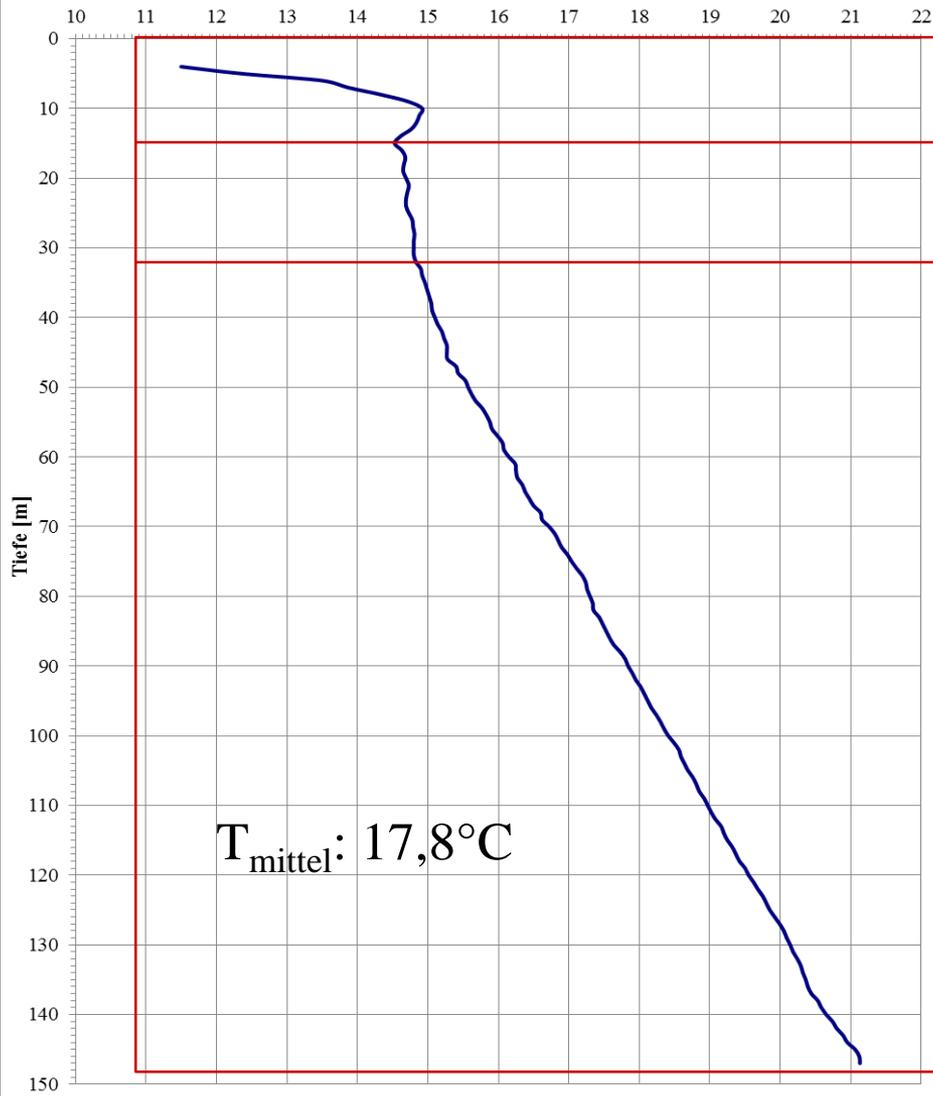
4. Einflussfaktor Untergrundtemperatur

Möglichkeiten der Messung

- Zirkulation TRT – Einheit (ohne Lastaufgabe)
- Stufenlos in Erdwärmesonde
- Im Zusammenhang mit Bohrlochgeophysik (Sal-Temp-Log)



