



Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit unterschiedlicher Messtechnik

(Determination of thermal conductivity using different measurement techniques)

Christian Eichholz

Ziel & Motivation

Ziel: Vergleich und Bewertung von zwei Messmethoden (Nadelsonde & Plattengerät) zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Böden.

Motivation: Die Wärmeleitfähigkeit ist entscheidend für viele ingenieurtechnische Anwendungen, z.B. der Erdkabelverlegung oder der Geothermie. Unterschiedliche Bodenarten und Randbedingungen erfordern geeignete Messverfahren.



Abb. 1: Messung der Wärmeleitfähigkeit mit der Nadelsonde (links) und mit dem Plattengerät (rechts); Foto: C. Eichholz

Messmethoden im Vergleich

Nadelsonde: Instationäres, lokales Verfahren. Vorteil: einfache Durchführung, kontinuierliche Messung möglich.

Verwendetes Gerät: *VIOS Thermal Properties Analyzer* von der *METER Group* (Abbildung 1 links)

Plattengerät: Stationäres, integrales Verfahren. Vorteil: größere Probenvolumen, gezielte Einstellung von Einbauzuständen z.B. mit Verdichtungsgerät möglich, Messung von Einzelpunkte

Verwendetes Gerät: *λ-Meter EP 500e*; *Warmseite oben* (Abbildung 1 rechts)

