

Experimentelle Untersuchung zur Verbundspannung zwischen oberflächennahen Wärmetauschern und Bettungsmaterialien

Fachsektionstagung Ingenieurgeologie, 17. März 2021



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Graduate School of
Energy Science
and Engineering

Forum für junge Ingenieurgeologen
Session Geothermie

Titus Seeger¹
Maximilian Eckhardt¹
Jan Christopher Hesse^{1,2}
Ingo Sass^{1,2}

¹Technische Universität Darmstadt, Angewandte Geothermie

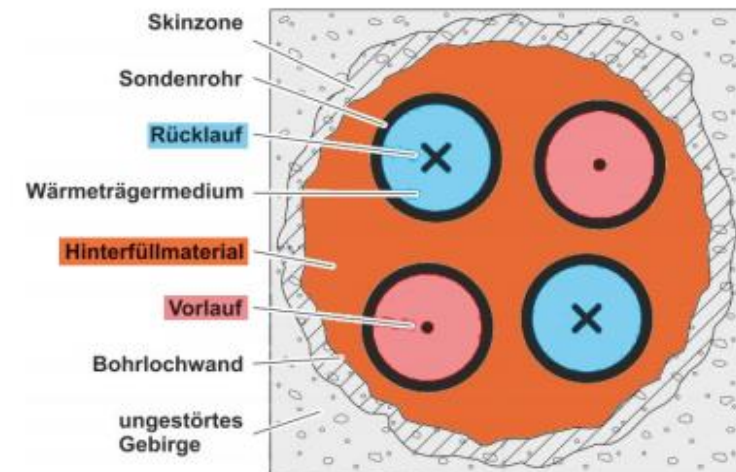
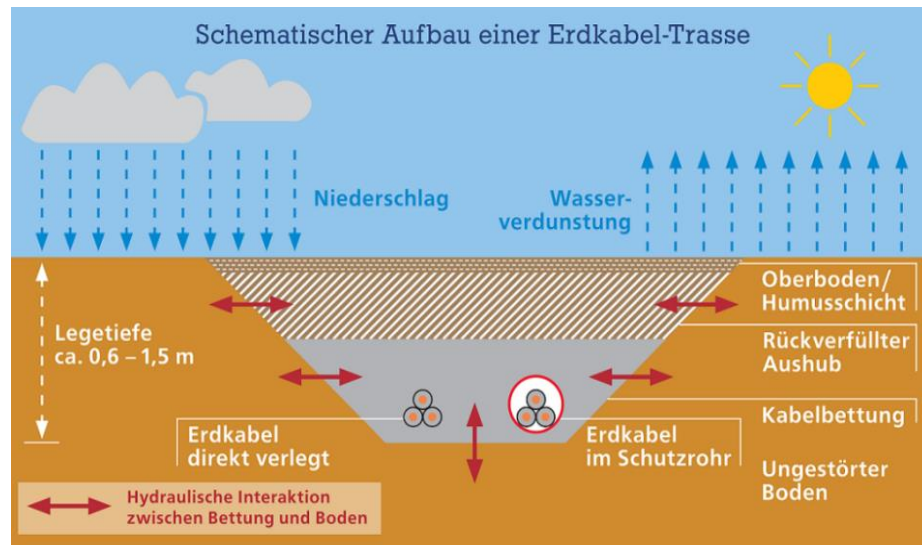
²Darmstädter Exzellenz-Graduiertenschule für Energiewissenschaft und Energietechnik

Verbund zwischen Wärmetauscher und Bettungsmaterial

Mechanischer Verbund zwischen Wärmetauscher und Bettung ist für Wärmeübergang wichtig

Hydraulische und thermische Eigenschaften sind für Wärmeleitung innerhalb der Bettung wichtig

