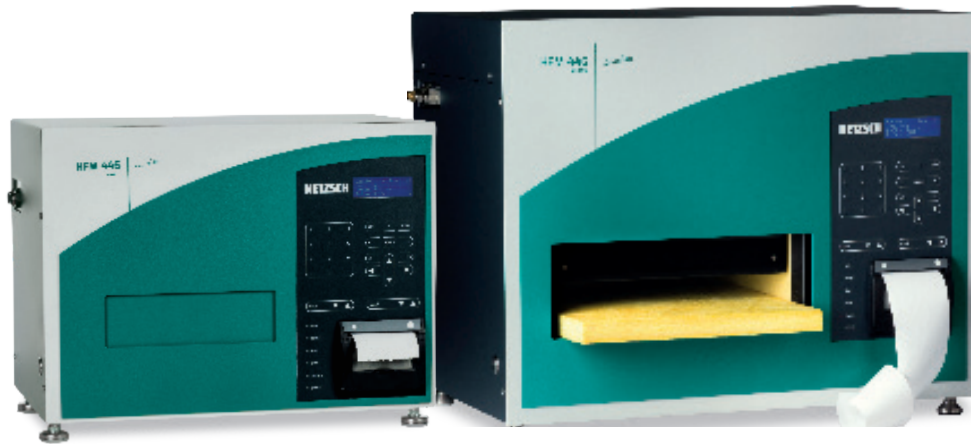


Wie dünne Wärmedämmstoffe mittels HFM richtig gemessen werden können

Fabia Beckstein



1 HFM Lambda Small und HFM Lambda Medium

Einleitung

Bekannte Dämmstoffe wie Mineralwolle oder Polymerschäume werden in der Regel mit einer hohen Dicke (mehrere Zentimeter) hergestellt, um den geforderten U-Wert für die Wärmedämmung von Gebäuden zu erfüllen. Ein geeignetes Messgerät zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit λ ist das Wärmeflussmessgerät HFM 446 *Lambda Medium* (Abbildung 1). Dämmstoffe werden aber auch in anderen Bereichen und mit anderen Dicken eingesetzt, wie zum Beispiel in der Wärme- und Schalldämmung von Fußböden. Die Dicke solcher Dämmmaterialien beträgt oft nur wenige Millimeter. Anhand der folgenden Messungen kann gezeigt werden, wie solche dünnen Materialien mit dem HFM 446 *Lambda Medium* erfolgreich untersucht werden können.

U-Wert

Der U-Wert gibt den Wärmestrom durch ein Bauteil abhängig vom Temperaturgefälle zwischen warmer und kalter Seite in der Einheit $[W/(m^2 \cdot K)]$ an. Die Einheit beschreibt die hindurchströmende Energie durch 1 Quadratmeter aufgrund eines Temperaturunterschiedes von 1 Kelvin. Dieser Wert charakterisiert die Dämmeigenschaften eines Bauteils; praktisch bedeutet dies: je geringer der U-Wert, desto besser ist die Dämmwirkung. Je höher der U-Wert, desto schlechter ist die Dämmwirkung. Das Gebäude verliert dann mehr Wärme an kalten Wintertagen.

APPLICATIONNOTE Wie dünne Wärmedämmstoff mittels HFM richtig gemessen werden können

Messmethode

Durch ein zu messendes Material wird zwischen zwei Platten ein Temperaturgradient eingestellt. Mit zwei hochgenauen Wärmeflussensoren in den Platten wird der Wärmestrom in das Material bzw. aus dem Material heraus gemessen. Ist der Gleichgewichtszustand dieses Systems erreicht und der Wärmefluss konstant, kann mit Hilfe der Fourier-Gleichung unter Kenntnis der Messfläche und der Dicke der Probe die Wärmeleitfähigkeit berechnet werden (siehe Schema Abbildung 2).