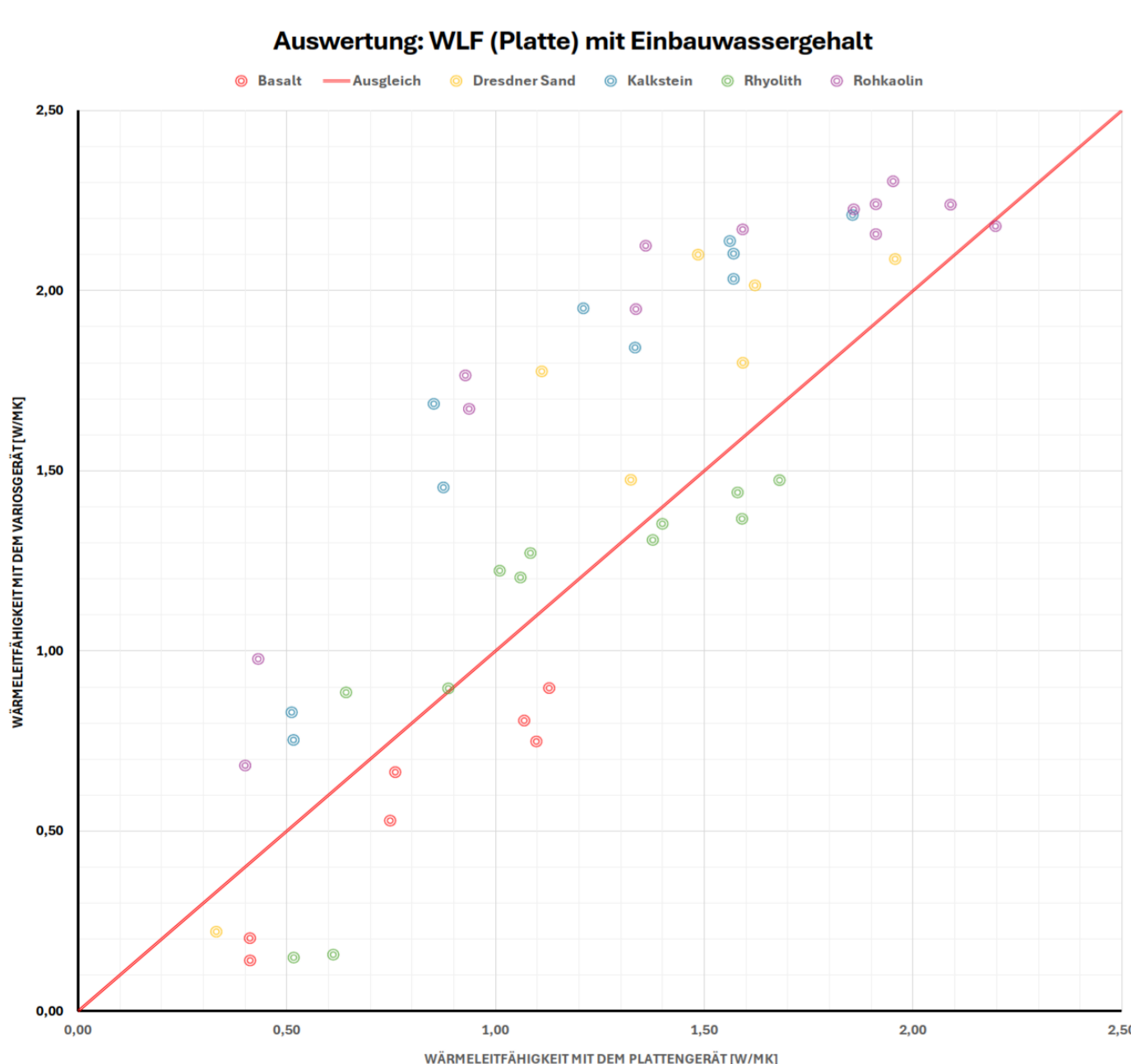


Abb. 2: Streudiagramm zum Vergleich der Messwerte je Methode

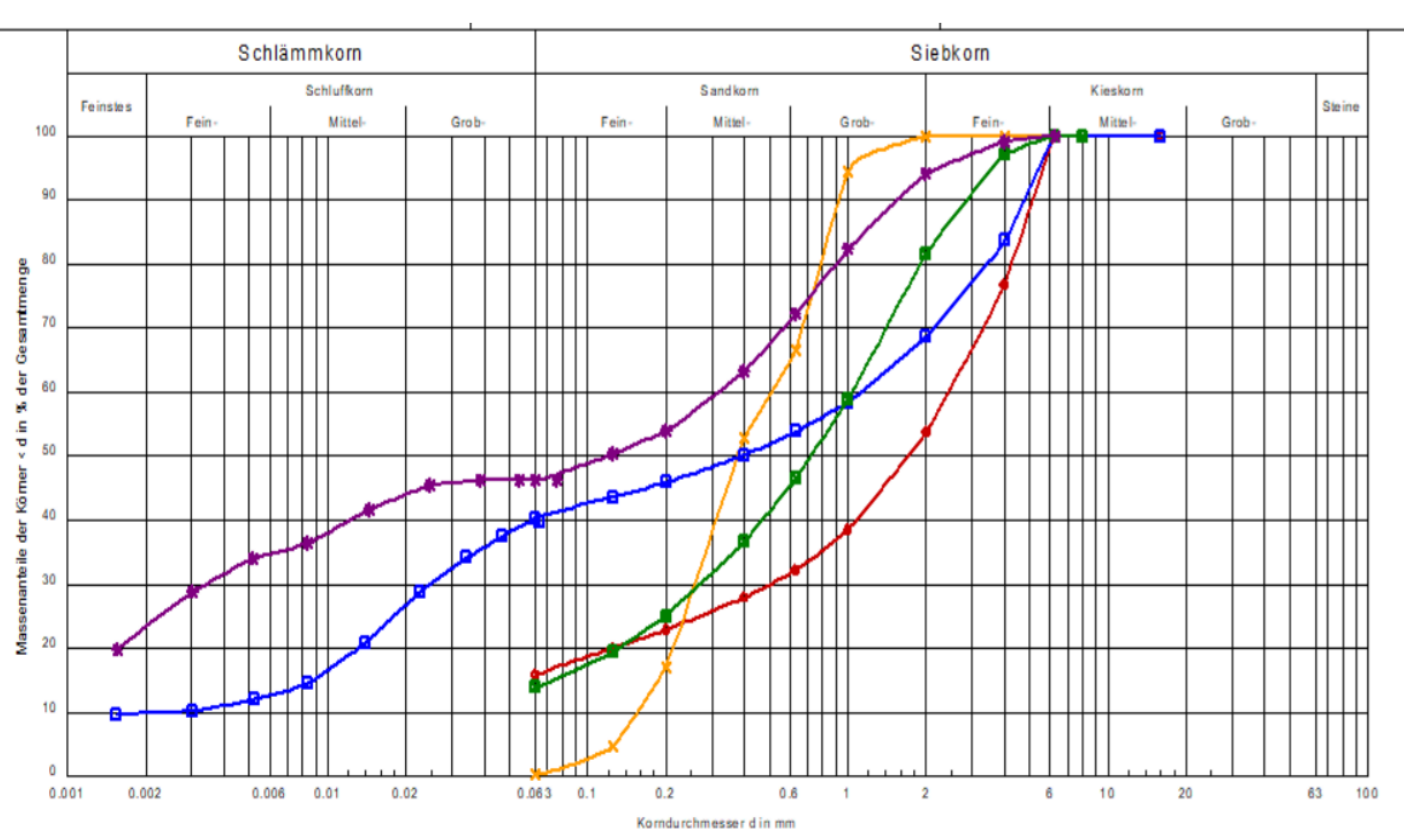


Abb. 3: Granulometrie der untersuchten Böden

Vergleich der Messwerte:

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Messwerte der Wärmeleitfähigkeit von Böden mit zwei unterschiedlichen Messmethoden – Nadelsonde und Plattengerät – verglichen.

Es wurden Böden verschiedener Granulometrie untersucht, die in Abbildung 3 zusammengefasst werden. Hierbei wurde ein großer Bereich der Korngrößen (z.B. **Basalt** mit einem Anteil von 45% Kieskörner $d > 2$ mm bis oder **Rohkaolin** mit Feinkornanteil $d \leq 0,063$ mm zu 47%) untersucht. Dadurch können die verschiedenen Messmethoden hinsichtlich des Korngrößenbereiches der Böden vergleichend bewertet werden.

Das Streudiagramm (Abbildung 2) stellt die Messwerte beider Methoden gegenüber. Die rote 45°-Vergleichsgerade ($y = x$) dient als Referenz: Messpunkte oberhalb dieser Linie bedeuten, dass die Nadelsonde höhere Werte liefert, Punkte darunter zeigen höhere Werte des Plattengeräts.

Die Auswertung von Abbildung 2 und 3 zeigt, dass die Übereinstimmung der Messmethoden stark von der Korngrößenverteilung abhängt:

Beim schluffigen Kies (Basalt GU*, **rot**) liegen die Messpunkte unterhalb der Vergleichsgeraden, das Plattengerät misst systematisch höhere Wärmeleitfähigkeiten als die Nadelsonde.

Beim schwach tonigen, stark schluffigen Kies (Kalkstein TL, **blau**) und tonigen, schluffigen Sand (Rohkaolin UM, **violett**) liegen die Messpunkte überwiegend oberhalb der Geraden, die Nadelsonde liefert hier höhere Werte. Beim schluffigen, feinkiesigen Sand (Rhyolith SU*, **grün**) stimmen die Messwerte beider Methoden sehr gut überein.

Beim enggestuften Sand (Dresdner Sand SE, **orange**) ist das Bild uneinheitlich, mit Messpunkten sowohl oberhalb als auch nahe der Vergleichsgeraden.

Die Übereinstimmung der Messmethoden ist korngößenabhängig. Bei Kiesen zeigt das Plattengerät tendenziell etwas höhere Werte. Bei feineren Böden wird tendenziell mit der Nadelsonde höhere Messwerte erzielt. Vermutlich werden die Differenzen durch Kontaktprobleme generiert: Bei Kiesreiche Böden kann mit der Platte – im Gegensatz zur Nadelsonde – ein vollflächiger Kontakt sichergestellt werden. Feinkornreiche Böden, die insbesondere zum Schwinden neigen, reißen an der Kontaktzone zur Platte ab, was niedrigere Messwerte zur Folge hat. Beim Verfahren mit der Nadelsonde führt das Schwinden der Probe zu einem Anpressen an die Nadel und somit besseren Kontakt.

