

GeoTHERM / Offenburg

29.02.2024



Qualitätssteigerung
oberflächennaher Geothermiesysteme

Erfahrungen mit dem Enhanced Thermal Response Test (ETRT) unter Grundwassereinfluss

Anna Albers, Hagen Steger, Roman Zorn, Philipp Blum

HBC.
HOCHSCHULE
BIBERACH
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES

BURKHARDT
Geologische und
hydrologische
Bohrungen

eifer

HAURI

H.S.W. Ingenieurbüro
Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

solites

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Fraunhofer
ISE

In Zusammenarbeit mit:



ZAE BAYERN

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Konventioneller TRT

Enhanced TRT

Setup

Zirkulierendes Fluid

Wärmeeintrag

Heizkabel

Temperatursensor:
Einlass/Auslass

Temperaturmessung

Distributed temperature
sensing (DTS)

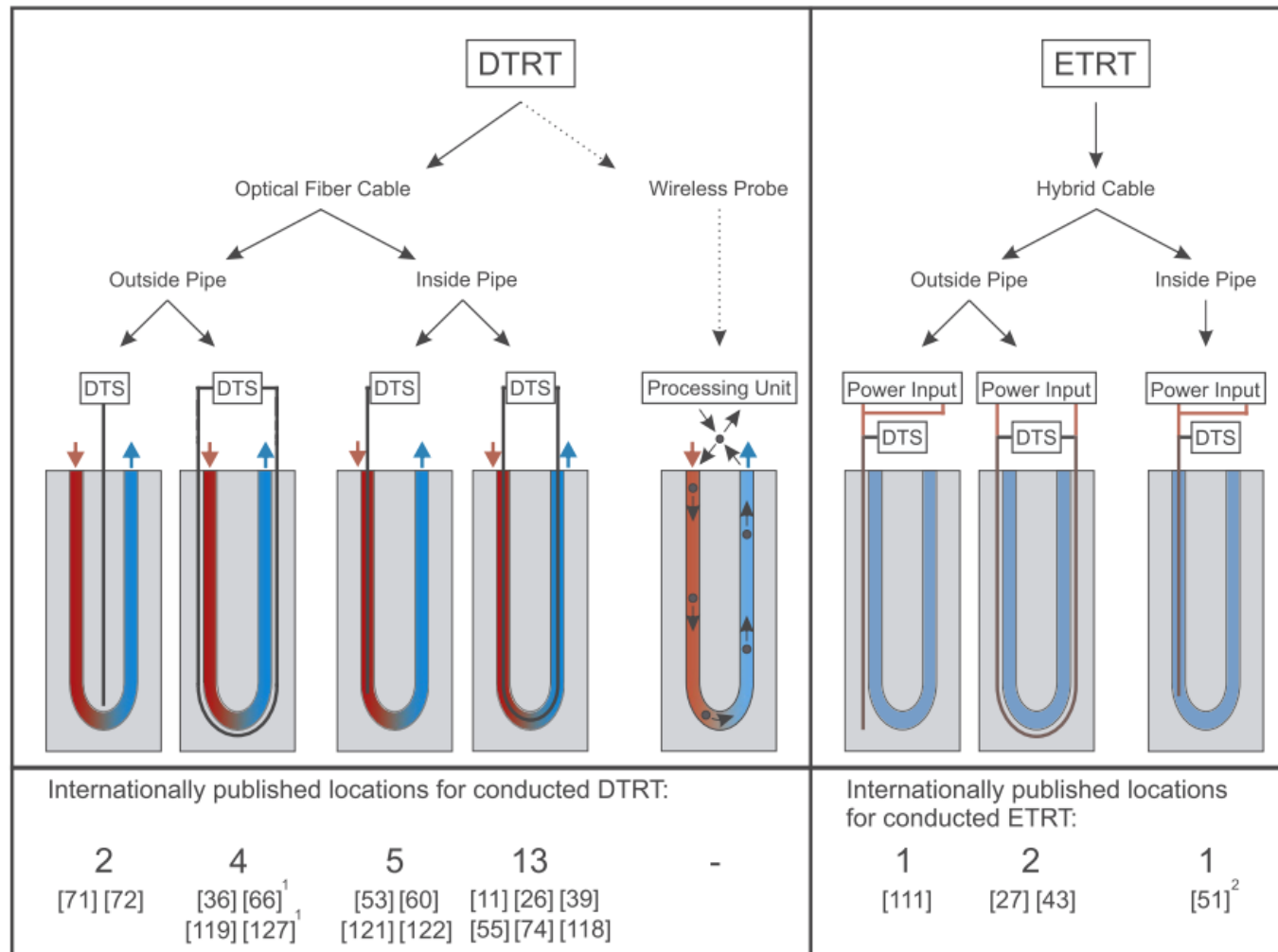
Auswertung

Integraler Wert

Effektive Wärmeleitfähigkeit

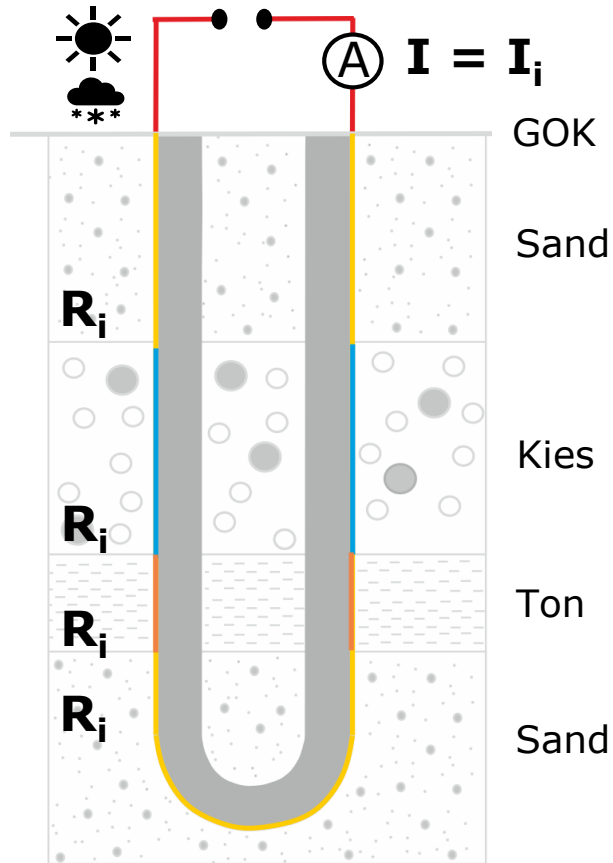
Tiefenspezifische Werte

Enhanced Thermal Response Test



Wilke et al. (2020) *RSER*

Tiefenspezifische Heizleistung



- **Spezifische Heizleistung:**

$$q = U I l^{-1} \text{ [W/m]}$$

- **Temperaturabhängiger elektrischer Widerstand:**

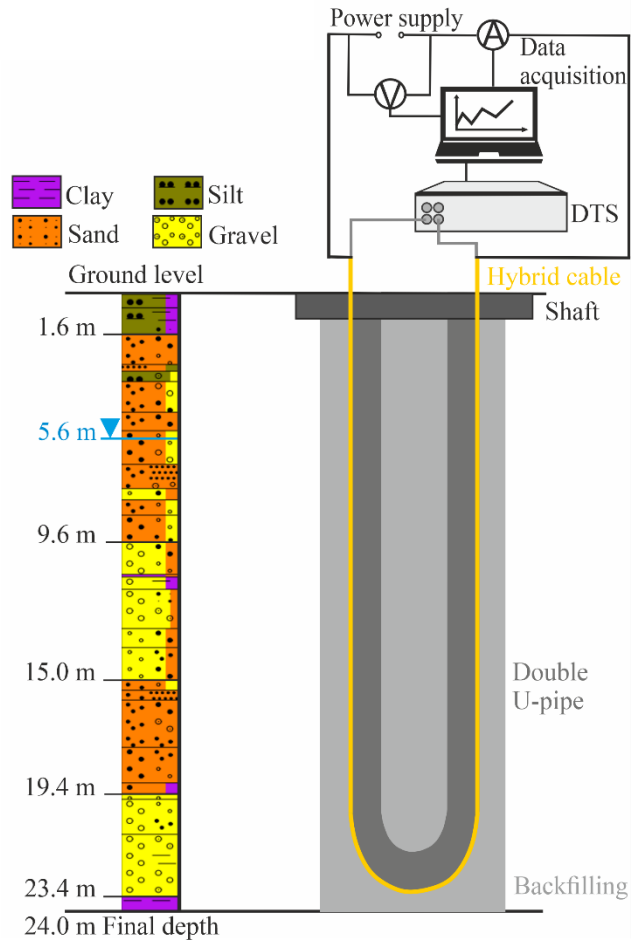
$$R_T = R_{T_{20}} (1 + \alpha_{T_{20}} (T - T_{20})) \text{ [\Omega]}$$