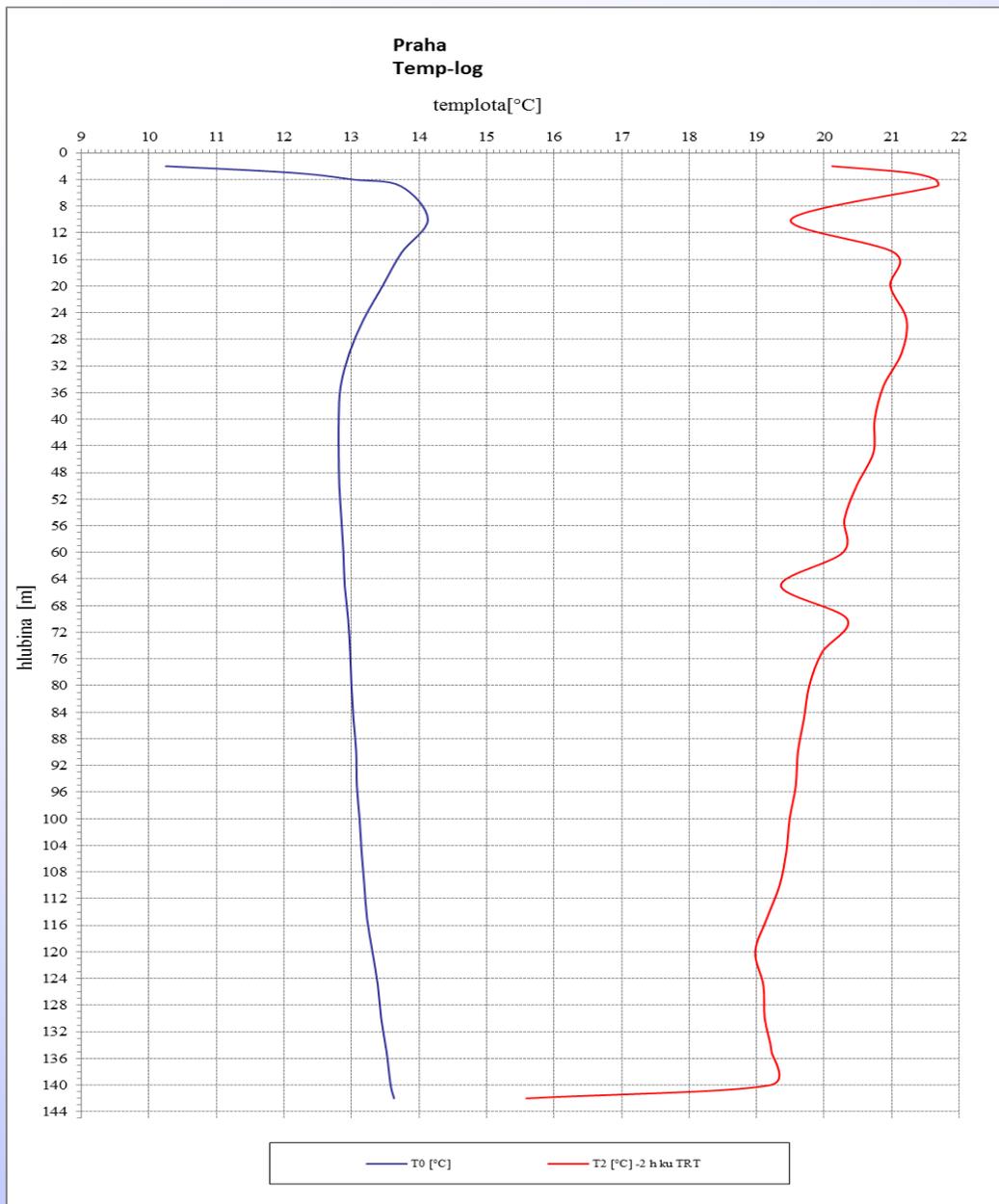
Frankfurt/Main
ungestörtes Temperaturprofil
Temperatur [°C]



