

F O R S C H U N G S I N S T I T U T
MITTEILUNGEN
F Ü R W Ä R M E S C H U T Z
E . V . M Ü N C H E N

Reihe I. Allgemeine Fragen des Wärme- und Kälteschutzes

Nummer 12

**Wärmeleitfähigkeit
von Schaumkunststoffen
mit hochmolekularen Zellgasen**

von
Dipl.-Ing. Horst Zehendner

Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen mit hochmolekularen Zellgasen

Horst Zehendner

Seit fast zwei Jahrzehnten werden auch Schaumkunststoffe zur Wärmedämmung verwendet, die als Zellgas nicht Luft, sondern verschiedene hochmolekulare Gase wie z. B. CFCl_3 (R 11) oder CF_2Cl_2 (R 12) enthalten.

Da die Wärmeleitfähigkeit dieser Gase etwa nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ der von Luft beträgt, haben solche Schaumkunststoffe auch entsprechend niedrigere Werte der Wärmeleitfähigkeit. Dies gilt allerdings nur für den Temperaturbereich, in dem die hochmolekularen Gase im gasförmigen Zustand vorliegen, also i. a. bei Temperaturen über -50°C und höher.

Bei tieferen Temperaturen kommt es zur Kondensation dieser Gase und damit zur Änderung des Wärmetransportes, was durch einen un stetigen Verlauf der Charakteristik „Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur“ deutlich wird [1, 2, 3].

Werden solche Schaumkunststoffe bei der Herstellung oder in der praktischen Verwendung nicht mit gasdiffusionsdichten Deckschichten abgedeckt, wie z. B. metallische Deckschichten von mindestens $50\ \mu\text{m}$ Dicke, so kommt es im Laufe der Zeit durch die gegebene Partialdruckdifferenz zur Umgebungsluft zum Gasaustausch.

Dieser Gasaustausch durch Eindiffundieren von Luft und teilweisem Ausdiffundieren der Zellgase wird bestimmt von der Zellstruktur und dem Grad der Geschlossenenzelligkeit, der Gasdurchlässigkeit des Zellmaterials, sowie der Rohdichte, den Dämmstoffabmessungen und weiteren Schaumstoffparametern.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens sollte die Wärmeleitfähigkeit von mehreren Schaumkunststoffen, die bereits langzeitig bei Raumtemperatur gelagert worden waren, im Bereich von etwa -75°C bis $+50^\circ\text{C}$ Mitteltemperatur bestimmt werden. Ausgewählt wurden dabei einzelne Dämmstoffe, deren Anfangswerte der Wärmeleitfähigkeit früher im Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München (FIW) bestimmt worden sind, wie z. B.:

- a) POLYSTYROL (PS) - EXTRUDERSCHAUM mit oder ohne Schäumhaut, etwa 8-16 Jahre alt, mit CF_2Cl_2 getrieben,
- b) POLYURETHAN (PUR) - HARTSCHAUM, hergestellt als Bandware mit Papier-Deckschichten, als Blockware mit geschnittenen Oberflächen oder als Ortschaum im Gieß- oder Spritzverfahren, etwa 7-16 Jahre alt, mit CFCl_3 getrieben,
- c) POLYVINYLCHLORID (PVC) - HARTSCHAUM, hergestellt als Blockware mit geschnittenen Oberflächen, etwa 10 und 17 Jahre alt, mit Zellgasanteilen von CO_2 u. a.

Die Wärmeleitfähigkeit der Schaumstoffplatten wurde nach DIN 52 612 „Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät“ im

geplanten Temperaturbereich durch 6-8 Meßpunkte bestimmt, die dann mit einer ausgleichenden Kurve verbunden wurden. Die so ermittelte Charakteristik „Wärmeleit-

fähigkeit als Funktion der Mitteltemperatur“ ist für die einzelnen Schaumstoffarten in den Bildern 1-3 zusammengefaßt dargestellt worden.