ZFSV / Lockergesteine	Hinterfüllbaustoffe
Erdverlegte Stromkabel und Fernwärmeleitungen	Erdwärmesonden



verändert nach Sass et al. 2014

Thermisch induzierte Ausdehnung

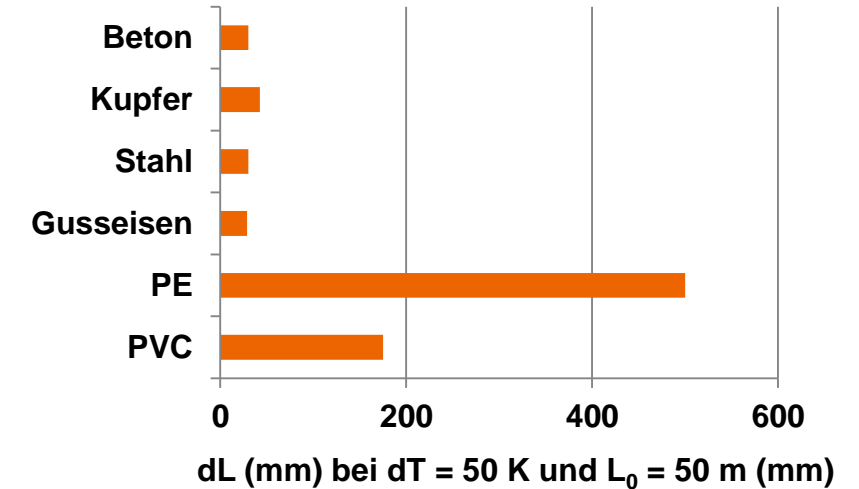
$$\alpha = \frac{1}{L_0} \cdot \left(\frac{dL}{dT} \right)$$

α Längenausdehnungskoeffizient (K^{-1})

L_0 Ausgangslänge (m)

(dL/dT) relative Längenänderung zu Temperaturänderung ($m \cdot K^{-1}$)

⇒ **Thermische Ausdehnung der oberflächennahen Wärmetauscher (axial und radial) führt zu einer Veränderung des Kontaktzustandes zur Bettung**



	α ($10^{-6} \cdot K^{-1}$)
Beton	12,0
Kupfer	17,0
Stahl	12,0
Gusseisen	11,5
PE	200,0
PVC	70,0

Untersuchung der Verbundspannung - Versuchsbedingungen

Untersuchung mit Systemzelle in Anlehnung an
Wolfram & Neidhardt (2018)

3 Verschiebungszyklen je Bettungsmaterial und
Seitendruck

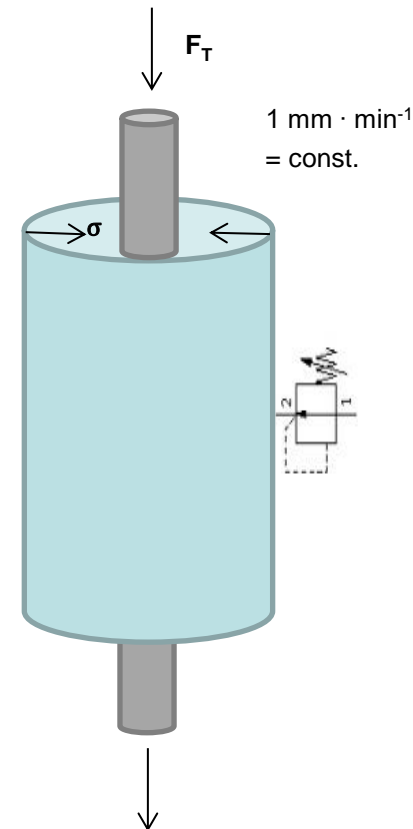
Auswertung nach Mohr-Coulomb'schen
Bruchkriterium:

Verbautiefe h (m)	Seitendruck σ (kPa)
1,0	20,0
2,0	40,0
4,0	80,0

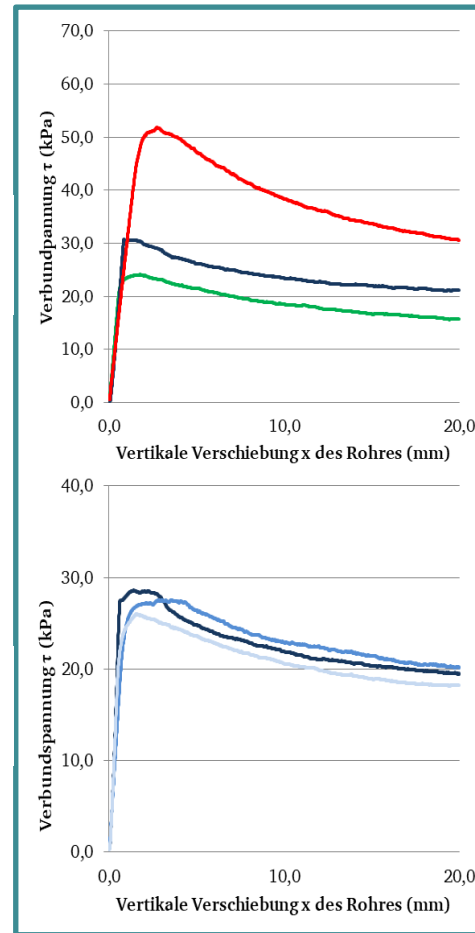
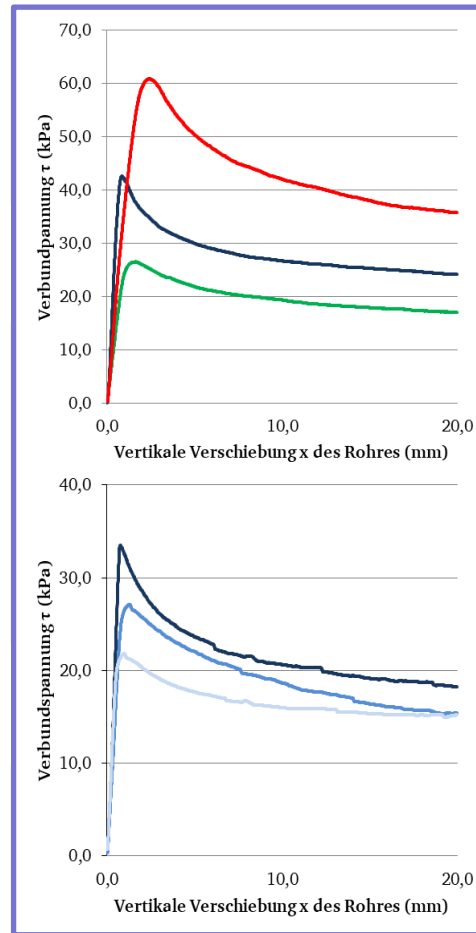
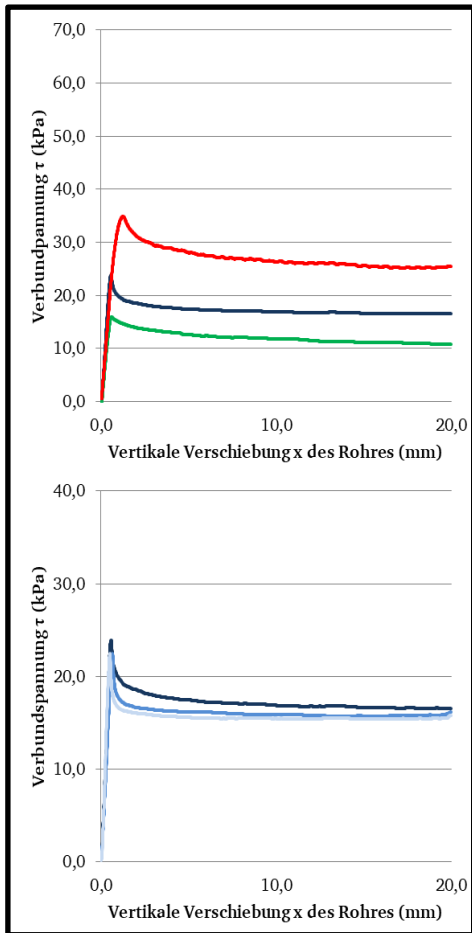
$$\tau_{max} = C + \sigma \cdot \tan \varphi_{res}$$

