

Bestimmung der thermischen Leitfähigkeit von bindigen und nichtbindigen Böden

Friederike Peters

Januar 2019

Das thermische Verhalten eines Baugrunds stellt in der Geotechnik eine immer größere Bedeutung dar. Bereits 2010 beschloss die Bundesregierung Deutschland, die Reduktion der Gewinnung fossiler Energie aus Erdöl, Erdgas und Kohle um die Treibhausgasemissionen zu senken. Nach der Nuklearkatastrophe von Fukushima im März 2011 stand der Umstieg von fossiler Energie und Kernenergie auf erneuerbare Energien fest. Deutschland setzte sich das Ziel bis 2050 mindestens 80% seines Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu beziehen. Neben Wind- und Wasserkraft, Sonnenenergie und nachwachsenden Rohstoffen fällt auch die Geothermie in die Kategorie der erneuerbaren Energien. Dabei wird die oberflächennahe geothermische Energie genutzt. Praktisch heißt das, dass die im Boden gespeicherte Solarenergie gewonnen wird.

Die Energiewende schließt neben der Umgestaltung der Energiegewinnung auch den Ausbau und die Modernisierung der Stromnetze in Deutschland ein, da diese nicht flächendeckend auf den Transport von erneuerbaren Energien ausgelegt sind. Ende 2015 beschloss die Bundesregierung, dass Erdverkabelung bei Gleichstromtrassen Vorrang vor Oberleitungen hat, da die geringe Akzeptanz neuer Oberleitungen in der Bevölkerung den Stromnetzausbau behindert. Erdkabel bieten Oberleitungen gegenüber den Vorteil eines verbesserten Landschaftsbildes. Des Weiteren sind Energieübertragungsverluste geringer und Störungen selten.

Jedoch hat sich auch gezeigt, dass sich das Erdreich im Bereich der Kabel teilweise um bis zu 20 Grad erhöhen und damit Auswirkungen auf Fauna und Flora haben kann. Dies könnte zu Problemen in Landwirtschaft und Schutzgebieten führen. Zur Vermeidung bzw. Verhinderung dieser Probleme ist ein umfangreiches Wissen um die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens notwendig. Auf Grundlage dieses Wissens können Maßnahmen getroffen werden, die diesen Problemen entgegenwirken.

Eine dieser Eigenschaften ist die thermische Wärmeleitfähigkeit (auch: Wärmeleitfähigkeit) des Bodens, die sowohl bei der Gewinnung geothermischer Energie, als auch der Verlegung von Erdkabeln einen wichtigen Parameter darstellt. Sie gibt Aufschluss über die Wärmeausbreitung in einem Boden.

Wärme ist eine Form von Energie, die sich aufgrund von Potentialunterschieden bzw. Temperaturunterschieden ausbreitet. Die Wärme wird nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik immer vom Ort höherer Temperatur zum Ort niedrigerer Temperatur transportiert. Das Vermögen eines Materials Wärmeenergie zu übertragen oder zu transportieren wird als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet. Der Transport bzw. Übertragung von Wärme kann auf drei verschiedene Arten erfolgen, die Wärmeleitung, die Wärmeströmung (Konvektion) und die Wärmestrahlung. Da Böden im Allgemeinen aus drei Phasen, also dem festen Kornanteil, dem Bodenwasser und der Bodenluft bestehen, treten alle drei Arten der Wärmeübertragung in einem Boden auf.

Die einzelnen Wärmetransportarten in den unterschiedlichen Phasen nehmen unterschiedliche Anteile am Gesamtwärmetransport ein, welche durch die Zusammensetzung des Bodens, seiner Struktur, der Wassersättigung und des Temperaturniveaus im Boden bestimmt werden.

Daher führt auch die Modellierung der Wärmeleitfähigkeit eines Bodens zu komplexen mathematischen Zusammenhängen seiner Zustandsgrößen und kann nicht mit der Formel für homogene Stoffe bestimmt werden.

Die Wärmeleitfähigkeit eines Bodens kann nur durch nicht-lineare Ansätze beschrieben werden. Eine exakte Bestimmung ist derzeit sowohl rechnerisch als auch versuchstechnisch nicht möglich. Zur Abschätzung werden daher meist Berechnungsmodelle und thermische Messungen an Böden kombiniert.

Die Berechnungsmodelle basieren auf Abschätzungen und empirischen Studien und berücksichtigen unterschiedliche Bodenparameter. Allen gemein ist jedoch der Ansatz des maßgeblichen Einflusses der Lagerungsdichte und des Wassergehalts eines Bodens auf seine Wärmeleitfähigkeit.