- **Tiefenspezifische Heizleistung:**

$$q = I^2 R_{T_{20}} (1 + \alpha_T (T - T_{20})) l^{-1}$$

q: spezifische Heizleistung, U: Spannung, I: Stromstärke, l: Länge, R: Elektrischer Widerstand, $\alpha_{T_{20}}$: Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands, T: Temperatur

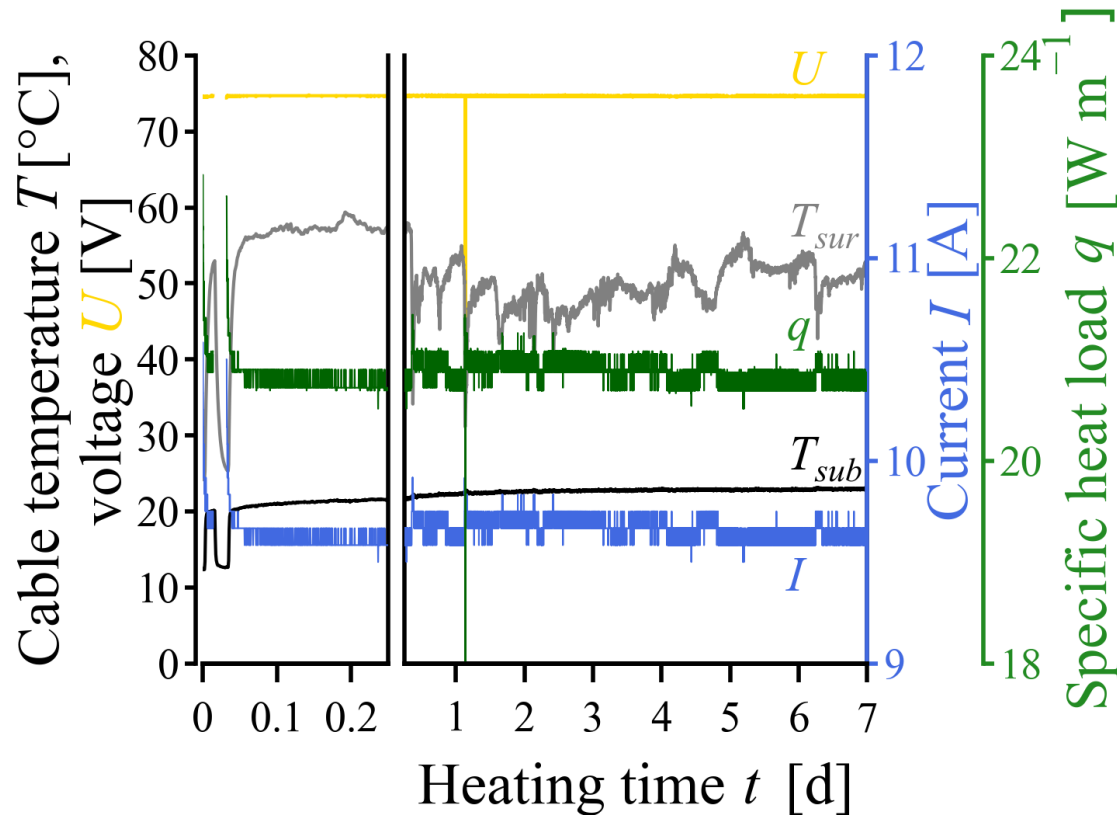
Testfeld: Biberach an der Riß