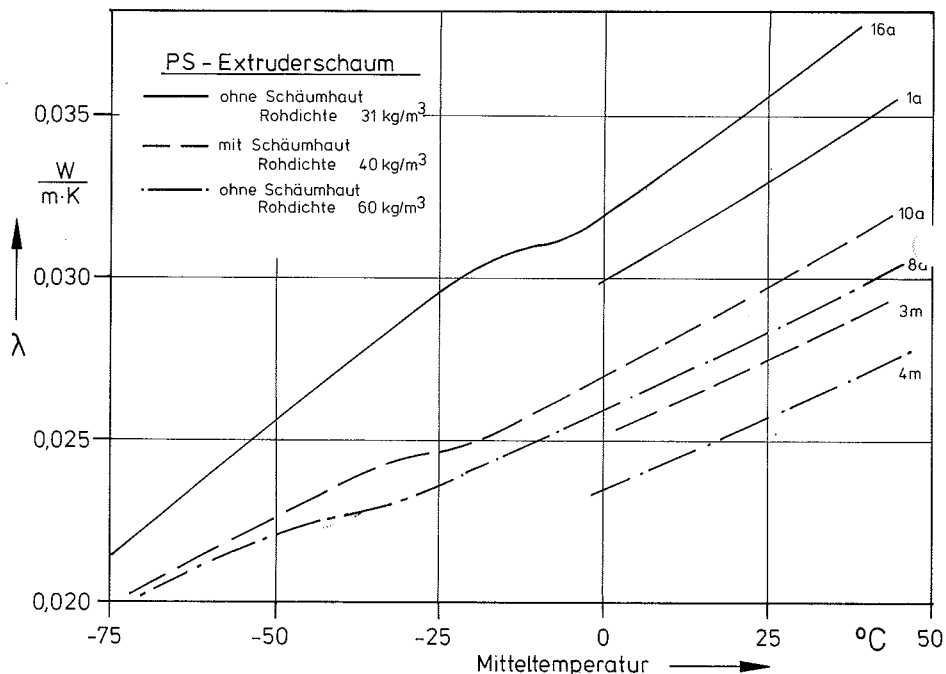


Bild 1 Wärmeleitfähigkeit von Polystyrol-Extruderschaum-Platten mit oder ohne Schäumhaut in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Angabe des Alters in Monaten (m) oder Jahren (a).

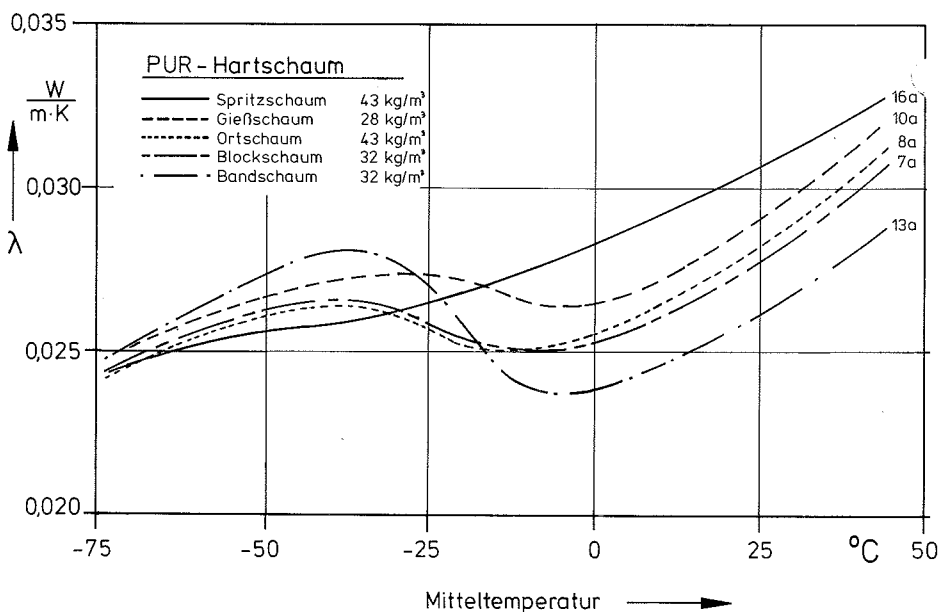


Bild 2 Wärmeleitfähigkeit von Polyurethan-Hartschaum-Platten unterschiedlicher Herstellungsart und Rohdichte in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Angabe des Alters in Jahren (a).

Diese λ -, δ -Kurven zeigen einen unstetigen Verlauf mit Zwischen-Minima oder -Maxima oder mit Abstufungen und lassen den Einfluß der in den Zellen noch vorhandenen hochmolekularen Gase und deren Konzentration

durch die „Kondensationsbreite“ im jeweiligen Temperaturbereich erkennen. Zur Stoffbeschreibung sind neben der Rohdichte auch der Grad der Geschlossenenzelligkeit nach ISO 4590 „Cellular plastics-Deter-

mination of volume percentage of open and closed cells of rigid material“ bestimmt worden, wobei die erforderlichen Probekörper abschließend aus den Schaumstoffplatten entnommen worden sind.

