

APPLICATION NOTE

VIP-Materialien – Heat Flow Meter

Messung der Wärmeleitfähigkeit von VIP-Materialien mittels HFM 706 *Lambda Large*

Dr. André Lindemann, Product Line Manager Thermophysical Properties



1 HFM 706 *Lambda Large* mit aufgeklappter Rücktür für lange Proben; ein-gelegte VIP-Probe mit einer Breite von 600 mm und einer Länge von 1200 mm

Einleitung

Vakuum-Isolierpanelen (VIP) sind Hochleistungsisolationsmaterialien, die in einer Vielzahl von Anwendungen, wie beispielsweise in Gefriergeräten, zum Einsatz kommen. Sie zeichnen sich durch exzellente Dämmeigenschaften bei minimaler Materialstärke aus, was sie insbesondere in Bereichen mit begrenztem Platzangebot zu einer idealen Lösung macht. NETZSCH bietet mit dem HFM 706 *Lambda Large* (Abbildung 1) ein Messsystem zur Messung der Wärmeleitfähigkeit an VIP-Materialien an.

In dieser Application Note werden neben Aufbau und Anwendung von VIP-Materialien die Herausforderungen bei der Messung sowie Messergebnisse des HFM 706 *Lambda Large* an Referenz- und VIP-Proben vorgestellt und diskutiert.

Aufbau und Wirkungsweise von Vakuum-Isolationspaneelen

Ein VIP besteht aus mehreren Schlüsselkomponenten, die zusammen seine herausragenden Dämmeigenschaften garantieren. Die hervorragende Isolationsleistung der VIPs beruht auf der Kombination von Vakuum und dem spezifischen Kernmaterial. Das Kernmaterial bildet

die stützende Struktur des VIPs und besteht meist aus druckfesten, porösen Werkstoffen wie pyrogene Kiesel-erde (engl. fumed silica), Glasfasern oder PU-Schaum. Dieses Material reduziert die Wärmeleitung im Inneren des Panels.

Das Kernmaterial wird in einer luftdichten Hülle unter Vakuum versiegelt. Durch die Entfernung von Luftmolekülen wird der Wärmetransport durch Konvektion nahezu vollständig unterbunden. Die Vakuumdichtigkeit wird durch eine mehrlagige Barrierefolie gewährleistet, die in der Regel aus Metall- und Polymerfolien besteht. Diese Folie schützt das Vakuum, wodurch das Eindringen von Luft und Feuchtigkeit verhindert wird. Die Barrierefolie reflektiert gleichzeitig infrarote Strahlung, wodurch die Wärmeübertragung durch Strahlung begrenzt wird. Zusätzliche Schutzschichten aus Kunststoff oder Aluminium sorgen dafür, dass die VIPs gegen mechanische Beschädigungen widerstandsfähig sind. Dank dieser Eigenschaften bieten VIPs eine bis zu zehnmal höhere Dämmeffizienz im Vergleich zu herkömmlichen Isolationsmaterialien gleicher Stärke.

Anwendung von VIPs

VIPs finden in zahlreichen Branchen Anwendung, in denen hocheffiziente Dämmung auf engem Raum erforderlich ist. VIPs werden in Wänden, Dächern und Böden verwendet, insbesondere bei Passivhäusern oder Sanierungsprojekten, um hohe Dämmwerte ohne große Materialstärken zu erzielen. In Kühlschränken und Gefriertruhen tragen VIPs dazu bei, den Energieverbrauch zu senken und die Lagerkapazität zu erhöhen. VIPs werden zur Isolierung von Containern und Verpackungen genutzt, die temperaturempfindliche Waren wie Medikamente oder Lebensmittel transportieren.

Aufgrund ihrer hohen Effizienz und ihres geringen Gewichts kommen VIPs auch in der Luft- und Raumfahrttechnik zum Einsatz. VIPs finden Anwendung in Elektrofahrzeugen, um die thermische Stabilität der Batterien aufrecht zu erhalten und die Innenraumklimatisierung zu verbessern.

APPLICATIONNOTE Messung der Wärmeleitfähigkeit von VIP-Materialien mittels HFM 706 *Lambda Large*

Messung der Wärmeleitfähigkeit von VIP-Materialien

Die Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert) ist eine entscheidende Größe für die Bewertung der thermischen Leistung von VIPs. Aufgrund der speziellen Struktur und des Funktionsprinzips von VIP-Materialien sind traditionelle Messmethoden oft nicht direkt anwendbar. Daher hat sich für VIPs die Heatflow-Meter-Technik etabliert (HFM).