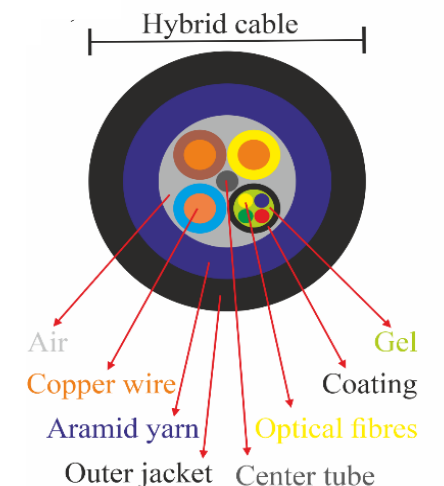
- Molassebecken, Südwest-Deutschland
- **Geologie:** Kiese und Sande
- Installation eines Hybridkabels entlang der EWS beim Einbau
- **ETRT:** Juni/Juli 2021 für ca. 170 h



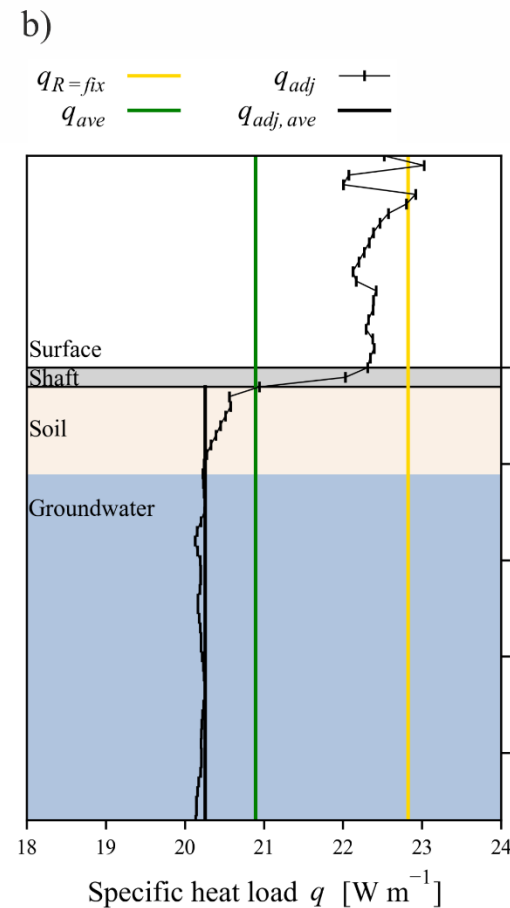
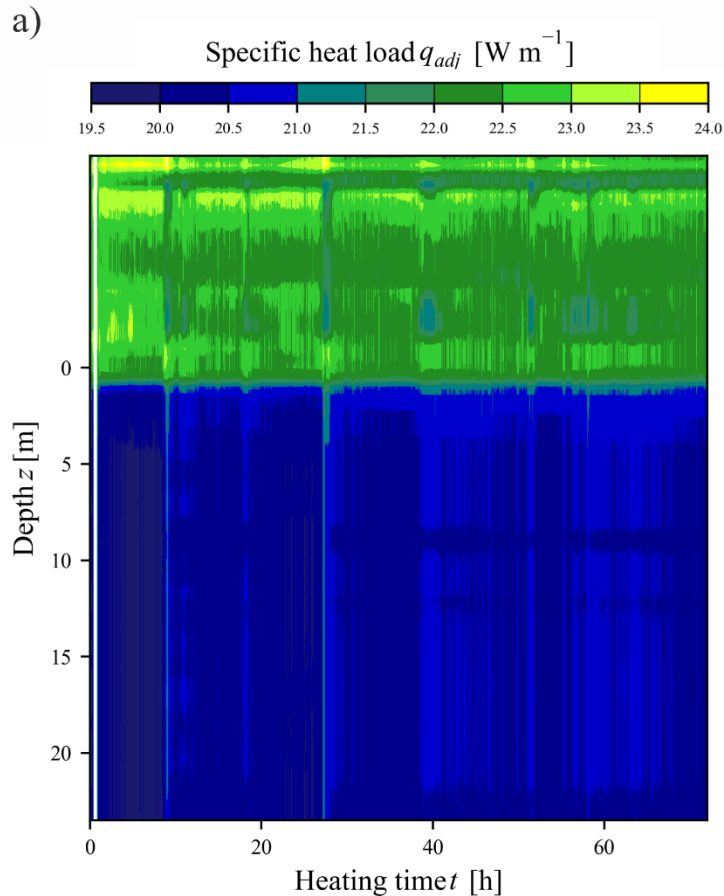
Zeitliche Änderung der Heizleistung