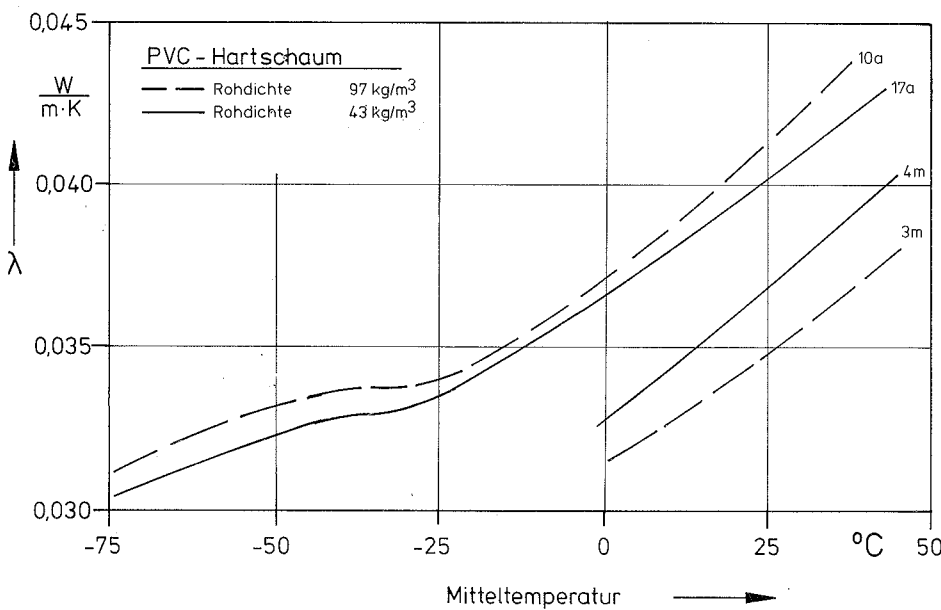


Bild 3 Wärmeleitfähigkeit von Polyvinylchlorid-Hartschaum-Platten unterschiedlicher Rohdichte in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur; Angabe des Alters in Monaten (m) oder Jahren (a).

Tabelle Zuschlagswerte Z für Schaumkunststoffe nach DIN 52 612 Teil 2 Zeile 15 (Entwurf Mai 1983) zur Berechnung von λ_z nach der Gleichung $\lambda_z = \lambda_{10^\circ\text{C}, \text{tr}} \cdot (1 + Z)$.

Schaumkunststoffe	aus Polystyrol-Hartschaum	0,05
	aus Polystyrol-Extruderschaum (Zellgas CF_2Cl_2) mit Schäumhaut und einer Rohdichte nach DIN 1306 $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ bei einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, \text{tr}}$ in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})^*$	$\leq 0,029$ 0,15 $\geq 0,031$ 0,10
	aus Polystyrol-Extruderschaum ohne Schäumhaut	
	Rohdichte nach DIN 1306 $\geq 25 \text{ kg/m}^3$ und $\leq 35 \text{ kg/m}^3$	0,15
	Rohdichte nach DIN 1306 $\geq 45 \text{ kg/m}^3$	0,20
	aus Polyurethan-Hartschaum (Zellgas CFC_13) ohne gasdiffusionsdichte Deckschichten und mit einer Rohdichte nach DIN 1306 $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ bei einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10, \text{tr}}$ in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})^*$	$\leq 0,020$ 0,50 $\geq 0,023$ 0,30 $\geq 0,027$ 0,10
	mit gasdiffusionsdichten Deckschichten**	0,10
	sonstige Schaumkunststoffe***	0,20

* Bei Zwischenwerten sind die Zuschläge geradlinig einzuschalten.

** Deckschichten gelten als gasdiffusionsdicht, wenn sie aus metallischen Werkstoffen mit einer Dicke von mindestens $50 \mu\text{m}$ bestehen. Bei Platten, deren Randflächen kleiner als 10 % der Gesamtoberfläche sind, braucht die Deckschicht die Randfläche nicht zu bedecken.

*** Für Schaumkunststoffe, deren Zellen ganz oder teilweise mit einem Gas gefüllt sind, dessen Wärmeleitfähigkeit kleiner ist als die Wärmeleitfähigkeit von Luft und die in dieser Tabelle nicht aufgeführt sind, ist der Zuschlag nicht bekannt.

