

## Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Beton mittels Wärmeflussmesser (HFM) und geschützter Plattenapparatur (GHP)

Robert Campbell und Mitch Rose



1 HFM 436/3 Lambda

### Einführung

Mittels HFM- und GHP-Apparaturen (Abbildungen 1 und 2) lässt sich die thermische Leistungsfähigkeit steifer Baumaterialien mit relativ hoher Wärmeleitfähigkeit (geringer thermischer Widerstand) wie z.B. Holz, Gipskarton, Beton, Stein und andere Bauprodukte bestimmen. Diese Methoden sind standardisierte Prüftechniken, deren Anwendung (Isolations- und Baumaterialien) mit zum Beispiel folgenden Normen eng verknüpft ist:

- ISO 8301:1991: Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus.
- ISO 8302:1991: Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Guarded hot plate apparatus.
- ASTM C518: Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus.



2 GHP 456 Titan®

- ASTM C177: Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded hot plate apparatus
- DIN EN 12667/12939:2001: Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät – (dicke) Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand.
- DIN EN 13163:2001: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) - Spezifikation.

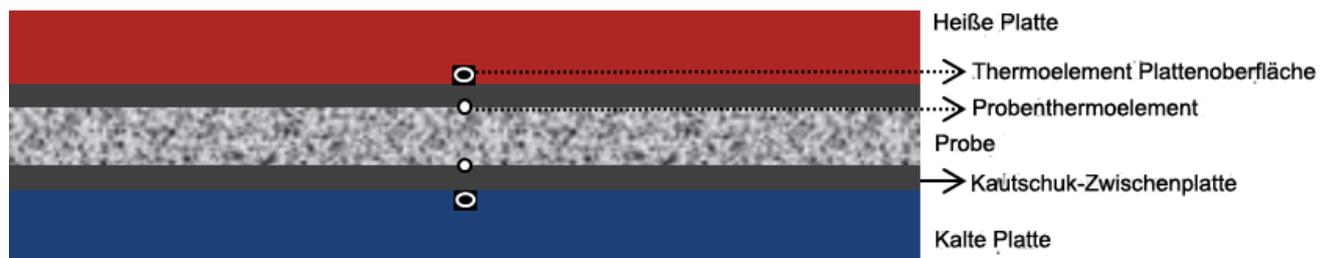
## APPLICATIONNOTE Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Beton mittels Wärmeflussmesser (HFM) und geschützter Plattenapparatur (GHP)

Mit der absoluten GHP-Methode kann eine Genauigkeit von  $\pm 2\%$  erreicht werden. Die HFM-Methode setzt eine Kalibrierung des Geräts voraus. Abhängig vom Referenzmaterial können ebenfalls Genauigkeiten von  $\pm 2\%$  erhalten werden.

### Spezielle Handhabung steifer Proben mit rauen Oberflächen

Beide Methoden setzen eine sorgsame Probenvorbereitung und gezielte Techniken für die Messung der genauen Oberflächentemperatur voraus. Die genannten Materialien (z.B. Beton) können raue Oberflächen aufweisen und die Präparation flacher, paralleler Oberflächen kann schwierig

sein. Demzufolge kann es zu einem beträchtlichen thermischen Grenzflächenwiderstand (d.h. Temperaturabfall) in den Lufträumen zwischen Geräteplatten und Probenoberfläche kommen. Ist dieser thermische Widerstand im Vergleich zum thermischen Widerstand der Proben zu groß, können die an der Plattenoberfläche angebrachten Temperatursensoren zur Messung des Temperaturunterschieds über der Probe nicht mehr verwendet werden. Eine Möglichkeit besteht darin, zusätzliche Thermoelemente mit kleinem Durchmesser an den Probenoberflächen anzubringen und eine nachgiebige Zwischenplatte (z.B. aus Silikonkautschuk) zwischen den Platten und Probenoberflächen, wie in Abbildung 3 gezeigt, anzubringen.