Herausforderungen bei der Messung:

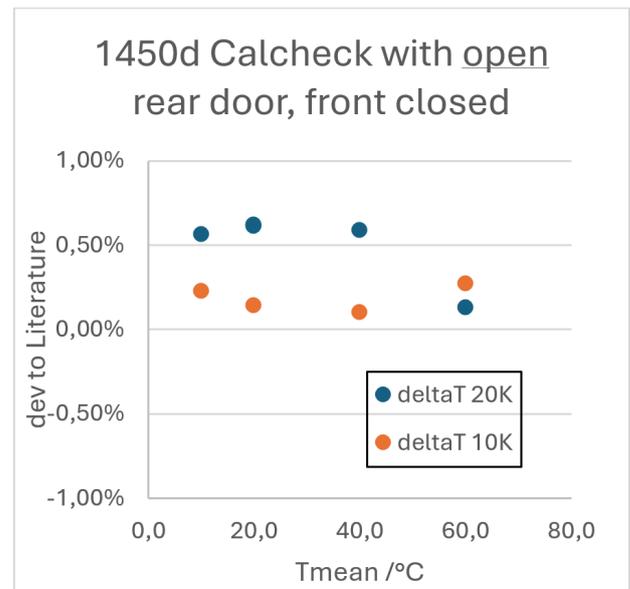
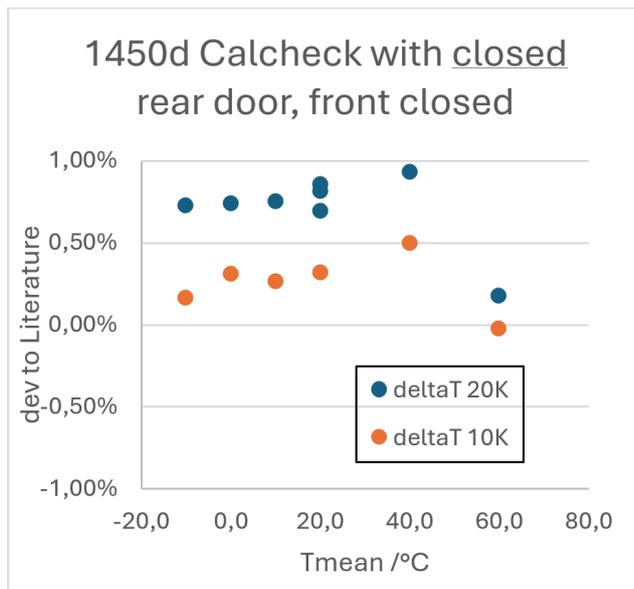
Im Zeitverlauf kann die Barrierefolie Gas durchlassen, wodurch das Vakuum geschwächt wird und die Wärmeleitfähigkeit steigt. Daher müssen Langzeitmessungen durchgeführt werden. Die Messergebnisse sind jedoch unter Umständen nicht reproduzierbar. Die thermischen Eigenschaften der Ränder eines VIPs können von denen der Hauptfläche abweichen, was die Messgenauigkeit beeinflusst. Kleinste Unregelmäßigkeiten im Kernmaterial oder der Barrierefolie können die Messung der Wärmeleitfähigkeit verfälschen.

Aufgrund der besonderen Isoliereigenschaften liegen VIPs bei vielen Messsystemen im unteren Bereich außerhalb der Detektionsgrenze. Die Messung stellt besondere Anforderungen an die Empfindlichkeit und Systemstabilität. Die VIP-Proben können in der Regel nicht auf die notwendigen Maße zugeschnitten werden, damit sie in das Messgerät passen, womit Messungen an der Ursprungsprobe möglich sein müssen.

HFM 706 *Lambda Large*

Zur Überwindung dieser speziellen Herausforderungen bietet die bereits in der Eco-Line eingeführte neue Elektronik und Firmware im Hinblick auf Messgeschwindigkeit und Messgenauigkeit bei der Messung von VIP-Materialien erhebliche Vorteile, die durch eine aufklappbare Rücktür für das Modell HFM 706 *Lambda Large* ergänzt wurden. Es wurden Tests an Referenz- und VIP-Proben durchgeführt.

Mit der Rücktür ist es möglich, insbesondere bei VIP-Proben neben der Alterung auch die Einflüsse in Bezug auf Randverluste und Inhomogenitäten bei nicht quadratischen Proben zu untersuchen. Dazu bleiben Front- und/oder Rücktür während der Messung geöffnet. Vergleichsmessungen an Referenzproben haben gezeigt, dass im Bereich um Raumtemperatur keine zusätzlichen Messfehler durch geöffnete Türen feststellbar sind. In den Abbildungen 2 und 3 sind die Abweichungen von den Literaturwerten für Messungen an der Referenz NIST SRM 1450d für die Fälle mit geschlossener und geöffneter Front-Tür dargestellt (Referenzmessung jeweils bei geschlossenen Türen). In beiden Fällen ist die maximale Abweichung vom Literaturwert kleiner als 1 % zwischen 10 °C und 60 °C.