Die Wahl der Messmethode sollte daher immer an die zu untersuchende Bodenart angepasst werden. Die Messergebnisse an zum Schwinden neigende Proben sollten kritisch bewertet werden, da das Schwinden zur Änderung der Trockendichte im Versuch führt und somit nicht mehr den Einbauzustand repräsentiert.

Feuchtgradient in der Messung mit dem Plattengerät

Bei einer Probenhöhe von 195 mm zeigte sich in der Messung mit dem Plattengerät beim Dresdner Sand ein ausgeprägter Feuchtgradient (Abbildung 4): Die oberste Schicht 1 verlor deutlich Wasser, während sich in der unteren Schicht 6 Wasser anreicherte. Der Wassertransport erfolgte dabei überwiegend gravitationsbedingt von oben nach unten. Ab einer Probenhöhe von etwa 150 mm wurden die Messwerte des Plattengeräts vergleichbar mit denen der Nadelsonde, allerdings war der Vorbereitungsaufwand für diese hohen Proben deutlich größer. Flachere Proben zeigten hingegen deutlich niedrigere Wärmeleitfähigkeiten. Das ist vermutlich infolge der Austrocknung an den Probenrändern ausgebildete „Dämmschicht“ zurückzuführen, die bei kleinerer Probengeometrie einen größeren Einfluss auf den gemessenen Wert nimmt. Zudem wurde beobachtet, dass keine Konvektion innerhalb der Probe auftrat; der Wassertransport erfolgte ausschließlich durch Diffusion und (überwiegend) durch Gravitation.

Zusammenfassung

Zur Bewertung der Messmethoden wurde in Tabelle 1 eine Bewertungsmatrix erstellt, die in der Arbeit detailliert erläutert wird. Diese Matrix bietet eine strukturierte Grundlage für die Auswahl des passenden Messverfahrens in der Praxis. Darüber hinaus wurde das Prognosemodell nach Côté und Konrad hinsichtlich der gemessenen Werte analysiert und die Einflüsse von Fremdstoffen auf die Wärmeleitfähigkeit untersucht. Die Arbeit zeigt, dass Fremdstoffe wie Stahl, Holz oder Dämmstoffe die Messergebnisse deutlich beeinflussen können.

Insgesamt liefert die Arbeit eine praxisorientierte Bewertung der Messverfahren, empirische Prognosemodells und eine Analyse der Störeinflüsse durch Fremdstoffe. Sie bietet damit eine fundierte Grundlage für die Auswahl und Anwendung geeigneter Messmethoden zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Böden.