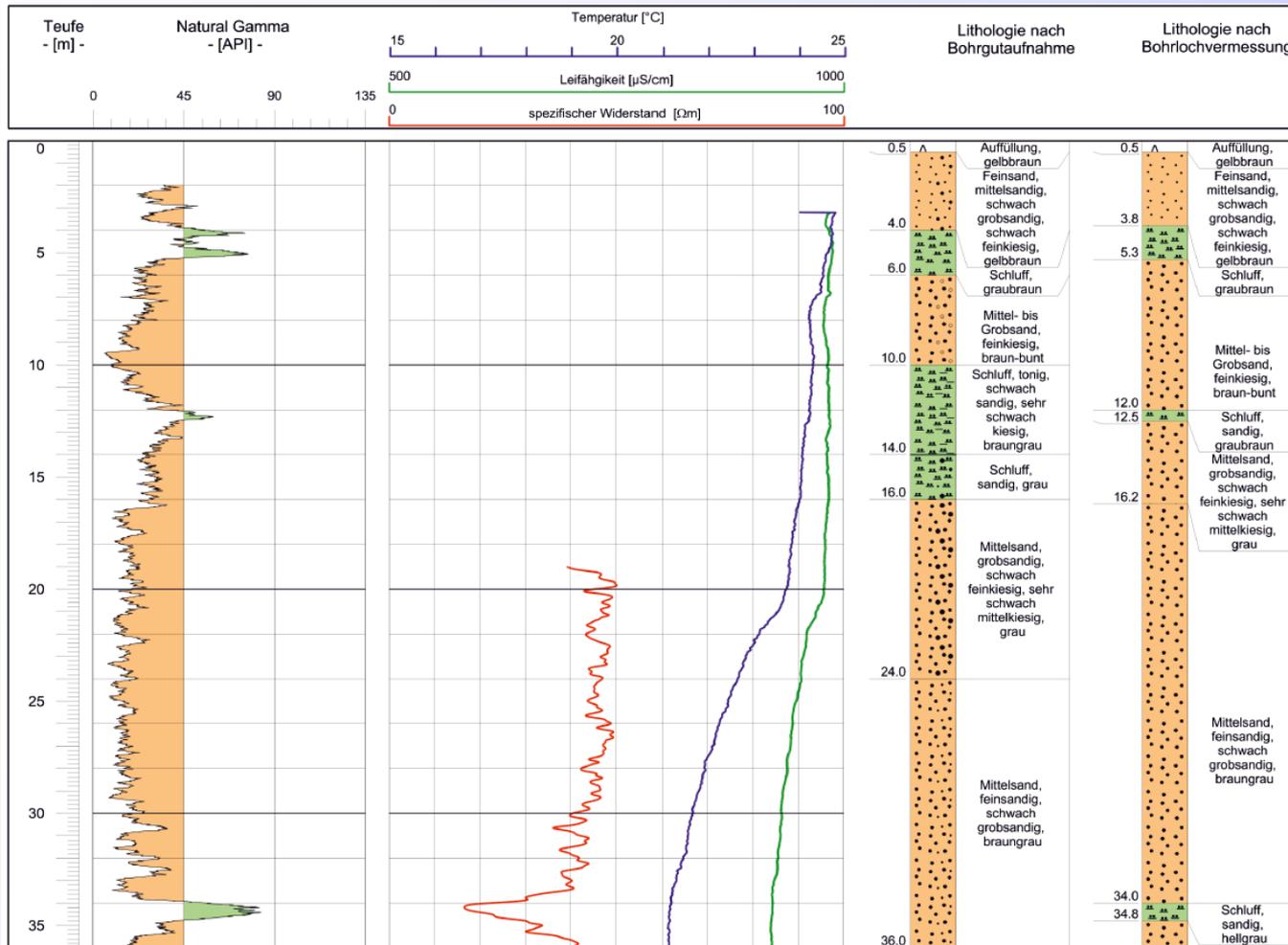
Saisonal beeinflusst

Neutrale Zone

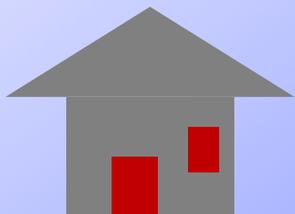