3 Anordnung für Thermoelemente an der Probenoberfläche

### Messparameter

In diesem Fall wurden drei Paar von Betonproben (305 mm x 305 mm mit einer Dicke von ca. 50 mm) mit der GHP-Methode (doppelseitig) untersucht; dann wurde jede der sechs Proben mit dem HFM getestet. Für jede Methode wurden an der Probenoberfläche angebrachte Thermoelemente und Zwischenplatten aus Silikonkautschuk mit einer Dicke von 7 mm verwendet.

Die Kalibrierung des HFM 436 erfolgte mit einer NIST 1450b (Standard Reference Material®)-Glasfaserplatte mit einer Dicke von 25 mm. Die Temperaturmessung wurde mittels Probenthermoelementen, die über die Datenerfassungskanäle der Plattenthermoelemente angeschlossen wurden, realisiert;

weiterhin konnte mit der automatischen Offset-Anpassung in der Software die Plattentemperatur während des Tests angepasst werden, um den definierten Unterschied in der Probentemperatur zu erhalten. Die Ausgleichsparameter wurden auf 1 % (grob) und 0,1 % (genau) eingestellt.

Die Untersuchungen wurden bei Raumtemperatur (mittlere Probentemperatur, siehe Tabelle 1) durchgeführt. Der Temperaturunterschied zwischen den zwei GHP-Platten betrug ca. 26 K bei einem Temperaturunterschied von 12 K über der Probe. Beim HFM betrug der Temperaturunterschied ca. 18 K bei 8 K über der Probe.

## APPLICATION NOTE Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Beton mittels Wärmeflussmesser (HFM) und geschützter Plattenapparatur

### Messergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Wärmeleitfähigkeit von 1,8 W/(m·K) für Betonprobe C mit höherer Dichte ist erwartungsgemäß wesentlich höher gegenüber 1,2 bis 1,3 W/(m·K) für die Proben A und B. Die Übereinstimmung zwischen den Methoden ist sehr gut, insbesondere angesichts des niedrigen thermischen

Widerstands der Proben und der nicht perfekten Oberflächen. Der Durchschnitt der mittels HFM gemessenen Wärmeleitfähigkeit für die einzelnen Proben ist 4,1 % niedriger bis 2,4 % höher im Vergleich zu der GHP-Messung an beiden Proben.

Probe	Dicke (mm)	Dichte (Kg/m <sup>3</sup> )	Mittlere Temperatur (°C)	Wärmeleitfähigkeit (W/(m·K))	Thermischer Widerstand (m <sup>2</sup> ·K/W)
A1, A2 (GHP)	52,6	1896	24,1	1,36	0,0387
A1 (HFM)	53,6	1897	23,9	1,38	0,0387
A2 (HFM)	51,6	1895	23,9	1,23	0,0421
A1, A2 (avg., HFM)	52,6	1896	23,9	1,31	0,0404
<i>Abweichung</i>				-4,0%	
B1, B2 (GHP)	51,1	1909	25,0	1,27	0,0402
B1 (HFM)	51,1	1935	23,9	1,23	0,0416
B2 (HFM)	51,0	1882	24,1	1,21	0,0423
B1, B2 (avg., HFM)	51,1	1909	24,0	1,22	0,0419
<i>Abweichung</i>				-4,1%	
C1, C2 (GHP)	51,4	2297	25,2	1,76	0,0292
C1 (HFM)	51,7	2298	23,4	1,92	0,0269
C2 (HFM)	51,1	2296	23,8	1,69	0,0303
C1, C2 (avg., HFM)	51,4	2297	23,6	1,80	0,0286
<i>Abweichung</i>				2,4%	

**Tab. 1** Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Beton mittels GHP and HFM

### Zusammenfassung

Sowohl die absolute GHP- als auch die relative HFM-Methode sind bestens geeignet, die Wärmeleitfähigkeit und den thermischen Widerstand steifer Baumaterialien mit relativ hoher Wärmeleitfähigkeit (>1 W/(m·K)) – selbst mit rauen Oberflächen – zu bestimmen. Es konnte aufgezeigt werden, dass durch zusätzliche Thermoelemente

und Zwischenplatte zwischen den Platten und Proben die genaue Messung der Oberflächentemperatur möglich ist. Die geringe Abweichung zwischen den GHP- und HFM-Messergebnissen unterstreichen die hohe Leistungsfähigkeit beider Methoden.