

Einfluss der Korngröße auf die Wärmeleitfähigkeit

Influence of grain size on thermal conductivity

Anne Simmank

Einleitung

Im Zuge der Energiewende gewinnt zum einen die Erschließung erneuerbarer Energiequellen, zum anderen der Transport des erzeugten Stroms an Bedeutung. Neben Wind, Sonne und Wasser ist auch die Erdwärme eine wichtige Energiequelle.

Bei der Energieerzeugung z.B. mit Windenergie muss ein Transport vom Ort der Erzeugung zu den Verbrauchern erfolgen. Dazu werden in Deutschland vermehrt Hochspannungskabel erdverlegt errichtet. Während des Betriebs erhitzen sich diese Kabel und sorgen für einen Wärmeeintrag in das umgebende Erdreich. Dies ist zum einen zum Schutz der Kabel vor Überhitzung notwendig. Zum anderen kann aber der Wasserhaushalt und damit die nahe Umwelt verändert werden.

Auch bei der Planung von Bodenvereisungen im Tunnelbau oder bei der Dimensionierung von unterirdischen Atommülllagern ist das Wärmetransportverhalten des umliegenden Gebirges relevant. Die Wärmeleitfähigkeit wird für alle erwähnten Anwendungen benötigt und stellt daher einen wesentlichen Kennwert des Bodens dar.

Messmethoden im Labor

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit kann entweder mit stationären oder instationären Methoden erfolgen. Bei stationären Messmethoden wird über eine konstante Erwärmung ein konstanter Temperaturgradient und ein konstanter Wärmestrom erzeugt. Im Labor wird als stationäre Methode die Vergleichsmethode verwendet, für die ein Versuchsstand in Eigenbau (links in Abb. 1) vorliegt.

Die Alternative stellen die instationären Methoden dar. Dabei wird in definierten Zeitabschnitten eine bekannte Heizleistung ausgesendet und die resultierende Erwärmung gemessen. Dabei ist die Änderung der Temperatur in Abhängigkeit der Zeit relevant. Für die Versuche im Labor wurde die Nadelsonde verwendet. Diese besteht aus einer Nadel, die in die Probe gestochen wird, und einer Waage (rechts in Abb. 1), mit deren Hilfe man den Wassergehalt bestimmen kann.

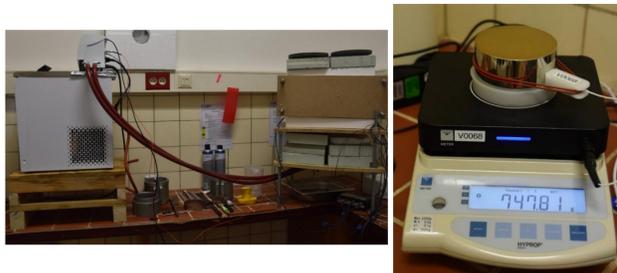


Abb. 1: links: Versuchsstand der Vergleichsmethode, rechts: Probe in Probenzylinder mit Nadelsonde auf der Waage.

Versuchsmaterial

Für die Versuchsdurchführung wurden zwei Versuchsböden (A und B134), sowie deren Grobkorn- und Feinkornanteile verwendet und klassifiziert. Die ermittelten Korngrößenverteilungen für alle sechs Testböden sind in Abbildung 2 dargestellt.

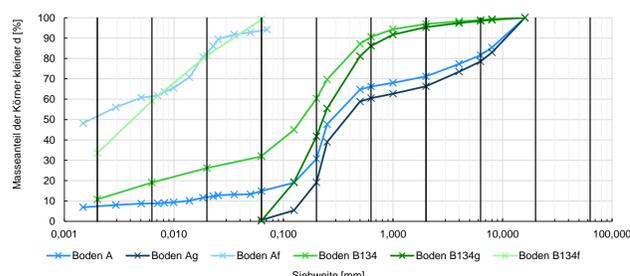


Abb. 2: Korngrößenverteilungen der sechs verwendeten Testböden A, Af, Ag, B134, B134f, B134g.