- Oberflächlich starke Temperaturschwankungen
- Abfall der Heizleistung innerhalb der ersten Minuten
- Leichte Variation der Heizleistung im weiteren Verlauf

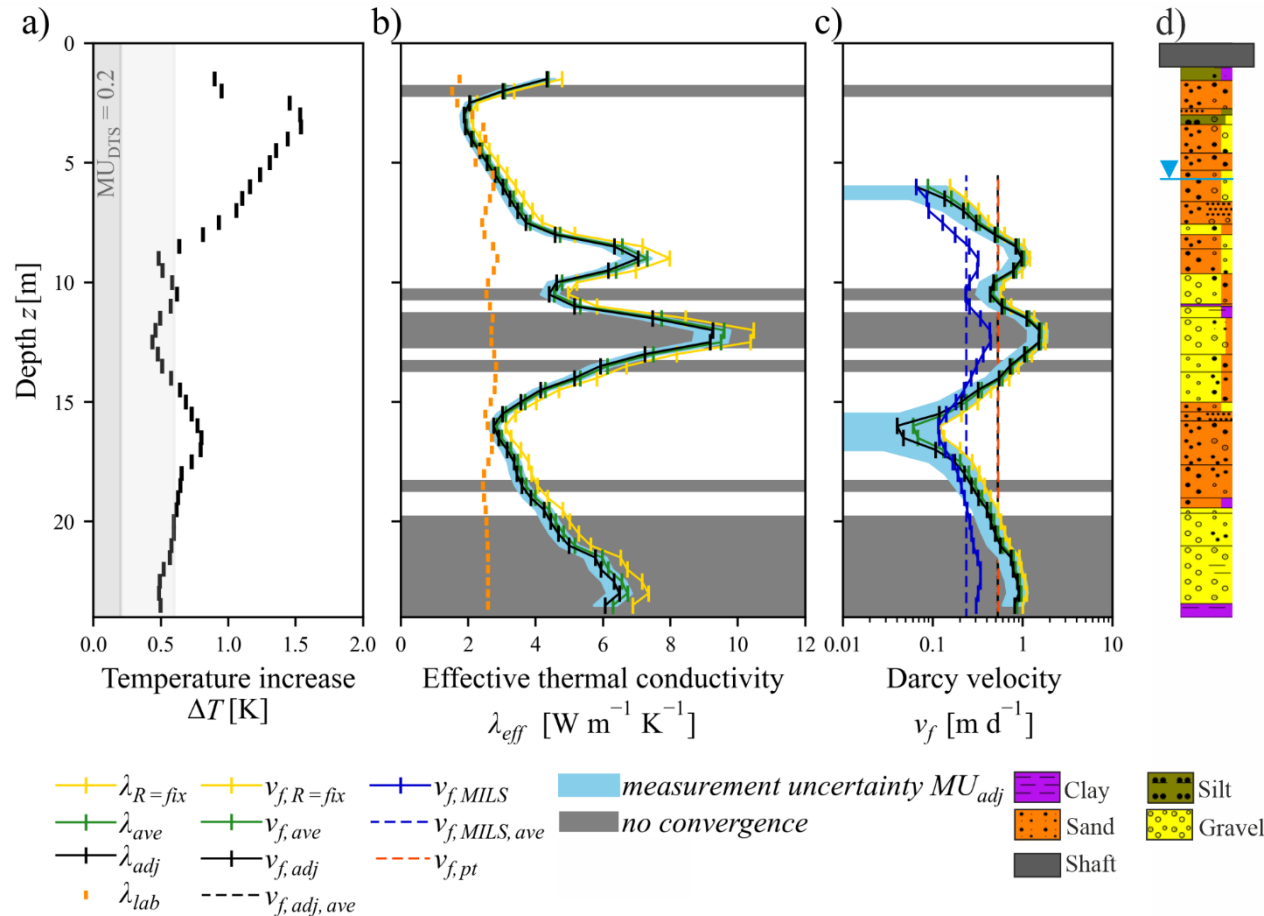


Räumliche Änderung der Heizleistung



- Variierende Heizleistung entlang des Heizkabels
- Entlang der EWS Unterschied im Bereich von 3%
- Tiefenspezifische Berechnung möglich mit Hybridkabel