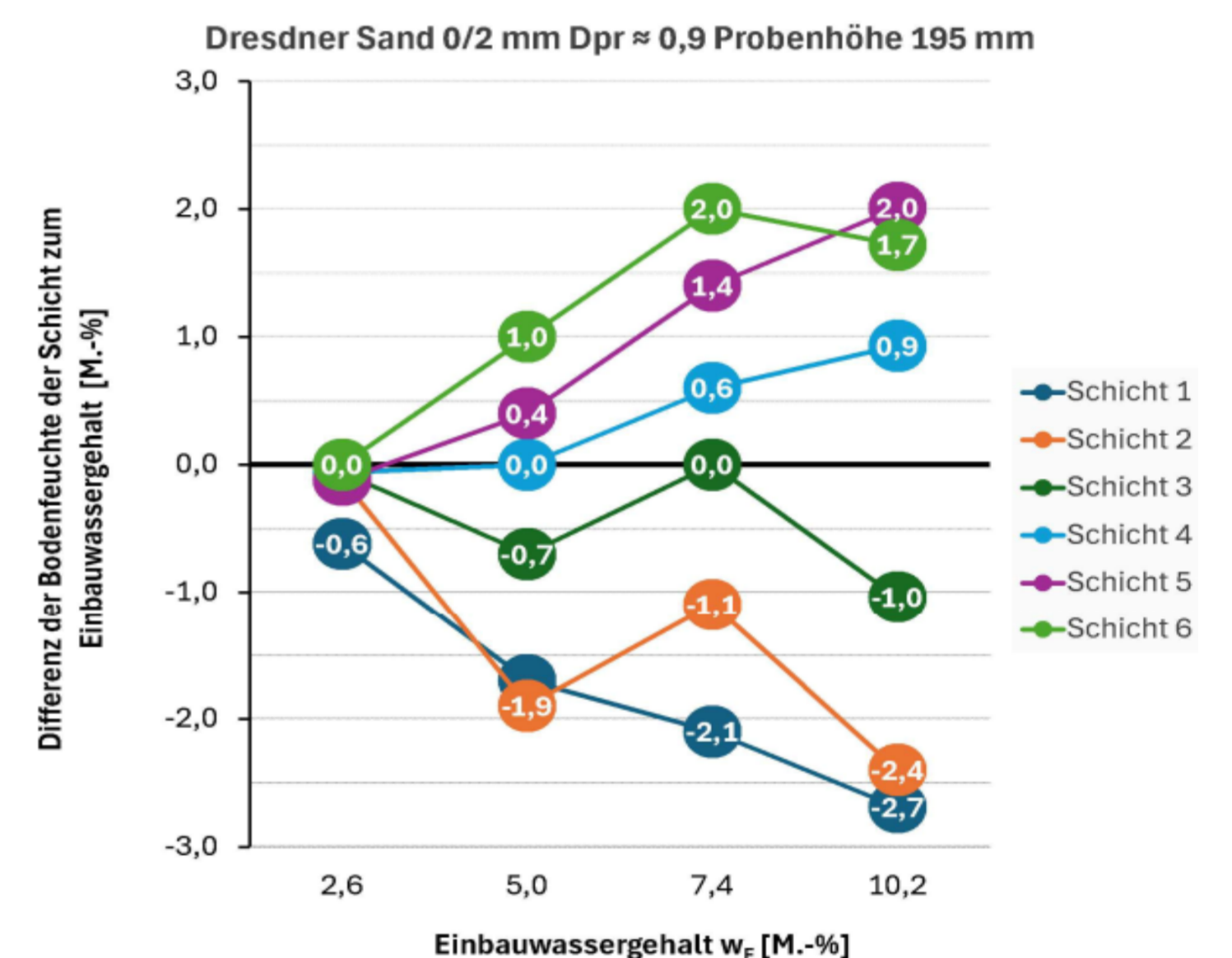


Abb. 4: Einstellen eines Feuchtgradientes bei der Messung mit dem Plattengerät am enggestuften (Dresdner) Sand in durch Vergleich der Einbau- und Ausbaubodenfeuchte. Schicht 1 = Oberste Schicht; Schicht 6 = Unterste Schicht

Tab. 1: Bewertung der Untersuchungsmethoden

Kriterium	Plattengerät	Nadelsonde
Kosten & Aufwand	hoch	gering
Messdauer (gesamt)	kurz (mehrere Punkte/Tag)	lang (~2 Wochen)
Messwerte	Einzelwerte	kontinuierlich
Wassergehalt	neue Probe je Punkt	eine Probe (kont. Verlauf)
Repräsentativität	Abhängig von der Korngröße	Abhängig von der Korngröße
Inhomogenität	gut erfassbar	lokal begrenzt
Kiesreiche Böden	gut geeignet	Problematisch (Kontakt!)
Feinkörnig	geringere Messwerte (Kontaktabriss durch Schwinden)	höhere Messwerte (Anpressen der Probe an die Nadel durch Schwinden)
Sande (enggestuft)	auf Probenhöhe achten, geeignet	gut geeignet
Sande (gemischt-körnig)	gut geeignet	gut geeignet

Projekt

Projektarbeit

Hochschullehrer

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

Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe

März 2026