τ Verbundspannung (kPa)
 C Kohäsion (kPa)
 φ_{res} residualer Reibungswinkel (°)

$$\varphi_{res} = \tan^{-1} \frac{\Delta \tau_{res}}{\Delta \sigma}$$



Verbundspannung – Ergebnisse N1, N2 und N3



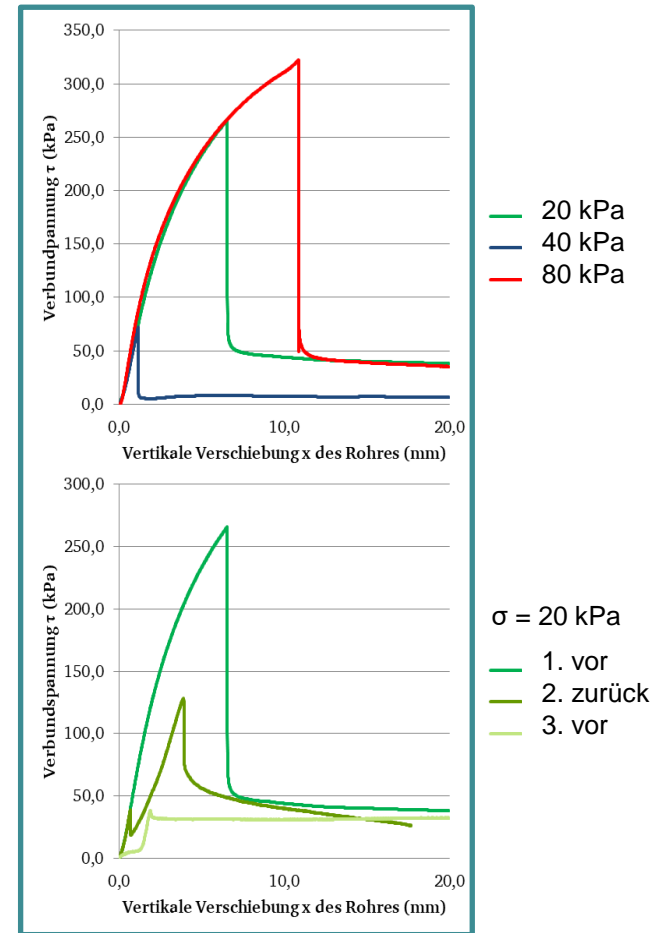
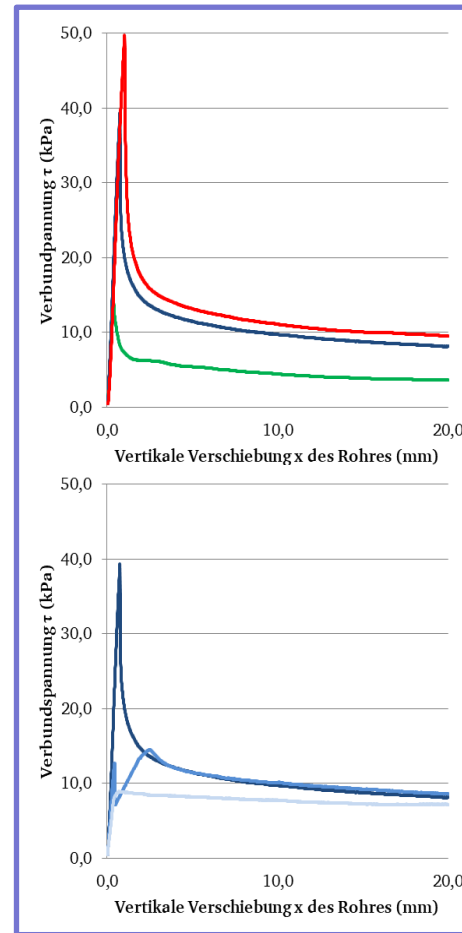
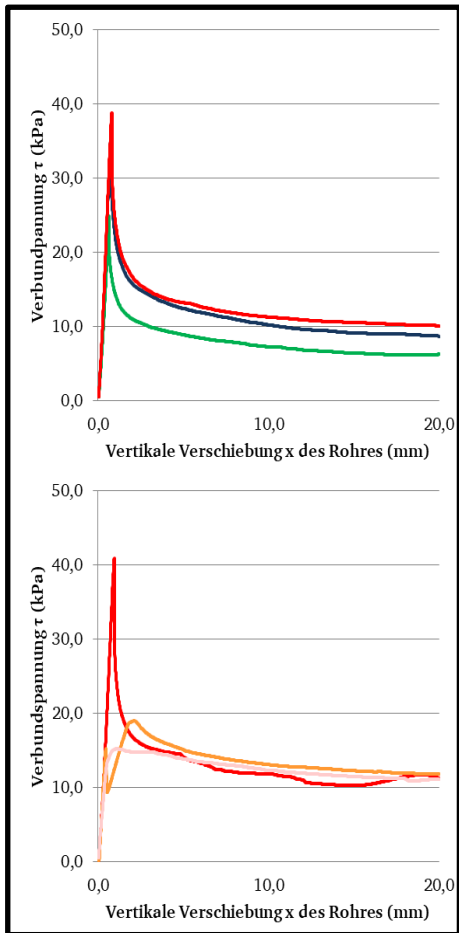
— 20 kPa
— 40 kPa
— 80 kPa