Bei PS-Extruderschaum beträgt der Anteil an geschlossenen Zellen etwa 96–98 % bei Platten mit Schäumhaut und etwa 92–94 % bei Platten mit geschnittenen Oberflächen. PUR-Hartschaum hat in den geprüften Platten unterschiedlicher Herstellung stets Werte der Geschlossenenzelligkeit um oder über 90 %, wobei kontinuierlich hergestellte Bandware mit 95 % den höchsten Wert an Geschlossenenzelligkeit aufwies.

Der grobzellige PVC-Hartschaum mit einem Zelldurchmesser bis max. 2 mm hat im Mittel einen Anteil an geschlossenen Zellen um 80 % mit Einzelwerten von 78–82 %.

Die Untersuchungen der Wärmeleitfähigkeit an den bis 17 Jahre alten Hartschaumplatten haben gezeigt, daß auch ohne gasdiffusionsdichte Deckschichten noch wesentliche Anteile der hochmolekularen Zellgase im Schaumstoff enthalten sind, die die Wärmeübertragung je nach ihrem Aggregatzustand entsprechend beeinflussen.

Für die Verwendung der Schaumstoffe im Bauwesen wird die zeitliche Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei 10°C Mitteltemperatur durch gesonderte Zuschlagswerte Z nach DIN 52 612 Teil 2 Tabelle 1 berücksichtigt, die auch den Einfluß des praktischen Feuchtegehalts beinhalten (Siehe Tabelle!).

Diese Zuschlagswerte Z sind auch durch viele Untersuchungen an aus ausgeführten Bauten entnommenen Proben abgesichert und stimmen mit den Erfahrungswerten an bei Raumtemperatur langfristig gelagerten Schaumstoffen überein.

Für PVC-Hartschaum wurde bisher kein gesonderter Zuschlagswert Z beantragt und festgesetzt. Würde man einen Wert von 20 % für „sonstige Schaumkunststoffe“ aus der Tabelle 1 Zeile 15 der DIN 52 612 nehmen, wäre die bisher gemessene zeitliche Erhöhung bei 10°C Mitteltemperatur noch entsprechend erfaßt.

Der aus dem Meßwert $\lambda_{10^\circ\text{C}}$ und dem Zuschlagswert Z errechnete λ_z -Wert ist Grundlage und Voraussetzung für die Einstufung in eine Wärmeleitfähigkeitsgruppe nach DIN 18 164 und damit für die Festsetzung des Rechenwertes λ_R nach DIN 4108.

Die Einhaltung des Rechenwertes λ_R wird im Rahmen der Güteüberwachung von Wärmedämmplatten nach DIN 18 164 oder der Güteprüfung von auf der Verwendungsstelle hergestelltem Ortschaum nach DIN 18 159 nachgeprüft, wobei stets $\lambda_z \leq \lambda_R$ sein muß.

Bild 4 zeigt für verschiedene PUR-Hartschaumstoffe unterschiedlicher Herstellung die zeitliche Änderung der Wärmeleitfähigkeit bei 10°C Mitteltemperatur über mehr als 12 Jahre Raumtemperatur-Lagerung.

Für diese PUR-Hartschaumstoffe gilt ein Rechenwert nach DIN 4108 von $\lambda_R = 0,030 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, der bisher von keinem der untersuchten Schaumstoffe erreicht wurde und dem Kurvenverlauf nach gut abgesichert ist.