Einfluss der Korngröße

Der Einfluss der Korngröße zeigte sich in der Auswertung der Versuche im unterschiedlichen Verhalten in Abhängigkeit des Wassergehalts. Je höher der Feinkornanteil der Testböden war, desto deutlicher bildete sich ein parabelförmiger Verlauf mit einem Maximum aus. Bei den grobkörnigen Testböden lag die maximale Wärmeleitfähigkeit beim maximalen Wassergehalt vor. Dies konnte bei beiden Böden festgestellt werden. In Abbildung 3 sind von oben nach unten die Versuche des Versuchsbodens A mit abnehmenden Feinkornanteil dargestellt. Dabei wird in die Versuche mit der Vergleichsmethode und die mit der Nadelsonde unterschieden.

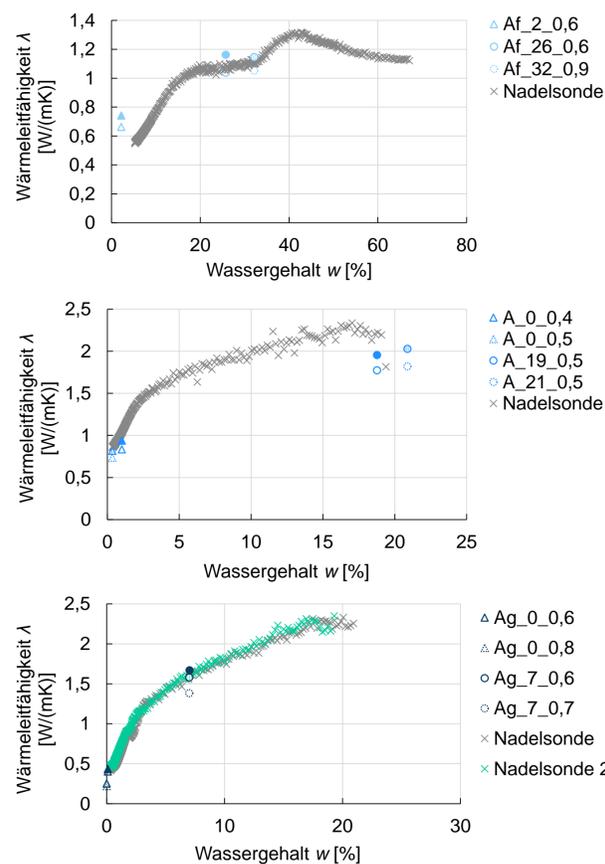


Abb. 3: Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit des Wassergehalts für die Nadelsonde und die Vergleichsmethode für die Testböden Af (Feinkorn), A (Gemischtkorn) und Ag (Grobkorn).

Weiterhin wurde die maximale Wärmeleitfähigkeit λ_{max} in Abhängigkeit der Trockendichte ausgewertet.

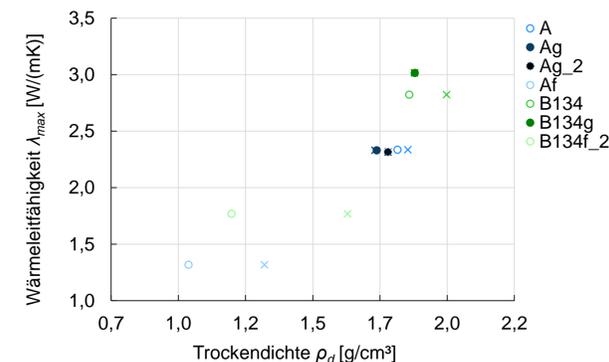


Abb. 4: maximale Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Trockendichte für Einbau (Kreise) und Ausbau (Kreuze).

Es kann gezeigt werden, dass die maximale Wärmeleitfähigkeit mit ansteigender Trockendichte zunimmt. Eine Abhängigkeit vom Kornanteil konnte aufgrund der ansteigenden Dichte mit zunehmendem Kornanteil nicht festgestellt werden.