Verschiebungszyklus bei $\sigma = 40$ kPa

— 1. vor
— 2. zurück
— 3. vor

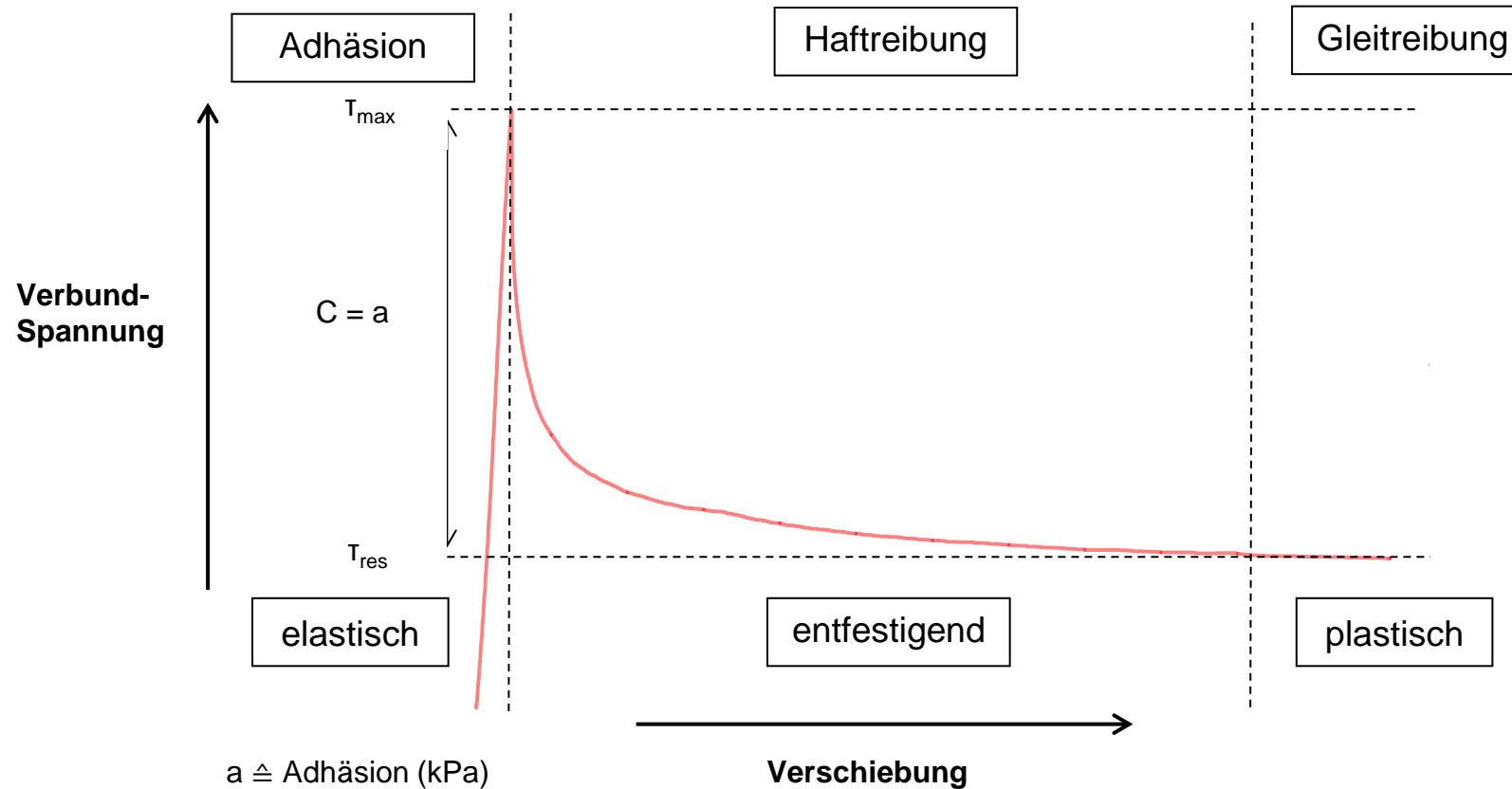
Lockergesteine	DIN EN ISO 14688-1
N1	fgr' sa si Cl
N2	t' msa' fsa Si
N3	si fsa MSa