2 HFM 706 *Lambda Large*; prozentuale Abweichung vom Literaturwert für NIST SRM 1450d bei geschlossener und geöffneter Fronttür.

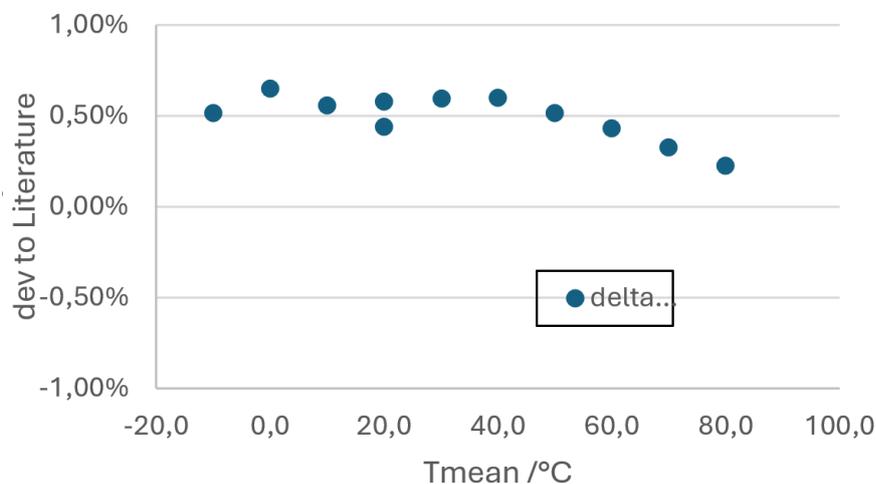
APPLICATIONNOTE Messung der Wärmeleitfähigkeit von VIP-Materialien mittels HFM 706 *Lambda Large*

Bei gleichzeitig geöffneter Front- und Rücktür sind die Abweichungen ebenfalls kleiner als 1 % (Abbildung 3).

Der Einfluss offener Türen auf die Messunsicherheit wurde zusätzlich an „langen“ EPS-Proben unterschiedlicher Dicke mit einer Länge von 1200 mm und einer Breite von 600 mm getestet. Da es sich um homogene Referenzproben handelt, sollte der ermittelte Messwert unabhängig von der Messposition entlang der Längsausrichtung der Probe sein. In Abbildung 4 sind die Abweichungen vom Referenzwert zwischen 10 °C und 30 °C

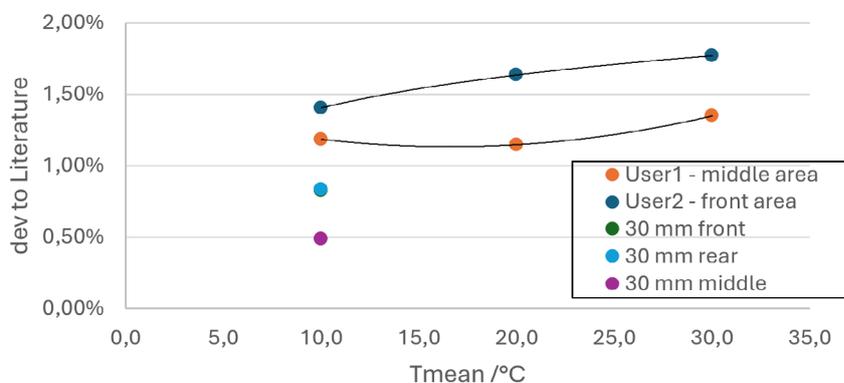
für EPS mit einer Probendicke von 40 mm erkennbar. Die Abweichungen liegen unterhalb von 2 % und sind für die Messung im vorderen Bereich (front area) der Probe etwas höher. Zusätzlich sind die Abweichungen für EPS mit einer Dicke von 30 mm für drei unterschiedliche Positionen bei 10 °C dargestellt. Auch hier zeigen sich leicht höhere Abweichungen für die vordere und hintere Messposition im Vergleich zur Probenmitte mit etwa 0,5 % Abweichung. Für die Positionen vorn und hinten wurden ca. 0,8 % Abweichung ermittelt.