Tiefenspezifische ETRT Auswertung



- Heterogene Untergrundeigenschaften
- Geringer Temperaturanstieg in Bereichen hoher Darcy Geschwindigkeiten
- Erhöhte Unsicherheit der Auswertung

Maßnahmen gegen Überhitzung



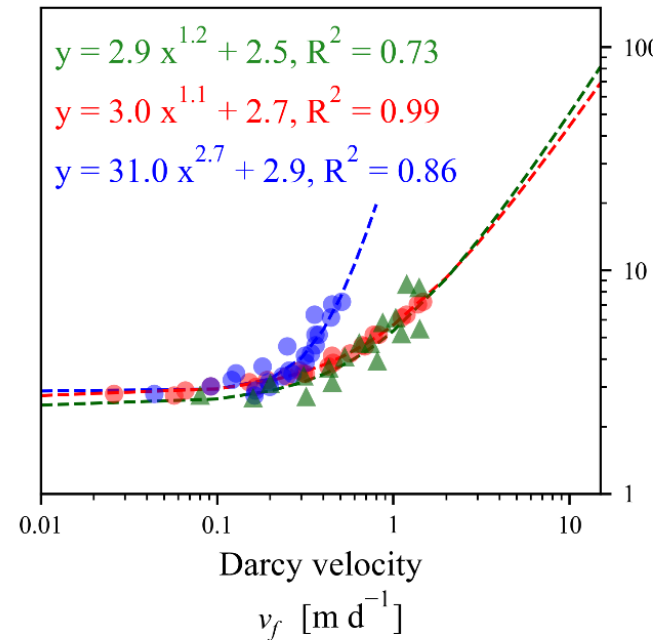
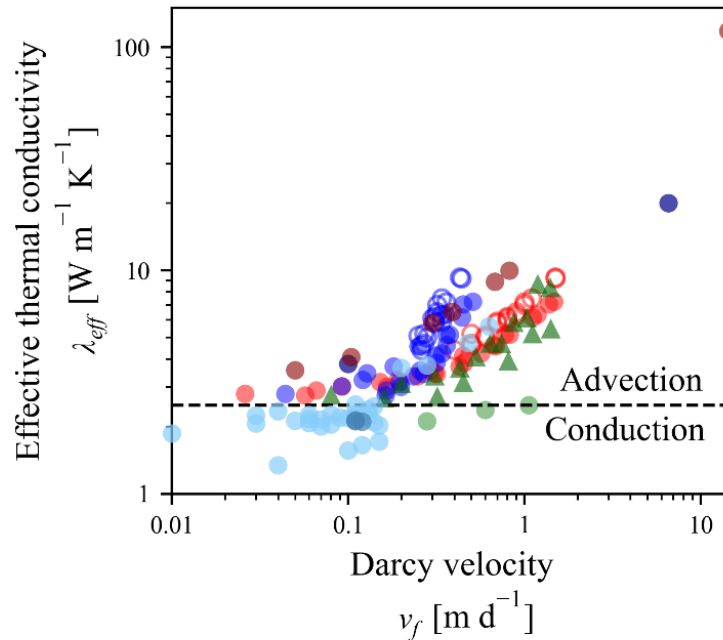
Wasser



Boden

- Überdeckung des oberflächlich verlegten Heizkabels

Literaturvergleich



- Angelotti et al. (2018)
- Antelmi et al. (2020)
- Huber et al. (2014)
- Lehr and Sass (2014)
- Sakata et al. (2021)
- This study, Péclet analysis ($\Delta T < 0.6K$)
- This study, MILS ($\Delta T < 0.6K$)

- ▲ Huber (2013)
- This study, Péclet analysis
- This study, MILS
- Huber (2013), fit
- This study, Péclet analysis, fit
- This study, MILS, fit

- Effektive Wärmeleitfähigkeit λ_{eff} und Darcy Geschwindigkeit v_f
- Grundwassereinfluss ab Darcy Geschwindigkeit 0,2 m/d erkennbar



- ETRT ermöglicht die tiefenspezifische Auswertung der thermischen Untergrundeigenschaften.
- Zeitliche Korrektur der Heizleistung während des Testes erforderlich!
- Tiefenspezifische Berechnung der Heizleistung gut umsetzbar.
- Wahl der Heizleistung entscheidend: Überhitzung und Temperaturerhöhung
- Ab einer Darcy-Geschwindigkeit von 0,2 m/d ist der Grundwassereinfluss auf die effektive Wärmeleitfähigkeit gut zu erkennen!