Verbundspannung – Ergebnisse K1, K2 und H1



ZFSV	DIN EN ISO 14688-1
K1	fsa' csa MSa
K2	fsa' csa MSa

Charakteristisches Kontaktverhalten zwischen PE-Rohr und Bettungsmaterial am Beispiel von K2



Reibungswinkel und Reibungskoeffizienten der Bettungsmaterialien

Keine Unabhängigkeit des residualen Reibungswinkels zum Seitendruck

Reibungskoeffizient wird anhand eines gleitenden Kontaktverhaltens berechnet:

$$\mu_{Gleit} = \tan \varphi_{Gleit}$$

	Reibungswinkel	Reibungskoeffizient
	$\varphi_{res} (\Delta T_{res}) (^{\circ})$	$\mu (-)$
N1 (fgr' sa si Cl)	11,03 ± 1,52	0,19
N2 (t' msa' fsa Si)	17,72 ± 1,46	0,32
N3 (si fsa MSa)	14,17 ± 0,70	0,26
K1 (fsa' csa MSa)	5,68 ± 1,32	0,10
K2 (fsa' csa MSa)	8,29 ± 3,44	0,16
H1, H2	0,34	0,01

		Reibungskoeffizient
		$\mu (-)$
Weidlich (2014)	Oberboden	0,36
	Fein - Mittelsand	0,40 – 0,47
	Sand, Kies	0,43 – 0,50
Saxena & Wong (1984)	Sand	0,23
Williams & Houlihan (1987)	Fein - Mittelsand	0,38
Achmus (1995)	S, U*	0,36

Verbundspannung ist von Seitendruck und somit von Verlegetiefe abhängig

Residualspannungen eines Zyklus streben einem konstanten Minimalwert zu

Die maximale Verbundspannung verringert sich innerhalb eines Zyklus mit jeder Verschiebung

