

APPLICATION NOTE

Isolationsmaterialien – Guarded Hot Plate

GHP als Schlüsseltechnologie: Präzise Charakterisierung der Wärmeleitfähigkeit von Isolationsmaterialien unter Inertgas und Vakuum

Fabia Beckstein und Dr. Jan Hanss, Applications Laboratory Selb

Einleitung

Thermische Isolationsmaterialien sind entscheidend, um Wärmeverluste zu minimieren und stabile Temperaturbedingungen in technischen Systemen sicherzustellen. Die präzise Charakterisierung ihrer Wärmeleitfähigkeit erfolgt häufig mit stationären Methoden wie z.B. der Guarded-Hot-Plate-Methode (GHP). Solche Untersuchungen sind nicht nur in der Materialforschung relevant, sondern auch in der Raumfahrt, wo Isolationsmaterialien unter Vakuum und extremen Temperaturschwankungen eingesetzt werden. Dabei liefern GHP-Messungen unter anderem wertvolle Daten für das thermische Design und die Leistungsbewertung.

Die effektive Wärmeleitfähigkeit von faserförmigen Isolationsmaterialien (z.B. Glaswolle) hängt hauptsächlich von drei Wärmeübertragungsmechanismen ab:

- Wärmeleitung durch den Feststoff
- Wärmeübertragung durch Strahlung
- Wärmeleitung durch die Gasphase

Je nach Temperatur, Dichte und Gas innerhalb des Isolationsmaterials, kann sich die effektive Wärmeleitfähigkeit stark ändern.

Diese Application Note widmet sich unterschiedlichen Atmosphären. Eine Standard-Glaswolle (NIST SRM 1450D) mit bekannter Wärmeleitfähigkeit an Luft wurde in der GHP 456 *Titan*® untersucht. Das Gerät ist mit einem Ofen ausgestattet, der sowohl verschiedene Spülgase als auch Messungen unter reduziertem Druck ermöglicht.

Experimentelles

Das Material NIST SRM 1450D wurde bei mittleren Proben-temperaturen (T_{mean}) zwischen 10 °C und 60 °C mit einer Temperaturdifferenz über den Messplatten (ΔT) von 20 K untersucht. Die Messungen wurden unter verschiedenen Gasen (Argon, Stickstoff, Helium) und bei verschiedenen Drücken (ca. 0,01 mbar bis 1000 mbar) durchgeführt. Vor jeder Messung mit einem anderen Gas wurde das Gerät inkl. der Proben zweimal evakuiert und mit dem neuen Gas gespült.

APPLICATIONNOTE GHP als Schlüsseltechnologie: Präzise Charakterisierung der Wärmeleitfähigkeit von Isolationsmaterialien unter Inertgas und Vakuum

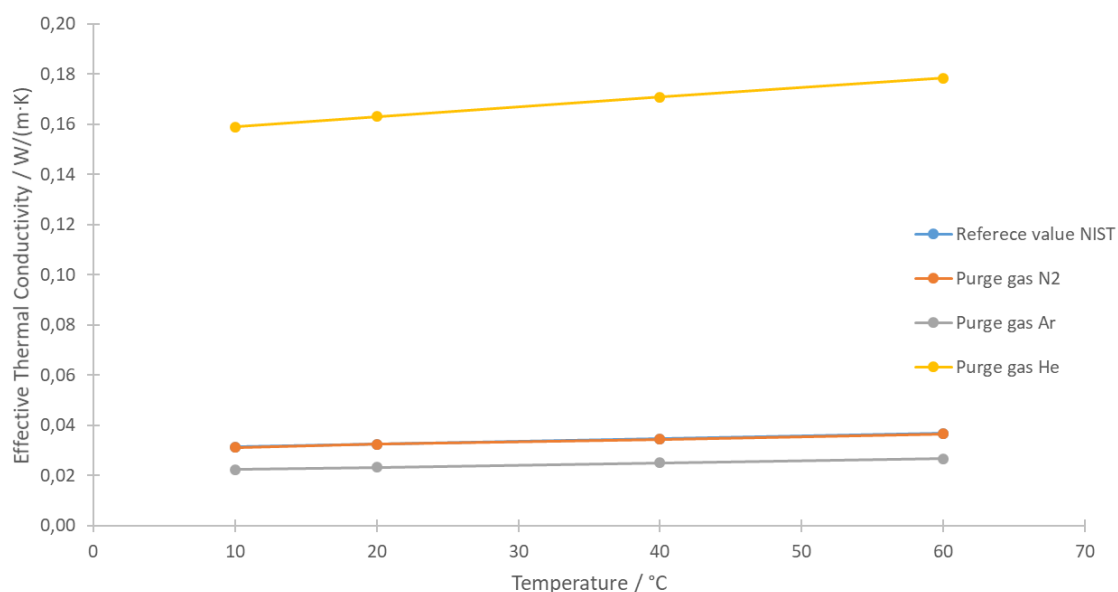
Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt die Wärmeleitfähigkeit der Probe in unterschiedlichen Spülgasen (Stickstoff, Argon und Helium). Die Messergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Da Glaswolle ein offenporiges System ist, dringt das verwendete Spülgas in das Material ein und verändert somit die effektive Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmeleitfähigkeit von Luft und Stickstoff ist nahezu gleich, siehe Tabelle 2. Erwartungsgemäß ist kein signifikanter Unterschied