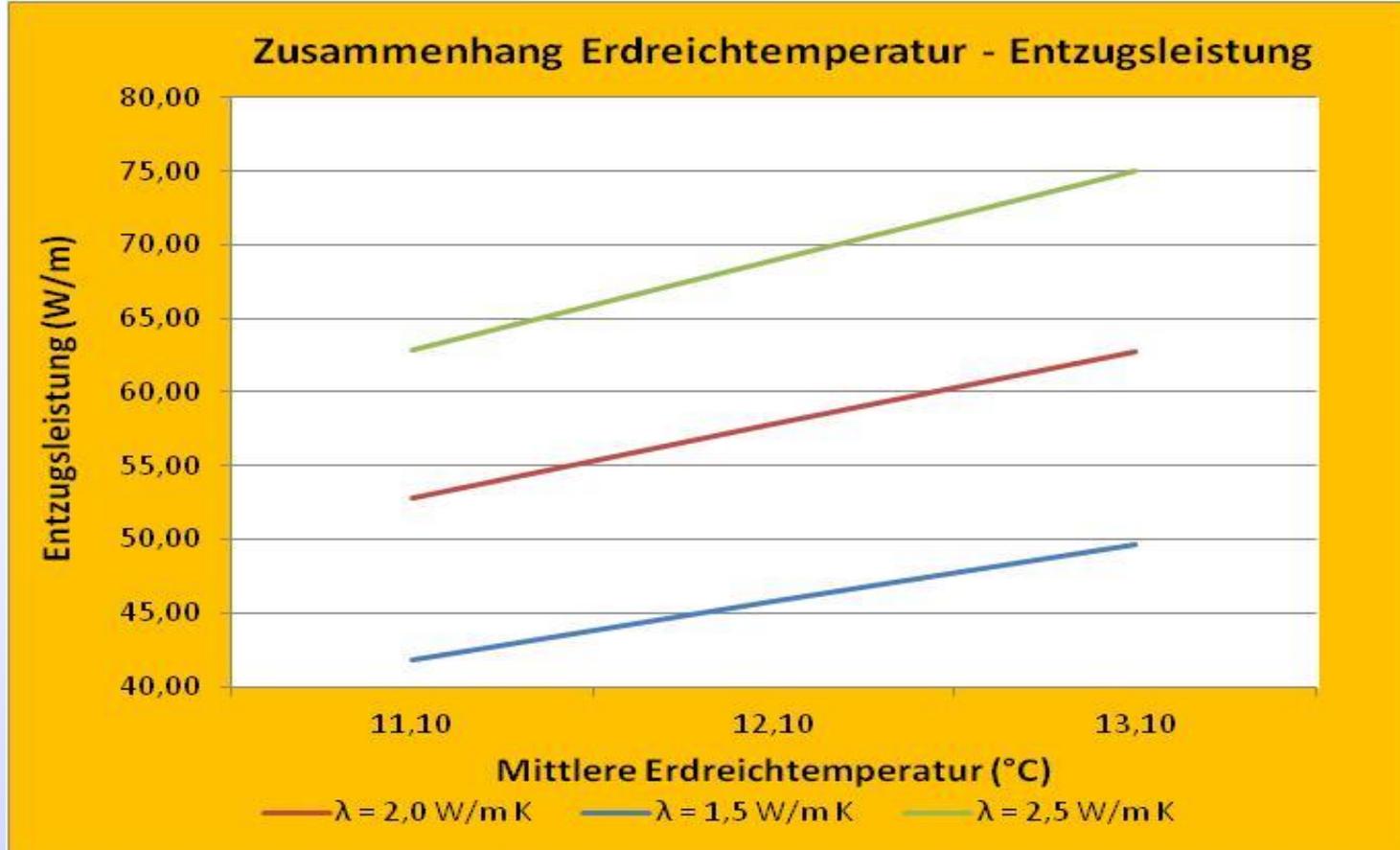
Geothermische
Tiefenstufe (hier: ca.
5,5 K/100 m)



T_{mittel} : 13,1 °C (Gradient
ca. 1 K/100 m)

