

**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 11

**Einfluß von Feuchtigkeit auf die  
Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen  
im Bereich von  $-30^{\circ}$  bis  $+30^{\circ}$  C.**

von

Dipl.-Ing. Horst Zehendner

Sonderdruck aus »Kunststoffe im Bau« Heft 1/79

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks und der photomechanischen Wiedergabe dieses Sonderdrucks und der Übersetzung, behält sich der Verlag vor

Carl Hanser Verlag, München 86



# Einfluß von Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen im Bereich von $-30^{\circ}$ bis $+30^{\circ}\text{C}$

Dipl.-Ing. H. Zehendner, Gräfelfing\*

Bei der Verwendung von Schaumkunststoffen als Dämmstoffe im Wärme- und Kälteschutz wird oft nach dem Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit gefragt.

Deshalb sind im Forschungsinstitut neben den zahlreichen Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit an Schaumkunststoffen im trockenen Zustand [1] auch Forschungsarbeiten durchgeführt worden, um den Einfluß der Feuchtigkeit zu ermitteln. Dabei waren Schaumkunststoffe aus verschiedenem Grundmaterial unterschiedlicher Herstellungsart und mit unterschiedlicher Zellgaszusammensetzung entsprechend zu berücksichtigen.

Im Jahre 1971 hat Achtziger über erste Messungen der Wärmeleitfähigkeit bei  $10^{\circ}\text{C}$  Mitteltemperatur an Schaumkunststoffen mit beliebigem Feuchtigkeitsgehalt berichtet [2].

Im Hinblick auf die Anwendung von überwiegend geschlossenzelligen Schaumkunststoffen ohne Feuchtigkeits- oder Dampfsperre wie z. B. bei der Wärmedämmung im Erdreich und im Straßenbau, beim Umkehrdach oder bei außenliegender Dämmung mit gleichzeitig abdichtender Aufgabe u. dgl. sind weitere Forschungsarbeiten zur Ermittlung des Feuchtigkeitsinflusses auf die Wärmeleitfähigkeit durchgeführt worden. Dabei sollten auch Richtwerte gefunden werden über die Verminderung der Wärmedämmwirkung bei Durchfeuchtung infolge falscher Schichtenfolge bei mehrschichtigen Baukonstruktionen, fehlerhafter und ungenügender Bauausführung oder geänderten Betriebstemperaturen, ferner im Kältebereich bei fehlenden oder unzureichenden Dampfsperren.

Da die Wärmeleitfähigkeit von Wasser etwa 25mal höher als die von Luft ist (nach Jakob:  $0,56\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  bei  $0^{\circ}\text{C}$  Mitteltemperatur und  $0,64\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  bei  $50^{\circ}\text{C}$  Mitteltemperatur) und die Wärmeleitfähigkeit von Eis noch etwa 4mal höher als die von Wasser ist ( $2,2\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  bei  $0^{\circ}\text{C}$  und  $2,8\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  bei  $-50^{\circ}\text{C}$ ), sind die Untersuchungen im Bereich von  $-30^{\circ}$  bis  $+30^{\circ}\text{C}$  durchgeführt worden. Dieser Bereich wurde aus meßtechnischen und feuchtigkeitstechnischen Gründen vorgegeben, da die Messung der Wärmeleitfähigkeit im feuchten Zustand mit erheblichen Schwierigkeiten durch die Gesetzmäßigkeiten der Wärmeübertragung verbunden ist [3, 4, 5].

## Untersuchte Schaumkunststoffe

Es wurden werksmäßig gefertigte Platten in 40 mm Dicke mit marktgängigen Rohdichten untersucht, die entsprechend der Rohstoffbasis und der Herstellungsart eingeteilt und beschrieben werden:

### Phenolharz-(PF)-Hartschaum

Die als Bandware hergestellten Platten ohne Deckschichten hatten eine Rohdichte von  $65\text{ kg}/\text{m}^3$ , die aus Blockware hergestellten Platten mit geschnittenen Oberflächen von  $37$  und  $68\text{ kg}/\text{m}^3$ . Der PF-Hartschaum weist überwiegend geschlossenzellige oder gemischtzellige Struktur auf.

### Polystyrol-(PS)-Extruderschaum

Die Platten ohne Schäumhaut hatten eine Rohdichte von  $28\text{ kg}/\text{m}^3$ , die Platten mit Schäumhaut von  $32$  und  $40\text{ kg}/\text{m}^3$ . Der u. a. mit Fluorkohlenwasserstoff extrudergeschäumte PS-Hartschaum hat überwiegend geschlossenzellige Struktur und war bei der Messung zwischen 2 und 3 Jahre alt.