zwischen den Referenzwerten der Glaswolle und den Messungen unter Stickstoff detektierbar. Argon hat dagegen eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit als Stickstoff (ca. -31 %), was sich auch in der Messung der Wärmeleitfähigkeit der Glaswolle mit Argonspülung zeigt. Es werden ca. 28 % niedrigere Werte als mit Stickstoff gemessen.

Im Gegensatz zu Argon hat Helium eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit als Stickstoff. Die effektive Wärmeleitfähigkeit der Glaswolle mit Heliumspülung ist ca. 4 mal höher als mit Stickstoff bzw. Luft.



1 Wärmeleitfähigkeit einer Standard-Glaswolle (NIST SRM 1450D) mit unterschiedlichen Spülgasen

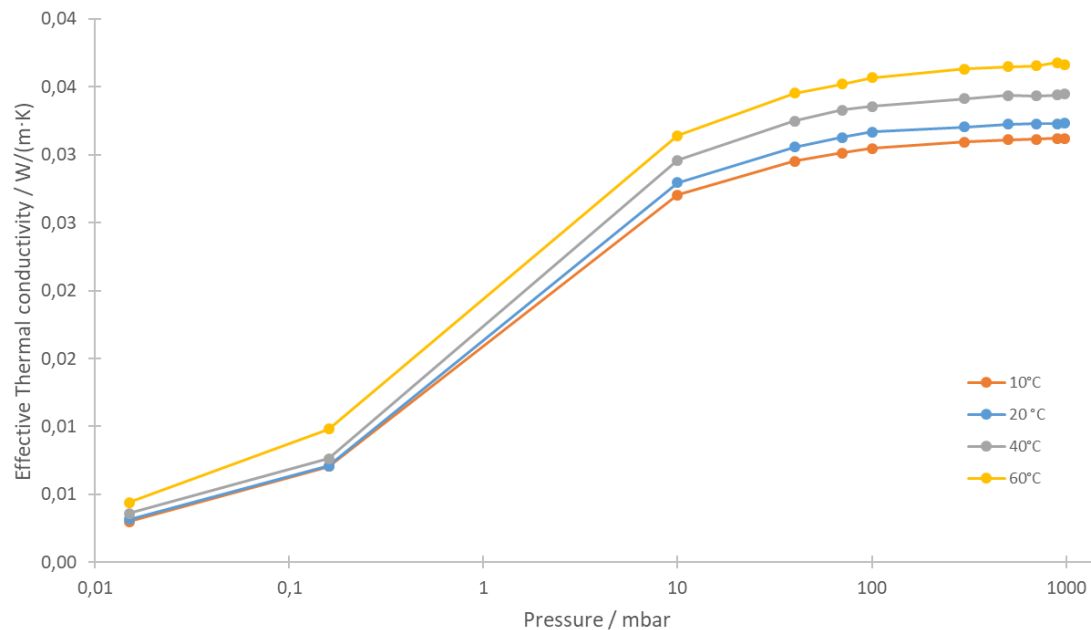
Tabelle 1 Wärmeleitfähigkeit einer Standard-Glaswolle (NIST SRM 1450D) mit unterschiedlichen Spülgasen im Vergleich zur Literatur

