

Fakultät Bauingenieurwesen Institut für Geotechnik Professur für Bodenmechanik und Grundbau

Ermittlung von Wärmeverlusten bei einer Versuchsanlage zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Böden

Nico Schmid

Einleitung

Die Wärmeleitfähigkeit von Böden λ_{Bp} ist für eine Vielzahl technischer Anwendungen von Bedeutung. Sie beeinflusst beispielsweise die Frostausbreitung bei Bodenvereisungen, den Wirkungsgrad von Erdwärmeübertragern, die Strombelastbarkeit von Erdkabeln und Wärmeverluste von Erdwärmespeichern erheblich. Für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Böden existieren keine standardisierten Verfahren. Am Institut für Geotechnik wurde im Rahmen von unterschiedlichen studentischen Arbeiten ein Versuchsstand entwickelt, realisiert und modifiziert.

Im Rahmen dieser Projektarbeit wurde der Einfluss von Wärmeverlusten und weiteren Randbedingungen auf die bestimmte Wärmeleitfähigkeit versuchstechnisch und numerisch untersucht.

Der Versuchsstand

In diesem Versuchsstand befindet sich die Bodenprobe zwischen zwei Referenzkörpern (Standards) mit bekannter Wärmeleitfähigkeit. Es wird durch ein Temperierbad und die konstante Raumtemperatur ein Temperaturgradient eingestellt. Aus den in den Referenzkörpern gemessen Temperaturdifferenzen und der bekannten Wärmeleitfähigkeit lässt sich mithilfe des Fourier'schen Gesetzes, der durch die Referenzkörper, fließende Wärmestrom bestimmen. Unter der Annahme, dass der Wärmestrom der durch die Bodenprobe fließt eindimensional ist und dem Mittelwert des Wärmestroms im oberen und unteren Referenzkörper entspricht, kann durch die Messung Temperaturdifferenz Boden im die Der Wärmeleitfähigkeit bestimmt werden. Versuchsaufbau ist angelehnt an die ASTM E1225 und in den Abbildungen 1, 5 und 6 dargestellt.

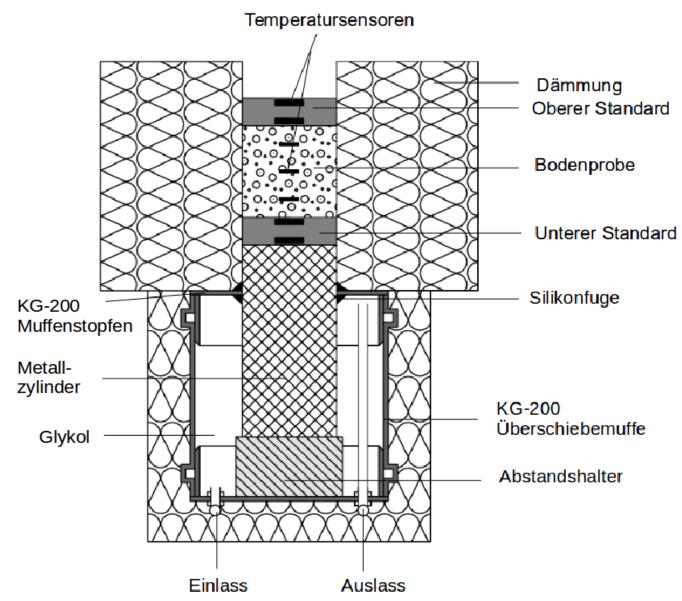


Abb. 1: Versuchsaufbau

Einflüsse auf die bestimmte Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Boden ist hauptsächlich abhängig von der Porenzahl, dem Wassergehalt und der mineralischen Zusammensetzung. Unter gewissen Randbedingungen können weitere Faktoren einen großen Einfluss auf das Versuchsergebnis haben. So kann beispielsweise bei teilgesättigten Böden, einer hohen mittleren Versuchstemperatur und großen Temperaturgradienten der Wassergehalt durch Wasserdampfdiffusion ungleichmäßig verteilt werden. Ein ungleichmäßig verteilter Wassergehalt würde das Versuchsergebnis stark verfälschen. Die zusätzlichen Einflüsse sind in Abbildung 2 zusammengestellt.

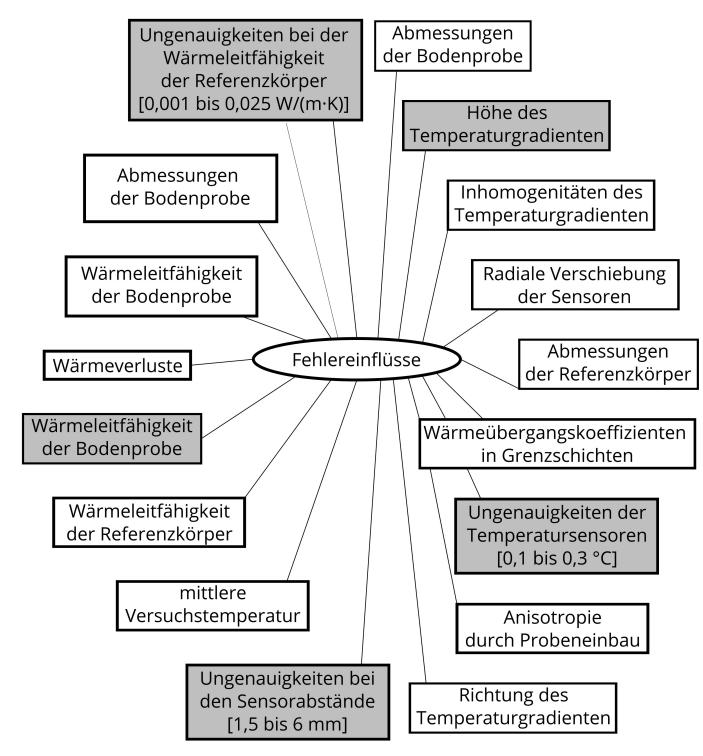


Abb. 2: Fehlereinflüsse des Versuchsstandes

Fehlerrechnung

Um die Relevanz des durch Wärmeverluste verursachten Fehlers einordnen zu können wurde für quantifizierbare Einflüsse eine Fehlerrechnung für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten der Bodenprobe λ_{Bp} und Temperaturgradienten durchgeführt. In der Fehlerrechnung wurden die in Abbildung 2 grau markierten Einflüsse berücksichtigt.