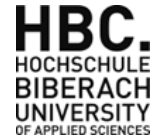
Vielen Dank für Ihr Interesse!

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

FKZ: 03EE4020A-H



Hochschule Biberach

Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE)

Prof. Dr.-Ing. Roland Koenigsdorff | qewsplus@hochschule-bc.de | www.hochschule-biberach.de



Burkhardt GmbH Neuweiler

Frank Burkhardt | frank@burkhardt-bohrungen.de | www.burkhardt-bohrungen.de



EIFER Karlsruhe

European Institute for Energy Research

Dr. Roman Zorn | roman.zorn@eifer.org | www.eifer.kit.edu



Fraunhofer Freiburg

Institut für Solare Energiesysteme (ISE)

Björn Nienborg | bjoern.nienborg@ise.fraunhofer.de | www.ise.fraunhofer.de



Hans G. Hauri KG Bötzingen

Frank Hauri | f.hauri@hauri.de | www.hauri.de



H.S.W. Ingenieurbüro Rostock

Jens-Uwe Kühl | info@hsw-rostock.de | www.hsw-rostock.de



Karlsruhe Institut für Technologie

Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW)

Dr. Hagen Steger | hagen.steger@kit.edu | www.kit.edu



Solites Stuttgart

Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Yannick Reduth | reduth@solites.de | www.solites.de



ZAE Bayern Garching

Bayrisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.