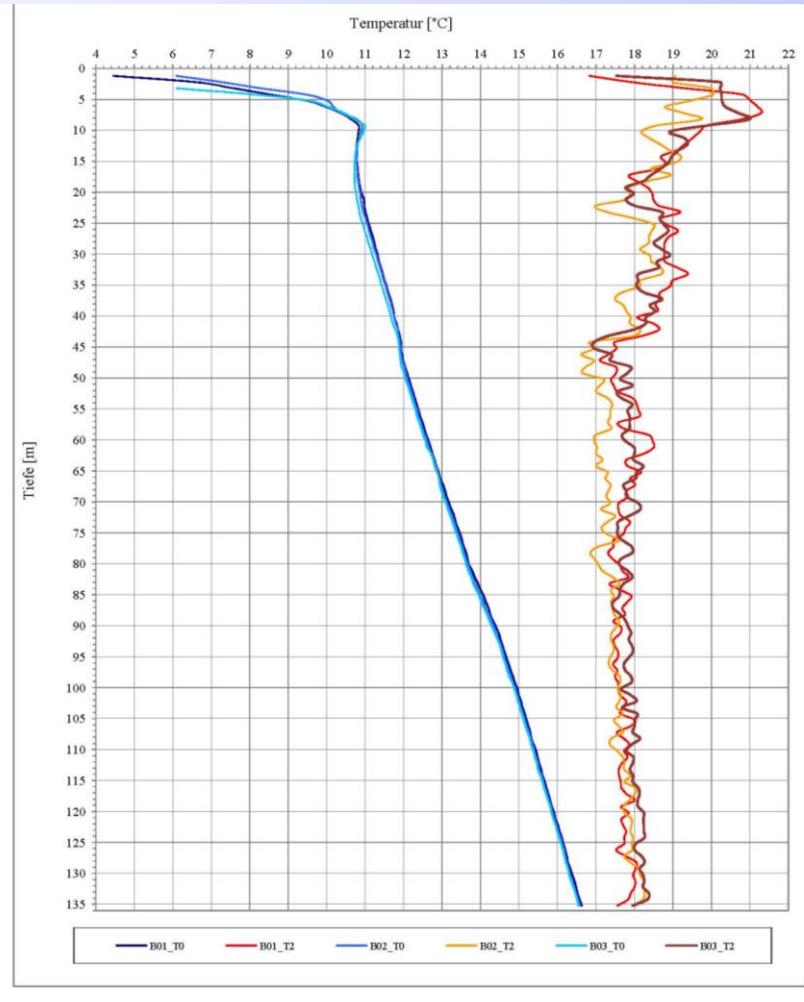
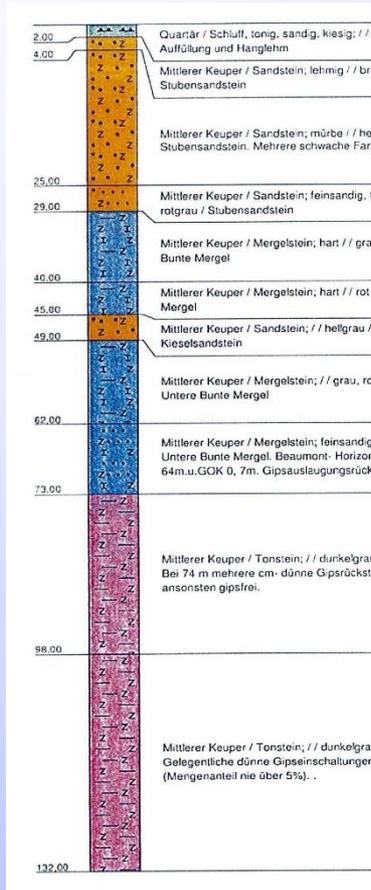