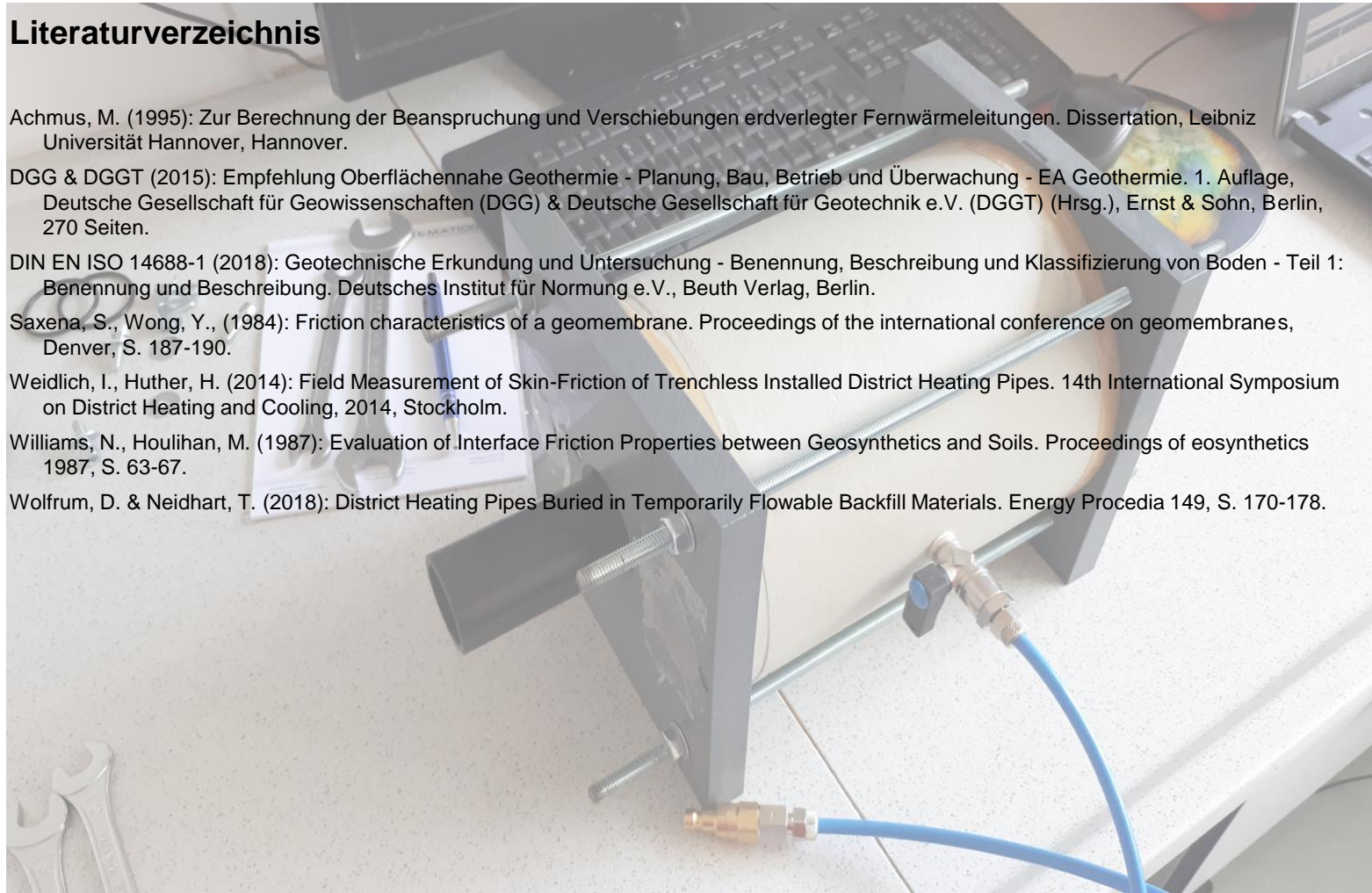
Hinterfüllbaustoffe erreichen höhere Beträge an Verbundspannung im Vergleich zu ZFSV und Lockergesteinen.

ZFSV und Lockergesteine weisen ein vergleichbares charakteristisches Kontaktverhalten mit dem PE-Rohr auf

Mit Zunahme an Korngröße und Abnahme an Bindemittel ist der entfestigende Teilbereich länger anhaltend

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Literaturverzeichnis

- 
- Achmus, M. (1995): Zur Berechnung der Beanspruchung und Verschiebungen erdverlegter Fernwärmeleitungen. Dissertation, Leibniz Universität Hannover, Hannover.
- DGG & DGGT (2015): Empfehlung Oberflächennahe Geothermie - Planung, Bau, Betrieb und Überwachung - EA Geothermie. 1. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften (DGG) & Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) (Hrsg.), Ernst & Sohn, Berlin, 270 Seiten.
- DIN EN ISO 14688-1 (2018): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden - Teil 1: Benennung und Beschreibung. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin.
- Saxena, S., Wong, Y., (1984): Friction characteristics of a geomembrane. Proceedings of the international conference on geomembranes, Denver, S. 187-190.
- Weidlich, I., Huther, H. (2014): Field Measurement of Skin-Friction of Trenchless Installed District Heating Pipes. 14th International Symposium on District Heating and Cooling, 2014, Stockholm.
- Williams, N., Houlihan, M. (1987): Evaluation of Interface Friction Properties between Geosynthetics and Soils. Proceedings of eosynthetics 1987, S. 63-67.
- Wolfrum, D. & Neidhart, T. (2018): District Heating Pipes Buried in Temporarily Flowable Backfill Materials. Energy Procedia 149, S. 170-178.

Titus Seeger

wolf-ruedigertitus.seeger@stud.tu-darmstadt.de

Technische Universität Darmstadt

Angewandte Geothermie

Schnittspahnstraße 9

D-64287 Darmstadt