1450d Calcheck with open rear door and open front

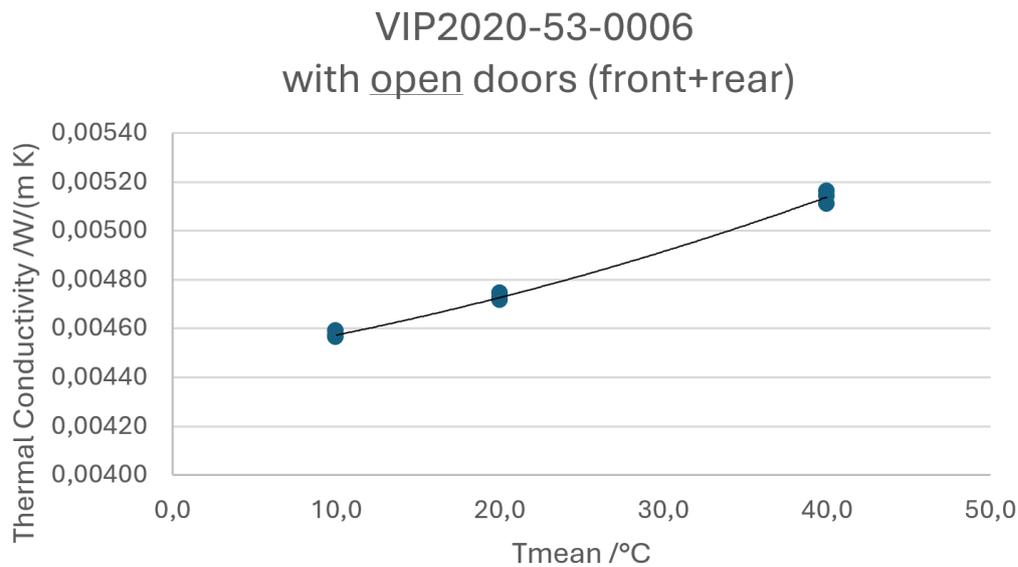


3 HFM 706 *Lambda Large*; prozentuale Abweichung vom Literaturwert für NIST SRM 1450d bei geöffneter Front- und Rücktür.

NTA-EPS40-1 with open doors (front+rear)



4 HFM 706 *Lambda Large*; prozentuale Abweichung vom Referenzwert für EPS mit einer Länge von 1200 mm und einer Dicke von 30/40 mm bei geöffneter Front- und Rücktür.



5 HFM 706 *Lambda Large*; Messung an einer langen VIP-Probe; Breite = 600 mm, Länge = 1200 mm, Dicke = 30 mm; Messposition: Mitte.

Die Messung an VIPs erweist sich ebenfalls als unproblematisch mit dem HFM 706 *Lambda Large*. Stabile Messsignale, empfindliche Sensorik und rauscharme Signale sind Voraussetzungen für eine hohe Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Messungen. Abbildung 5 zeigt die Messergebnisse einer VIP-Probe mit Überlänge.

Beim Anstieg der mittleren Probentemperatur des VIPs von 10 °C auf 40 °C erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit von 0,00457 W/(m·K) um ca. 12 % auf 0,00514 W/(m·K). Das bedeutet gleichzeitig eine Verschlechterung der Isolierwirkung des VIPs um bis zu 12 %, wenn beispielsweise die Außentemperatur einer Gebäudefassade von unter 10 °C auf über 30 °C steigt. Dieses ist eine wichtige Information für Hersteller und Anwender von VIPs und ist bedeutsam in der Produktentwicklung und Qualitätskontrolle.

Zudem ist in Abbildung 5 die sehr gute Wiederholbarkeit der Messungen sowie die hohe Auflösung der Ergebnisse erkennbar. Bei jeder Temperatur wurden drei Einzelmessungen durchgeführt und die maximale Abweichung der Einzelwerte ist jeweils kleiner als 1 %. Der Werte unterscheiden sich lediglich in der 5. Nachkommastelle (0,00471; 0,00472; 0,00474 W/(m·K) bei 20 °C) und der erwartete exponentielle Trend im Verlauf

der Wärmeleitfähigkeit über der Temperatur ist ebenfalls klar erkennbar. Dieses zeigt die hohe Auflösung des HFM 706 *Lambda Large* und die sehr gute Wiederholbarkeit der VIP-Messungen. Kleinste Änderungen innerhalb des VIPs, z.B. durch Strukturänderungen bedingt durch Alterung oder Nachlassen des Vakuums durch Mikrorisse in der Barrierefolie können jederzeit schnell und zuverlässig nachgewiesen werden.

Zusammenfassung

Vakuum-Isolierpaneele sind eine zukunftsweisende Technologie für Anwendungen, die eine hohe Dämmeffizienz erfordern. Trotz der Herausforderungen hinsichtlich Kosten und Langlebigkeit bieten VIPs enorme Vorteile in Bereichen wie Energieeffizienz und Platzersparnis. Mit zunehmenden technologischen Fortschritten und steigender Nachfrage werden VIPs voraussichtlich eine immer wichtigere Rolle in verschiedenen Industriefeldern spielen. NETZSCH bietet mit dem HFM 706 *Lambda Large* ein zuverlässiges System zur Messung der Wärmeleitfähigkeit an VIP-Materialien an. Die Herausforderungen, die sich aufgrund der Probenbeschaffenheit bei der Messung ergeben, werden durch wirksame Maßnahmen in der Gerätetechnik und im Design überwunden.