Da die einzelnen Fehlereinflüsse nicht ausreichend genau quantifizierbar sind, wurde eine obere und untere Schranke für den Maximalfehler ermittelt. Die Werte für die Einzelfehler sind in Abbildung 2 zu finden ([untere Schranke bis obere Schranke]). Abbildung 3 zeigt den relativen Maximalfehler $\Delta\lambda_{\rm Bp}$ für eine Temperaturdifferenz von 10 °C zwischen der Oberkante des oberen Referenzkörpers und der Unterkante des unteren Referenzkörpers.

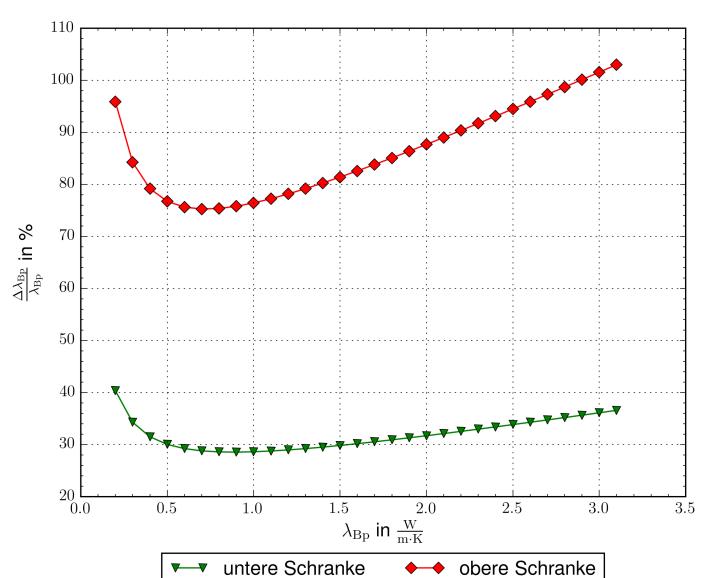


Abb. 3: Maximalfehler für eine Temperaturdifferenz von 10 °C

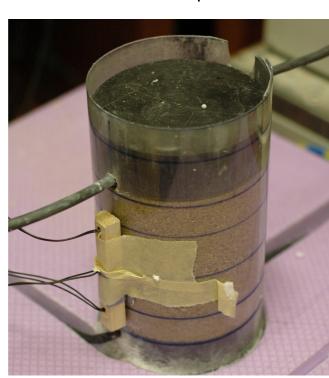


Abb. 4: Bodenprobe und Standards in Einbauhilfe

Wärmeverluste

Da der Wärmestrom im unteren und im oberen Standard bekannt ist, kann der Wärmeverlust im Versuch direkt bestimmt werden. Der durch Wärmeverluste verursachte Fehler wurde mittels FEM-Analysen bestimmt. Analog zur Fehlerrechnung wurden verschiedene Probenwärmeleitfähigkeiten und Dämmstärken untersucht. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der FEM-Analyse für verschiedene Wärmeleitfähigkeiten der Bodenprobe und eine Radialdämmung von 2 cm und 15 cm.

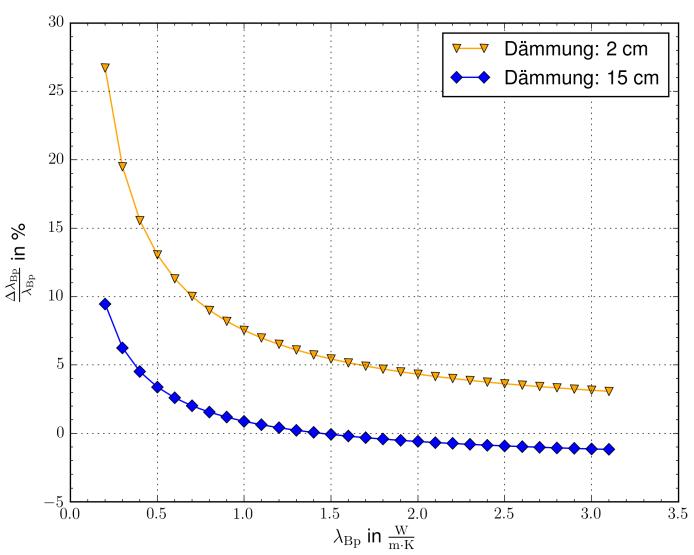


Abb. 5: Durch Wärmeverluste verursachter Fehler (Ergebnisse aus FEM-Analyse)

Fazit

Der Fehler durch Wärmeverluste bei einer 15 cm starken Radialdämmung fällt moderat aus und ist für die untersuchte Geometrie und Referenzkörperwärmeleitfähigkeit nur für kleine Probenwärmeleitfähigkeiten von Bedeutung.



Abb. 6: Versuchsaufbau mit Laborthermostat

Projekt

Projektarbeit

Hochschullehrer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Kornelia Nitzsche, Dipl.-Ing. Markus Uhlig

Abgabe

Februar 2018