### Polystyrol-(PS)-Partikelschaum

Die Platten aus verschweißtem, geblähtem Polystyrolgranulat hatten eine Rohdichte von ca.  $20\text{ kg}/\text{m}^3$  und von  $30\text{ kg}/\text{m}^3$ ; sie waren als Bandware und Automatenware in Lieferdicke von 40 mm gefertigt und aus Blockware thermisch geschnitten worden. Der PS-Hartschaum hat überwiegend geschlossenzellige Struktur.

### Polyurethan-(PUR)-Hartschaum

Die Platten hatten eine Rohdichte von etwa  $30$ – $80\text{ kg}/\text{m}^3$  und waren wie folgt hergestellt worden: Bandware mit ca. 0,2 mm dicker Bitumenpapier-Deckschicht, Rohdichte  $38\text{ kg}/\text{m}^3$ , Blockware mit mechanisch geschnittenen Oberflächen, Rohdichte  $33\text{ kg}/\text{m}^3$ ; dazu ein nicht werksmäßig gefertigtes Material, nämlich: »Ortschaum«, der auf der Verwendungsstelle als Proben im Gieß- und Spritzverfahren (mehrlagiges System aus jeweils ca. 10 mm dicken Schichten) mit Rohdichten von  $37\text{ kg}/\text{m}^3$  und  $78\text{ kg}/\text{m}^3$  geschäumt worden ist. Der PUR-Hartschaum hat überwiegend geschlossenzellige Struktur und ist mit  $\text{CFCl}_3$  als Treibmittel hergestellt worden.

### Polyvinylchlorid-(PVC)-Hartschaum

Die Platten aus PVC-Schaumstoff mit einer Rohdichte von  $58\text{ kg}/\text{m}^3$  hatten geschnittene Oberflächen. Der PVC-Hartschaum hat überwiegend geschlossenzellige Struktur und war etwa 8 Jahre alt.

Einer Veröffentlichung über die Wasserdampfdurchlässigkeit sind die Diffusionswiderstandszahlen der untersuchten Schaumkunststoffe als weitere maßgebliche Stoffgröße für das Feuchteverhalten zu entnehmen [6].

## Vorbereiten und Befeuchten der Probekörper

Schaumkunststoffe haben wegen ihrer überwiegend geschlossenzelligen Struktur nur einen geringen Wassergehalt als Gleichgewichtsfeuchte bei Normalklima DIN 50014 – 23/50–2, da sie überwiegend nicht hygroskopisch und auch nicht kapillar leitend sind. Der herstellungsbedingte Feuchtegehalt bei einigen Schaumkunststoffprodukten vermindert sich i. a. in einigen Wochen Lagerung bis zur Gleichgewichtsfeuchte, die etwa 1–3 Gew.-% beträgt. Der »praktische Feuchtegehalt« wird für PS- und PUR-Schaumkunststoffe in DIN 52612 [7] mit maximal 5 Gew.-% angegeben. Dieser Feuchtegehalt wurde bei Untersuchungen genügend ausgetrockneter Bauten in 90% aller Fälle nicht überschritten.

\* Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V., München

Aus diesen Gründen waren einige Überlegungen für eine gleichmäßige Befeuchtung der zu untersuchenden Schaumkunststoffe anzustellen.

Bei Unterwasserlagerung von ganzen Platten im Normalformat mit einer Wasserüberdeckung von etwa 40 mm und einer Umgebungstemperatur von 20°C erhält man nach 28 Tagen eine Wasseraufnahme von etwa 0,05 Vol.-% bei Produkten mit Schäumhaut, bis etwa 3 Vol.-% bei Produkten ohne Schäumhaut. Dabei ist die Wassermenge ungleichmäßig verteilt und ist überwiegend im Randbereich der angeschnittenen Zellen zu finden. Diese Art der Befeuchtung war für die geplanten Untersuchungen unbefriedigend, da gleichmäßige Befeuchtung und größere Feuchtegehalte angestrebt wurden. Dies konnte mit einem im FIW bewährten und als Zulassungsprüfung für die Verwendung im Straßenbau [2, 8, 9] vorgeschriebenen Diffusionsversuch erreicht werden. Der 40 mm dicke Probekörper wird einem Dampfdruckgefälle ausgesetzt, das durch Lagerung über einem Wasserbad von 40° bis 60°C aufrechterhalten wird, wobei die Oberseite mit einer Kühlplatte auf 1°C ständig gekühlt wird. Als Folge des Diffusionsstroms und der Tauwasserbildung in der Platte erfolgt eine weitgehend gleichmäßige Befeuchtung, wenn die Platte täglich einmal gewendet wird. Mit diesem Verfahren wurden alle Schaumkunststoffe 28 Tage lang befeuchtet und anschließend die volumenbezogene Wasseraufnahme festgestellt.