Weiterhin ist der Dichteunterschied bei feinkörnigen Testböden höher als bei grobkörnigen Testböden.

Vergleich der Messmethoden

Beim Vergleich der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten bestimmt mit der Nadelsonde bzw. der Vergleichsmethode fällt auf, dass bis auf eine Ausnahme die Wärmeleitfähigkeit der Vergleichsmethode beim gleichen Wassergehalt geringer ist als die der Nadelsonde (vgl. Abb. 3).

Die gemessenen geringeren Wärmeleitfähigkeiten können aus verschiedenen Gründen entstehen. Ein Schwachpunkt der Vergleichsmethode sind radiale Wärmeverluste. Infolge hoher Verluste werden niedrigere Temperaturen gemessen und die Wärmeleitfähigkeit unterschätzt. Bei der Nadelsonde besteht eine Ungenauigkeit in der Auswertung, denn die bestimmte Wärmeleitfähigkeit wird mit dem totalen Wassergehalt und nicht mit dem lokalen Wassergehalt um die Nadelsonde korreliert. Der Zusammenhang zwischen dem totalen Wassergehalt und lokalen Wassergehalt um die Nadelsonde wurde in Vergleichsversuchen untersucht und eine maximale Differenz von 2,5 % festgestellt.

Weiterhin gibt es Dichteunterschiede zwischen den Versuchen. Deren Einfluss auf die unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten werden in Abbildung 5 aufgezeigt. Es zeigt sich, dass die Punkte streuen und sich nicht zeigen lässt, dass die großen Dichteunterschiede für große Wärmeleitfähigkeitsdifferenzen verantwortlich sind.

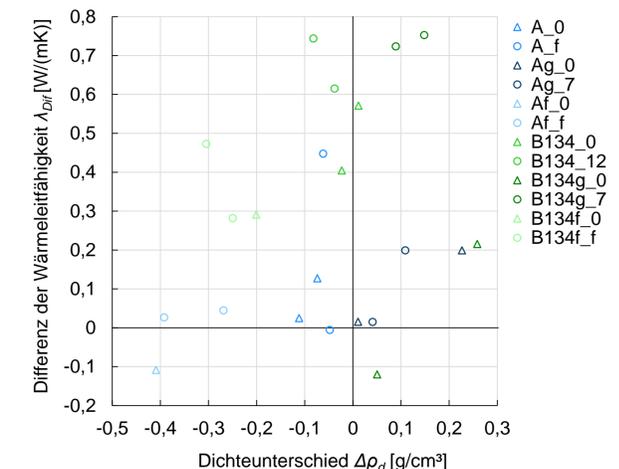


Abb. 5: Dichte- und Wärmeleitfähigkeitsunterschiede ($\lambda_{Dif} = \lambda_{NS} - \lambda_{VM}$) zwischen den Versuchen der Vergleichsmethode λ_{VM} und der Nadelsonde λ_{NS} .

Zusammenfassung

Die Zusammensetzung der Korngrößen eines Bodens beeinflussen die Korngrößenverteilung bzw. deren Ungleichförmigkeit und damit die Dichte, welche wiederum einen hohen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit hat. Durch eine Änderung der Korngröße konnte ein unterschiedliches Verhalten in Abhängigkeit des Wassergehalts festgestellt werden, wobei mit steigendem Feinkornanteil ein immer deutlicherer parabelförmiger Verlauf festgestellt werden konnte.

Die Unterschiede der gemessenen Wärmeleitfähigkeiten bei den beiden Messmethoden resultieren nicht aus Dichteunterschieden, sondern beispielsweise aus den Wassergehaltsverteilungen in den Proben, Anisotropie und Wärmeverlusten bei der Vergleichsmethode.

Projekt

Diplomarbeit

Hochschullehrer

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

Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe

Januar 2025