Messbedingungen

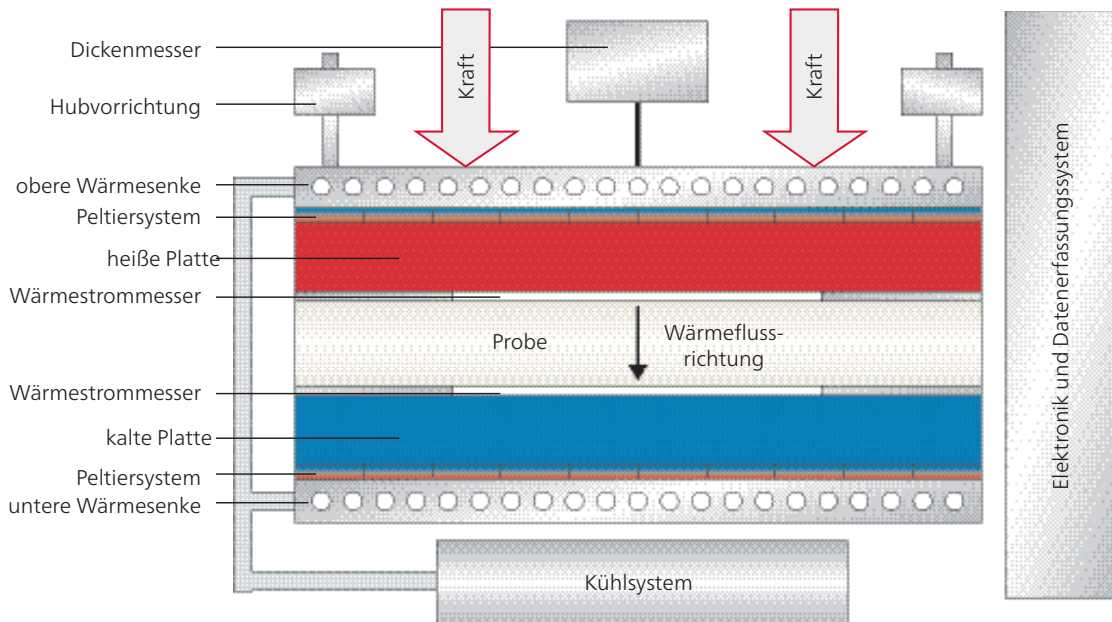
Eine Naturfaserdämmplatte mit einer Dicke von 4 mm wurde untersucht. Der thermische Widerstand R ($R = d/\lambda$) solcher dünner Proben stellt für die Messung eine Herausforderung dar. Proben mit einem thermischen Widerstand kleiner als ca. $0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ können mit dem HFM (DIN EN 12667) standardmäßig nicht gemessen werden. Der Kontaktwiderstand zwischen Platten und Probe ist nicht mehr vernachlässigbar und beeinflusst das Ergebnis. Um das Problem des geringen thermischen

λ	Wärmeleitfähigkeit [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]
d	Dicke [mm]
$R = d/\lambda$	Thermischer Widerstand [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]
$U = 1/R$	Wärmeübergangskoeffizient [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$]

Widerstands zu überwinden, wurden Messungen mit zwei unterschiedlichen Ansätzen durchgeführt.

- Stapeln von mehreren Proben, erwähnt in DIN EN 12667
- Messung einer Probe mit zusätzlichem externen Thermoelement und Kontaktmatten (Erweiterungsset), beschrieben in DIN EN 12664 für Proben mit einem thermischen Widerstand $< 0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$

Die Messungen wurden unter Luft bei einer mittleren Probentemperatur von $25 \text{ }^\circ\text{C}$ durchgeführt. Der Temperaturunterschied zwischen den Platten betrug 20 K . Die Probe wurde unter einem Druck von ca. 2 kPa gemessen.