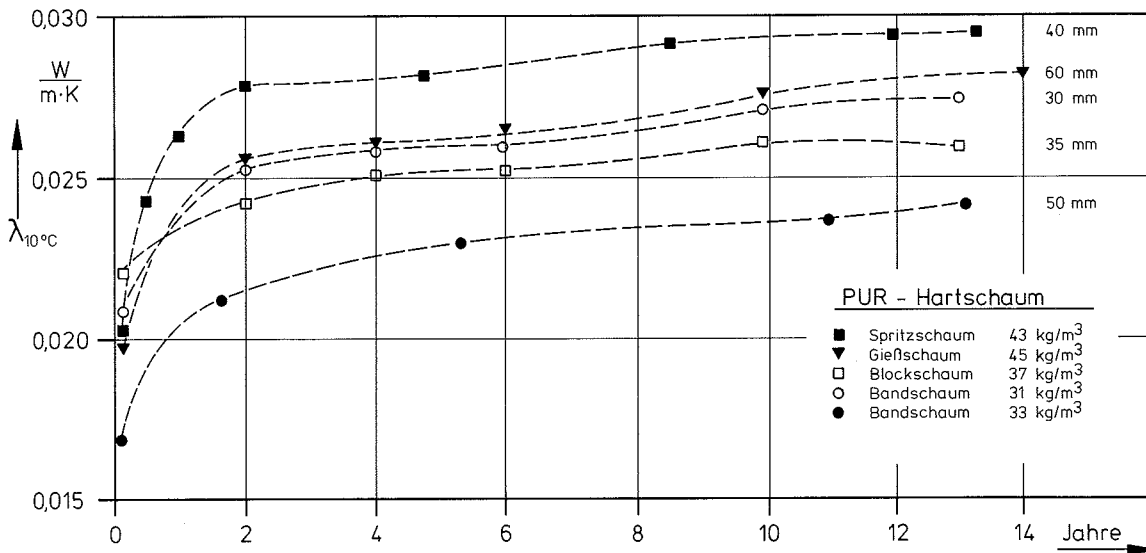


Bild 4
Zeitliche Änderung
der Wärmeleitfähig-
keit bei 10 °C
Mitteltemperatur von
Polyurethan-
Hartschaum-Platten
unterschiedlicher
Herstellungsart und
Rohdichte ohne
gasdiffusionsdichte
Deckschichten.

Eine Vielzahl von Meßwerten der Wärmeleitfähigkeit im Rahmen der Güteüberwachung und an aus Bauteilen oder betriebstechnischen Anlagen entnommenen Hartschaumproben bestätigt ausreichend die bisher getroffenen Regelungen [4, 5].

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens waren aber auch Grundlage und Voraussetzung für die Tafel 9 in der VDI-Richtlinie 2055 „Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen“, Ausgabe März 1982, in der Anhaltswerte der Betriebswärmeleitfähigkeit für Schaumkunststoffe für den Bereich von - 150 bis + 50 °C Mitteltemperatur aufgelistet worden sind.

Ferner konnte ein Beitrag zu einigen AGI-Arbeitsblättern für Schaumkunststoffe durch Darstellung der Charakteristik „Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur“ geleistet werden. Diese Arbeitsblätter

wurden von der Arbeitsgemeinschaft Industrie e. V. Köln für Dämmarbeiten an betriebstechnischen Anlagen erstellt.

Zur Verhinderung oder Verminderung des Gasaustausches bei Schaumkunststoffen mit hochmolekularen Zellgasen werden bereits seit mehreren Jahren auch verschiedene mehrlagige Kunststoff-Metallfolien-Verbunde als Deckschichten verwendet. Derzeit werden Untersuchungen durchgeführt, ob hinsichtlich des Zuschlagswertes Z auch solche Deckschichten unter Verwendung von 12 oder 20 µm dicken Metallfolien ähnlich wie die festgeschriebenen mind. 50 µm dicken Metallfolien behandelt werden können.

Das Forschungsvorhaben konnte mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr und mit Unterstützung der Industrie durchgeführt werden. An dieser Stelle sei nochmals der Dank für die Förderung der Forschungstätigkeit ausgesprochen.

Literatur:

- [1] W. Schmidt: „Eigenschaften von harten Polyurethan-Schaumstoffen für die Kälteisolierung“; Kunststoffe 53 (1963), Heft 7, S. 413/420.
- [2] H. Zehendner: „Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Schaumkunststoffen bei tiefen Temperaturen“; Kältetechnik - Klimatisierung Band 19 (1967) Nr. 1, S. 2/8.
- [3] F. Buttler und J. Radlinsky: „Die zeitliche Änderung der Wärmeleitfähigkeit von extrudierten Polystyrol-Schaumstoffplatten“; Kunststoffe Fortschrittsberichte Band 4 (1979), Carl Hanser Verlag, München/Wien.
- [4] H. Zehendner: „Results of 15 years of rigid polyurethane foam quality supervision“; Cellular Polymers 1 (1982), 211-220.
- [5] H. Zehendner: „Gütesicherung und Qualitätsüberwachung von wärmeschutztechnischen Eigenschaften von Schaumkunststoffen“; 12. Internationale Fachtagung für Schaumkunststoffe in Düsseldorf 1983; Tagungsband S. 153/162.