Temperatur (°C)	Wärmeleitfähigkeit (W/m·K)			
	Literatur [2]	N ₂	Ar	He
10	0,0313	0,0312	0,0224	0,1590
20	0,0324	0,0324	0,0233	0,1631
40	0,0346	0,0345	0,0250	0,1708
60	0,0368	0,0366	0,0267	0,1785

Tabelle 2 Wärmeleitfähigkeit verschiedener Gase bei 20 °C [1]

Gas	Wärmeleitfähigkeit / (W/m·K)
Helium	0,150
Argon	0,017
Luft	0,026
Stickstoff	0,026

APPLICATIONNOTE GHP als Schlüsseltechnologie: Präzise Charakterisierung der Wärmeleitfähigkeit von Isolationsmaterialien unter Inertgas und Vakuum



2 Wärmeleitfähigkeit einer Standard-Glaswolle (NIST SRM 1540D) bei unterschiedlichen Drücken (Spülgas N₂)

Abbildung 2 veranschaulicht den Einfluss des Druckes auf die Wärmeleitfähigkeit von offenporigen Isolationsmaterialien. Hier ist die Wärmeleitfähigkeit der Glaswolle bei unterschiedlichen Temperaturen dargestellt. Die S-Kurve ist typisch für eine druckabhängige Messung. Hier wird deutlich, dass die Wärmeleitfähigkeit des Zellgases einen erheblichen Einfluss auf die effektive Wärmeleitfähigkeit hat und ab einem bestimmten Druck (ca. < 300 mbar) eine massive Abhängigkeit des Druckes vorliegt. Dies ist mit der freien Weglänge der Gasmoleküle bzw. -atome zu erklären.

Die Wärmeübertragung innerhalb eines Gases wird hauptsächlich durch die Anzahl der Teilchen und die mittlere freie Weglänge zwischen den Teilchen bestimmt. Bei einem leicht geringeren Druck wird die mittlere freie Weglänge zwar größer, aber die Anzahl der Teilchen geringer. Somit bleibt die Wärmeleitfähigkeit konstant. Dies gilt aber bei sehr geringen Drücken nicht mehr [3]. Ab einem bestimmten Zeitpunkt (hier ca. 300 mbar), gibt es nicht mehr genug Teilchen zur Kollision und die mittlere freie Weglänge kommt in den Bereich der Porendurchmesser. Ab diesem Zeitpunkt ist die Wärmeübertragung im Gas nur noch von der Anzahl der Gasteilchen abhängig. Wenn diese aufgrund eines geringeren Drucks abnehmen, nimmt auch die Wärmeübertragung über das Gas stark ab und damit auch die effektive Wärmeleitfähigkeit des gesamten Materials.

Zusammenfassung

Aufgrund ihrer Struktur zeigen Dämmstoffe hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit eine starke Abhängigkeit von Druck und Zellgas. Die GHP 456 *Titan*® ist das passende Messgerät, die effektive Wärmeleitfähigkeit unter diesen herausfordernden Messbedingungen zu bestimmen. Dank einer intuitiv zu bedienenden Software und einer automatischen Druckregelung sind die Messungen trotzdem einfach durchführbar.

Literatur

- [1] H. Kuchling: Taschenbuch der Physik; Tabelle 31; 18. Auflage 2004; Carl Hanser Verlag München
- [2] R. R. Zarr, A. C. Harris, J. F. Roller, S. D. Leigh; NIST Special Publication 260-173 -SRM 1450d, Fibrous-Glass Board, for Thermal Conductivity from 280 K to 340 K; August 2011
- [3] P.W. Atkins: Physikalische Chemie; S. 779 ff; 2. Auflage 1996; VCH Weinheim