Thermische Messungen können als In-Situ- oder Labormessungen durchgeführt werden. Labormessungen ermöglichen dabei das gezielte Untersuchen und Variieren verschiedener Bodenparameter, die einen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Bodens haben oder haben könnten. Aus Erkenntnissen solcher Versuche kann das Verständnis um die komplexen Zusammenhänge der Wärmeausbreitung im Boden erweitert werden.

Zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit wurde auf Grundlage eines Versuchsstandes der Technischen Universität Dresden am Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Berlin ein eigener Versuchsstand entwickelt, welcher das sogenannte Vergleichsverfahren, eine stationäre Messmethode, nutzt. Dabei werden Temperaturgradienten gemessen und die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit erfolgt über den Vergleich mit einem Referenzmaterial mit bekannter Wärmeleitfähigkeit. Der Versuchsstand (siehe Abbildung 1) wurde in einer Bachelorarbeit, deren Kurzfassung hier vorliegt, in zwei Versuchsreihen in Anwendung gebracht.

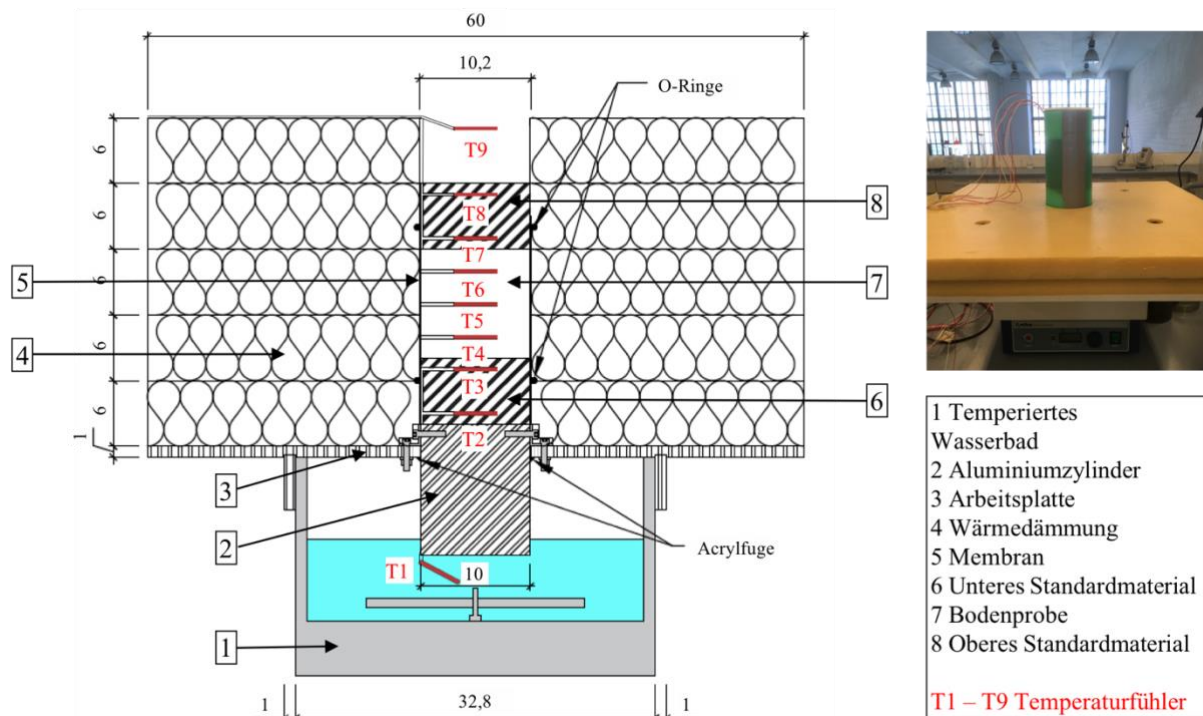


Abbildung 1: Versuchsstand

Aufgrund der maßgeblichen Rolle des Bodenwasser am Wärmetransport im Boden wurde dabei ein besonderes Augenmerk auf den Wassergehalt eines Bodens gerichtet und dessen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit untersucht. In einer ersten Versuchsreihe wurden Wärmeleitfähigkeiten des sogenannten Toyoura-Sandes (ein stark mittelsandiger Feinsand) bei mitteldichter Lagerung und verschiedenen Wassergehalten gemessen. Um die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe zu kontrollieren und einen ersten Ausblick bezüglich der Abhängigkeit

der Wärmeleitfähigkeit von der bezogenen Lagerungsdichte zu schaffen, wurden in einer zweiten Versuchsreihe Wassergehalte bei einer lockeren Lagerung untersucht.