Peter Osgyan | peter.osgyan@zae-bayern.de | www.zae-bayern.de



Qualitätssteigerung
oberflächennaher Geothermiesysteme

Anna Albers¹
Hagen Steger¹
Roman Zorn²
Philipp Blum¹

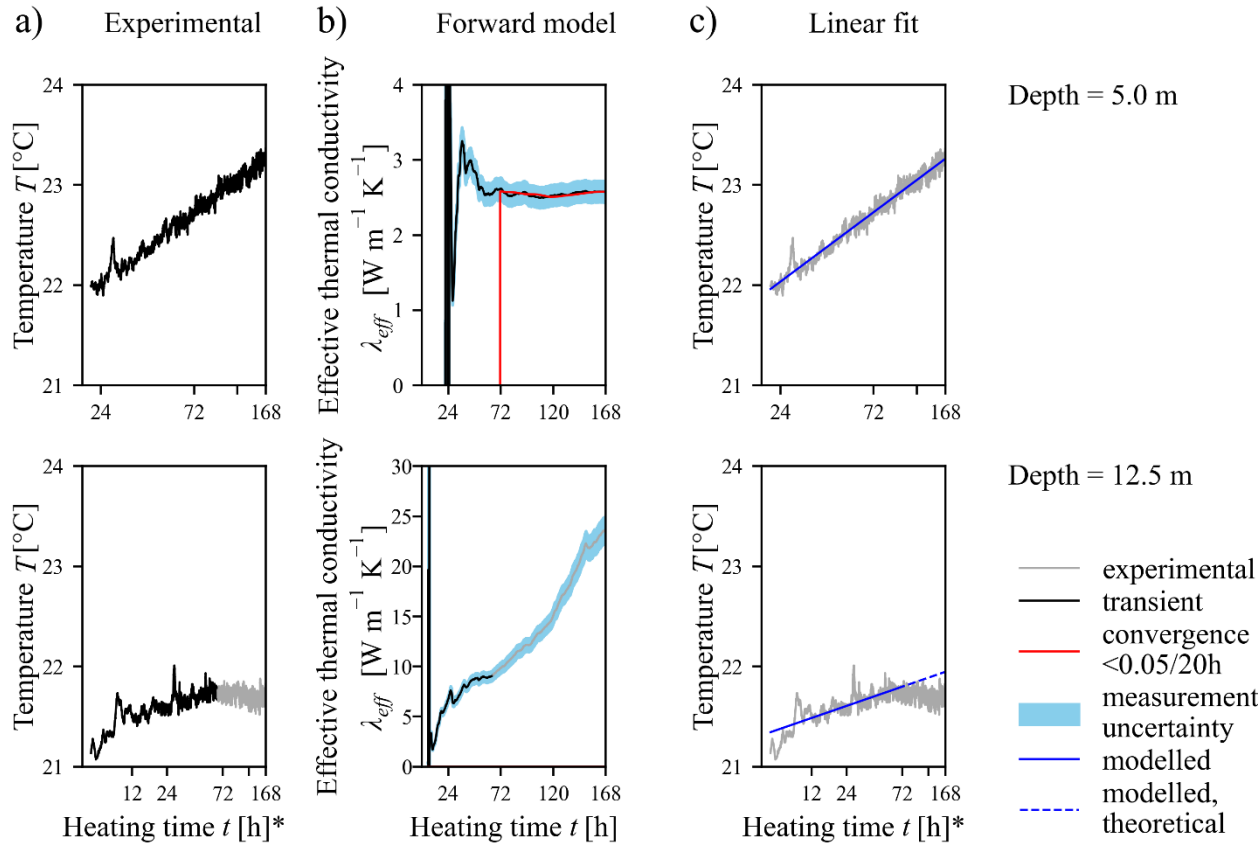
anna.albers@kit.edu

¹ KIT Karlsruhe (AGW)

² EIFER Karlsruhe

- **Albers A, Steger H, Zorn R, Blum P: Evaluating an enhanced thermal response test (ETRT) with high groundwater flow, Geothermal Energy, 2024.**
- Angelotti A, Ly F, Zille A: On the applicability of the moving line source theory to thermal response test under groundwater flow: considerations from real case studies, Geothermal Energy, 2018.
- Antelmi M, Alberti L, Angelotti A, Curnis S, Zille A, Colombo L: Thermal and hydrogeological aquifers characterization by coupling depth-resolved thermal response test with moving line source analysis, Energy Conversion and Management, 2020.
- Huber H: Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Wärmetransportverhalten oberflächennaher, durchströmter Böden, 2013.
- Huber H, Arslan U, Sass I: Zum Einfluss der Filtergeschwindigkeit des Grundwassers auf die effektive Wärmeleitfähigkeit. Grundwasser, 2014.
- Lehr C, Sass I: Thermo-optical parameter acquisition and characterization of geologic properties: a 400-m deep BHE in a karstic alpine marble aquifer. Environmental Earth Sciences, 2014.
- Sakata Y, Katsura T, Serageldin AA, Nagano K, Ooe M: Evaluating Variability of Ground Thermal Conductivity within a Steep Site by History Matching Underground Distributed Temperatures from Thermal Response Tests. Energies, 2021.
- Wilke S, Menberg K, Steger H, Blum P: Advanced thermal response tests: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.

Backup-Slide: Infinite Line Source



$$T(r, t) - T_0 \approx \frac{q}{4\pi\lambda_{eff}} \left(\ln \left(\frac{4 \alpha t}{r_b^2} \right) - \gamma \right) + q R_{th}$$

$$\lambda_{eff} = \frac{q}{4 \pi k}$$

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta \ln(t)}$$



Péclet Analyse

- $Pe = \frac{\lambda_{eff}}{\lambda} - 1$
- $v_f = \frac{\lambda_{eff} - \lambda}{l_c \rho c_{p,f}}$
- $k = \frac{v_f}{i}$

Moving Infinite Line Source

- $T_r(r, \vartheta, t) - T_0 = \frac{q}{4 \pi \lambda} \exp\left[\frac{v_{th} r \cos(\vartheta)}{2\alpha}\right] \times \int_{\frac{r^2}{4\alpha t}}^{\infty} \exp\left[-\frac{v_{th}^2 r^2}{16 \alpha^2 u} - u\right] \frac{du}{u} + q R_{th}$
- $v_f = \frac{v_{th} \rho c_s}{\rho c_{p,w}}$