Temperaturmessung im Rahmen der Bohrlochgeophysik



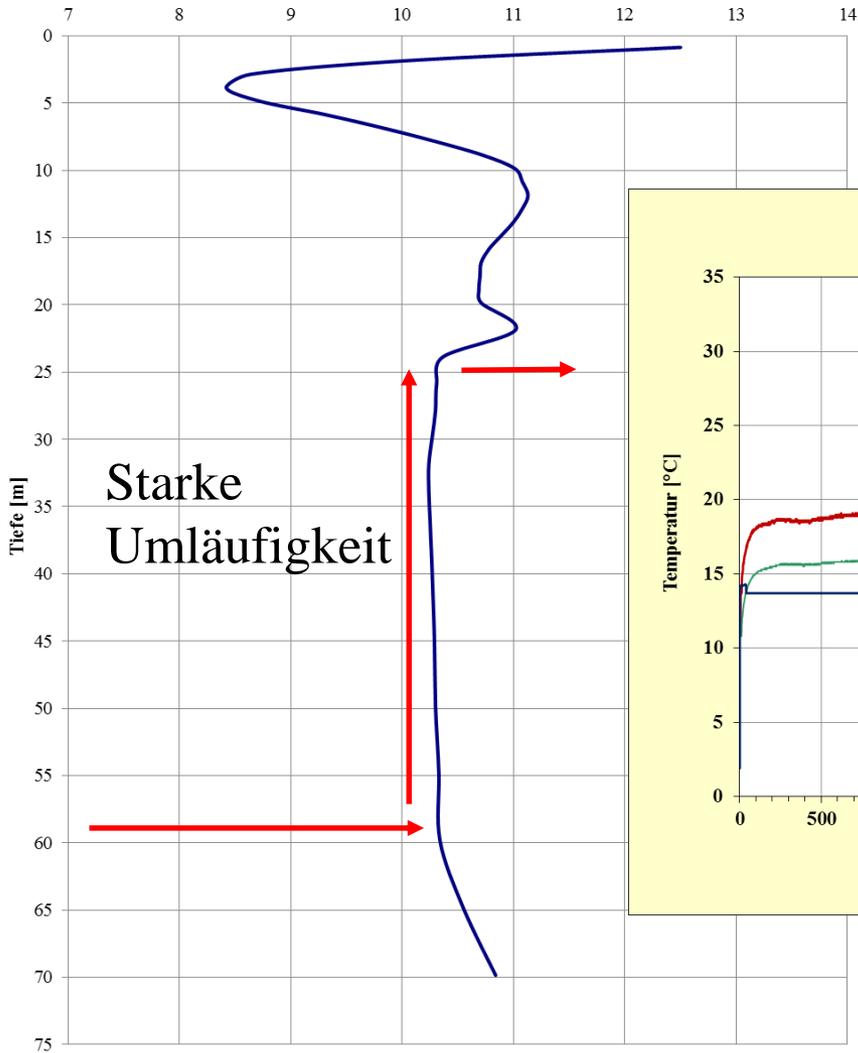
- Heizleistung: 8 kW
- 2400 Vbh
- JAZ: 4,2