Die Ergebnisse wurden im Rahmen der vorherigen Literaturrecherche bewertet sowie mit Werten aus Berechnungsmodellen verglichen. Dabei wurden sowohl die Wärmeleitfähigkeitswerte als auch der Einfluss des Wassergehalts bewertet. Sowohl die Wertebereiche der Wärmeleitfähigkeit als auch die Kurvenverläufe (siehe Abbildung 2) der Wärmeleitfähigkeit über den Wassergehalt entsprachen den Erwartungen und zeigten eine eindeutige Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Wassergehalt. Auch ein Vergleich der beiden Versuchsreihen (siehe Abbildung 3), die sich durch unterschiedliche bezogene Lagerungsdichte kennzeichnen, zeigte erwartete Tendenzen aus der Literaturrecherche. Die wichtigsten Erkenntnisse der Auswertung der Versuche sind:

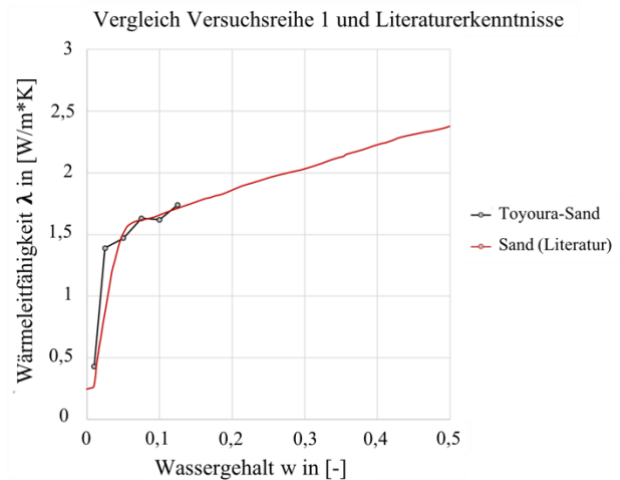


Abbildung 2: Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Wassergehalt der Probe

- Die Wärmeleitfähigkeit eines Sandes steigt mit steigenden Wassergehalten im Bereich niedriger Wassergehalte bis zu einem kritischen Wassergehalt stark an.
- Oberhalb des kritischen Wassergehalts steigt die Wärmeleitfähigkeit eines Sandes mit steigendem Wassergehalt weniger stark an, als unterhalb des kritischen Wassergehalts.
- Durch den Wärmetransport in der Probe findet eine Feuchteumlagerung in der Probe statt.
- Die Wärmeleitfähigkeit eines Sandes steigt mit steigender Lagerungsdichte.

Insgesamt wurden die Ergebnisse als qualitativ zuverlässig eingeschätzt. Quantitative Aussagen bezüglich der Genauigkeit der Messwerte konnten jedoch nicht getroffen werden. Um bessere Aussagen diesbezüglich treffen zu können, müssen Vergleichswerte ähnlicher Bodenproben oder idealerweise Proben mit gleichen Bodenkennwerten herangezogen werden. Dazu kann entweder das Versuchsprogramm im Vorhinein auf vorliegende Vergleichswerte angepasst werden oder es werden mit einem zweiten Versuchsstand Vergleichsmessungen vorgenommen.

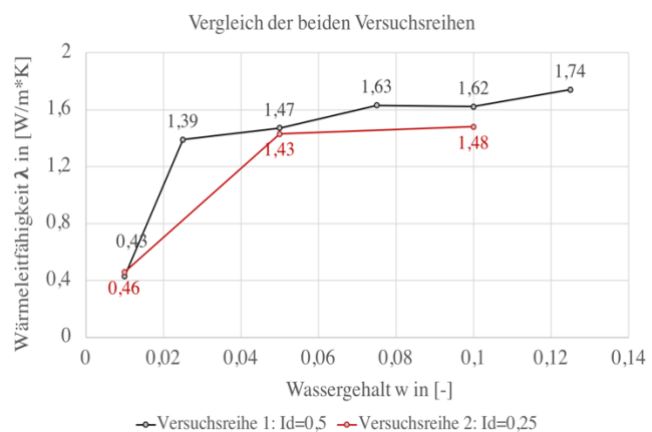


Abbildung 3: Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Lagerungsdichte der Probe

Alles in allem konnte der Versuchsstand erfolgreich angewendet werden. Qualitativ liefert der Versuchsstand zuverlässige Ergebnisse. Weitere Einflüsse auf die Wärmeleitfähigkeit können mit diesem Versuchsstand untersucht werden. Vorher ist es jedoch sinnvoll Untersuchungen bezüglich der Genauigkeit der Messwerte anzustellen.