2 Schema des HFM; dieses wird kalibriert geliefert

APPLICATIONNOTE Wie dünne Proben mittels HFM richtig gemessen werden können

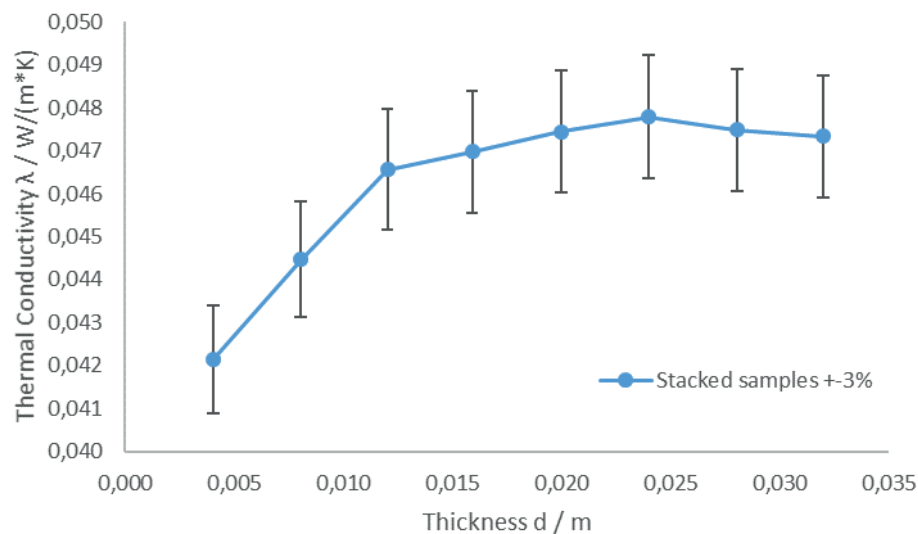
Stapeln von Proben

Abbildung 3 zeigt die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Gesamtdicke der gestapelten Proben (1 bis 8 Schichten). Die Messdaten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Im unteren Dickenbereich zeigt die Wärmeleitfähigkeit eine Abhängigkeit von der Dicke. Der Kontaktwiderstand

zwischen der Probe und den HFM-Platten hat Einfluss auf die Ergebnisse (geringere Wärmeleitfähigkeit).

Ab einer Dicke von mehr als 20 bis 24 mm (5 bis 6 Schichten) ist die Wärmeleitfähigkeit konstant und ist nicht mehr von der Dicke abhängig. Dies ist der Bereich, in dem der Kontaktwiderstand vernachlässigbar ist und zuverlässige Messungen möglich sind. Der thermische Widerstand der Probe ist größer als ca. $0,5(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$.



3 Wärmeleitfähigkeit einer Naturfaserdämmplatte in Abhängigkeit der Gesamtdicke (= Anzahl der Schichten)

Tab 1. Messergebnisse der gestapelten Proben einer 4 mm dicken Naturfaserdämmplatte

Anzahl der Schichten	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit* [W/(m·K)]	Thermischer Widerstand [(m ² ·K)/W]
1	4	0,04214	0,0958
2	8	0,04447	0,1812
3	12	0,04565	0,2582
4	16	0,04697	0,3387
5	20	0,04745	0,4214
6	24	0,04779	0,5021
7	28	0,04749	0,5906
8	32	0,04734	0,6757

* alle Ergebnisse ± 3 %

APPLICATIONNOTE Wie dünne Wärmedämmstoffe mittels HFM richtig gemessen werden können