Temperaturmessungen zur Qualitätskontrolle der Ringraumabdichtung



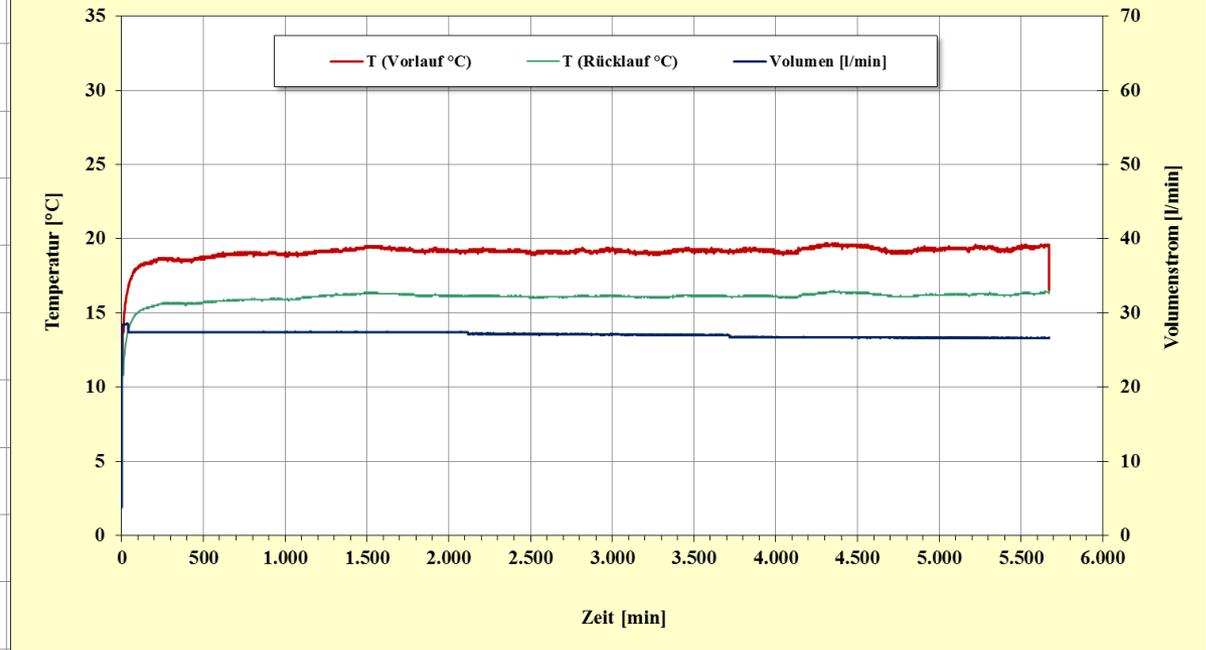
Tiefentemperatur-Log

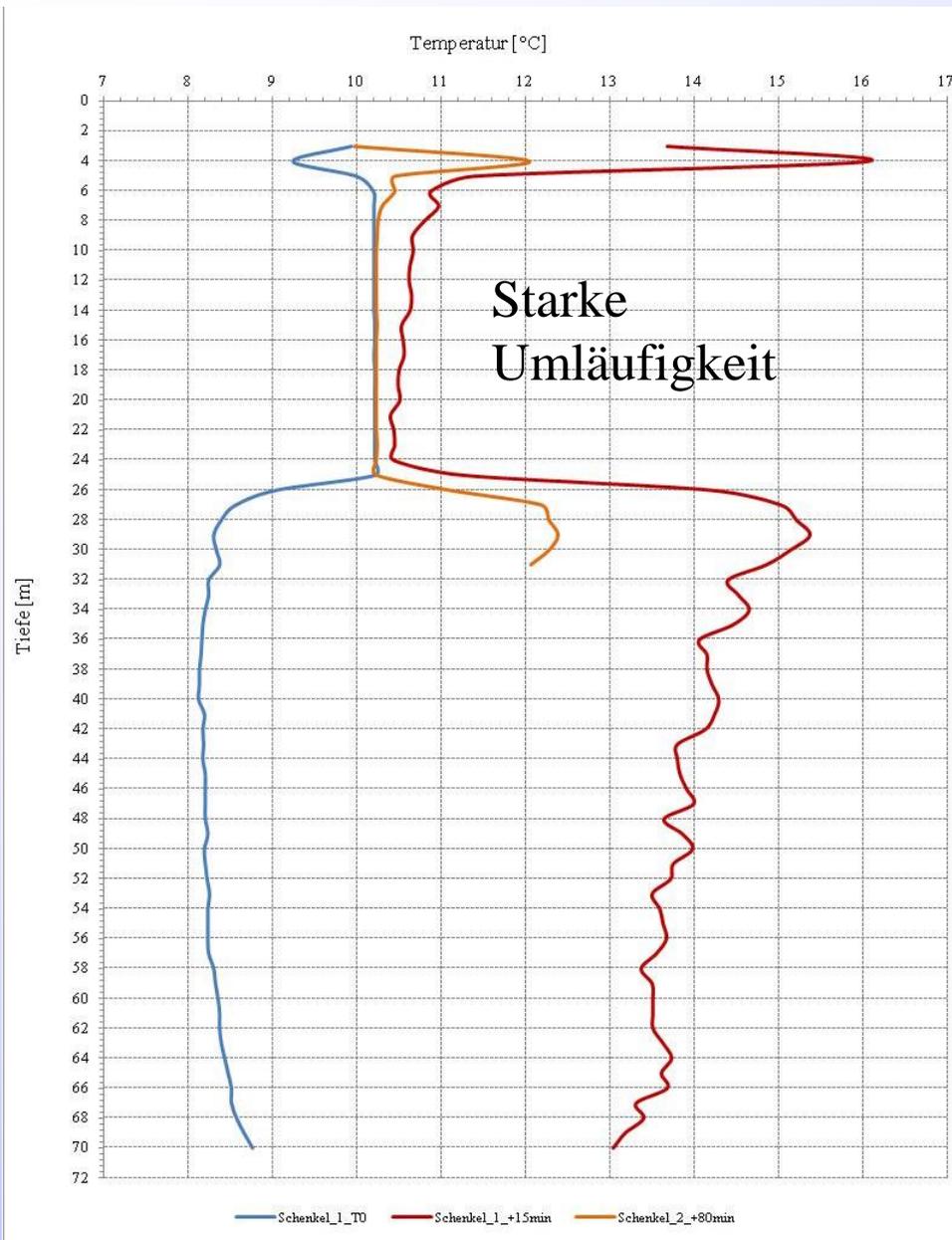
Temperatur [°C]



Unvollständig abgedichteter Ringraum

Datenaufzeichnung Thermal-Response-Test





Fazit

Temperaturmessungen sind eine schnelle und sehr preiswerte Methode die Auslegung der Sondenanlage abzusichern. Zudem sind Hinweise auf die Ringraumabdichtung ableitbar.

Vielen Dank!