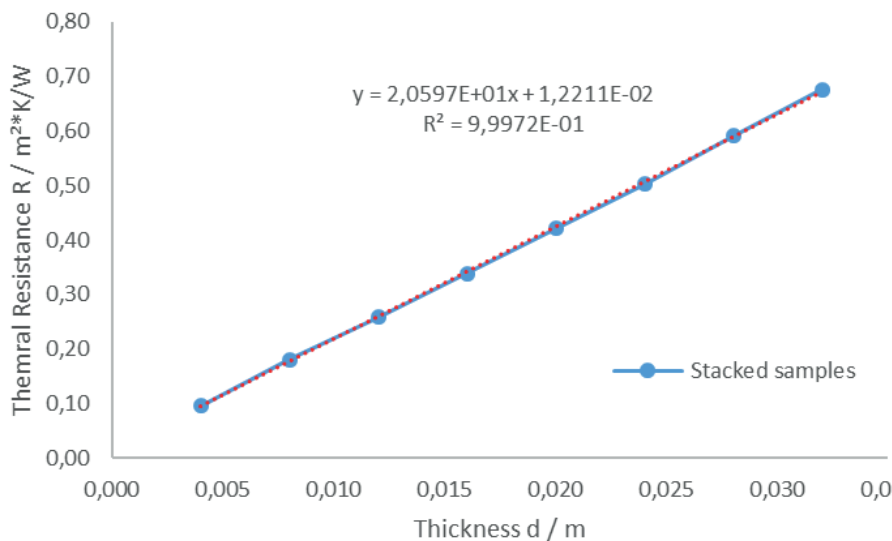
Abbildung 4 (thermischer Widerstand in Abhängigkeit der Gesamtdicke) bestätigt die Zuverlässigkeit der Messungen mit gestapelten Proben. Der thermische Widerstand steigt mit zunehmender Dicke linear an. Die lineare Trendlinie ergibt einen R^2 -Fit von 0,99972 und die Steigung ist ein Indikator für die Wärmeleitfähigkeit (Steigung $m = R/d = 1/\lambda \rightarrow \lambda = 0,04855 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$). Dieser Wert stimmt sehr gut mit den Messergebnissen der gestapelten Proben mit einer Dicke größer $\sim 20 \text{ mm}$ überein, siehe Tabelle 1.

Erweiterungsset

Für Proben mit geringem thermischen Widerstand können Messungen mit dem Erweiterungsset (= externe Thermoelemente und Kontaktmatten) auch eine gute Lösung darstellen. Das Problem des Kontaktwiderstands wird durch die direkte Messung der Oberflächentemperatur gelöst. Für steife Proben ist das Erweiterungsset eine gute Wahl. Da die 4 mm-dicke Naturfaserdämmplatte nicht völlig steif, sondern noch flexible ist, gibt es hier jedoch eine Unsicherheit. Die externen Thermoelemente

können in die Probenoberfläche eindringen. Deshalb ist die Dicke (= Abstand zwischen den externen Thermoelementen) nicht genau bekannt. Aufgrund der geringen Dicke von nur 4 mm kann auch eine kleine Penetration hohe Abweichungen im Ergebnis verursachen (relativer Fehler in der Dicke verursacht den gleichen relativen Fehler in der Wärmeleitfähigkeit).

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse einer Messung mit Erweiterungsset. Im Vergleich zu den Ergebnissen der gestapelten Proben zeigt die Messung einer Schicht mit dem Erweiterungsset einen ca. 10 % höheren Wert. Eine um 10 % höhere Wärmeleitfähigkeit ist höchstwahrscheinlich auf eine um 10 % falsche Schichtdicke aufgrund des Eindringens der externen Thermoelemente (200 μm auf jeder Seite) zurückzuführen. Dies wird durch die Messung an 1 und 2 Schichten mit dem Erweiterungsset und die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit mit angepasster Dicke (= Dicke abzüglich $2 \times 200 \mu\text{m}$) bestätigt. Die Wärmeleitfähigkeit mit angepasster Dicke stimmt gut mit den Werten der Messungen mit gestapelten Proben überein.



4 Thermischer Widerstand einer Naturfaserdämmplatte in Abhängigkeit der Gesamtdicke

Tab 2. Messergebnisse der 4 mm dicken Naturfaserdämmplatte mit Erweiterungsset

Anzahl der Schichten	Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit* [W/(m·K)]	Angepasste Dicke [mm]	Wärmeleitfähigkeit mit angepasster Dicke [W/(m·K)]
1	4	0,05281	3,6	0,04753
2	8	0,05071	7,6	0,04817

APPLICATIONNOTE Wie dünne Wärmedämmstoffe mittels HFM richtig gemessen werden können

Zusammenfassung

Die Wärmeleitfähigkeit von dünnen und flexiblen Dämmstoffmaterialien kann mit dem HFM 446 *Lambda Medium* gemessen werden, indem mehrere Schichten eines Materials für eine ausreichende Dicke gestapelt

werden. Eine Messung mit externen Thermoelementen (Erweiterungsset) an flexiblen Proben kann aufgrund des möglichen Eindringens der Thermoelemente in die Probenoberflächen zu höheren Wärmeleitfähigkeitswerten führen.