Anschließend wurden die befeuchteten Probekörper mit Kunststoff-Folien umhüllt und bei Raumtemperatur von ca. 20°C bis zum Meßbeginn mindestens 6 Wochen, teilweise auch bis 4 Monate gelagert. Für die weitere Messung der Wärmeleitfähigkeit mit etwa dem halben Feuchtegehalt wurden die Probekörper zunächst so zur Austrocknung bei ca. 20°C gelagert, daß alle Probekörper-Oberflächen frei an die Umgebungsluft grenzten. Nach Erreichen des geplanten Feuchtegehalts wurden die Probekörper wieder in Kunststoff-Folie eingehüllt und mindestens weitere 6 Wochen zum Feuchteausgleich gelagert. Für die abschließende Messung der Wärmeleitfähigkeit im trockenen Zustand erfolgte eine Trocknung bei 40°C bis zur Gewichtskonstanz.

Bei Schaumkunststoffen mit anderen Zellgasen als Luft wie z. B. Fluorkohlenwasserstoffe (CFCl<sub>3</sub>, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) erfolgt im Laufe der Zeit infolge Gasaustausch eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit, wenn nicht die Probenoberflächen gasdiffusionsdicht (z. B. durch eine Metallfolie von mindestens 50 µm Dicke) abgedeckt sind [1]. Dieser Gasaustausch wird natürlich auch durch den Diffusionsversuch beim Befeuchten mit den wechselnden Oberflächentemperaturen, der Tauwasserbildung in den Zellen und der abschließenden Trocknung beeinflusst. Deshalb sind bei den einzelnen Messungen das Materialalter angegeben und die zeitliche Reihenfolge der Messungen festgehalten worden.

### Versuchsdurchführung

Die Wärmeleitfähigkeit von ebenen, plattenförmigen Stoffen wird i. a. mit dem Zweiplattengerät nach DIN 52612 [7] bestimmt. Die Messung wird im trockenen Zustand des Materials durchgeführt, wobei mit einer Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen der Proben von mindestens 10 K gemessen wird. Dieses Verfahren ist für Messungen an feuchten Proben nicht geeignet, da als Folge des großen Dampfdruckgefälles ein Diffusionsstrom in Richtung des Wärmestroms zu Verlagerungen und zu Phasenänderungen der Feuchtigkeit führen würde. Ein quasi-stationärer Zustand der Wärmeübertragung, der für die Messung der Wärmeleitfähigkeit benötigt wird, ist auf diesem Weg nicht zu erreichen. Deshalb wurden die Messungen mit einem geeigneten waagrechten Einplattenverfahren durchgeführt, bei dem der Wärmestrom von unten nach oben,

also gegen die Schwerkraft, gerichtet ist und bei dem geringe Temperaturgradienten von etwa 0,2–0,4 K je cm Probendicke eingestellt werden. Die unterschiedlichen Temperaturen an der Unter- und Oberseite der Probe werden mit Kühlplatten eingestellt, die mit Methylalkohol über Kryostate und Thermostate gekühlt oder beheizt werden.

Die Temperaturmessung erfolgt über je 7 Thermoelemente an der Probenober- und Probenunterseite, die zur genauen Ermittlung der Temperaturdifferenz für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit hintereinandergeschaltet werden. Die Wärmestromdichte wird mit Hilfe von 2 Wärmestrommeßplatten bestimmt, die beiderseits der zu messenden Probe angeordnet sind und die an die Kühlplatten grenzen [10].

Im Bereich von etwa –30° bis +30°C Mitteltemperatur wurden 5 oder 6 Meßpunkte je Probe und Feuchtegehalt eingestellt. Zuerst erfolgt die Messung bei etwa +10°C Mitteltemperatur und dann der Bereich unter 0°C, nachdem die Probe etwa 3 Tage auf –30°C gekühlt worden war. Anschließend wurde die Wärmeleitfähigkeit im Bereich über 0°C und damit erneut bei +10°C Mitteltemperatur bestimmt.

Die laufende Aufzeichnung des Wärmestroms der beiden Meßplatten und der Temperaturen ermöglicht die Aussage über das Erreichen des praktischen Beharrungszustands der Wärmeübertragung bei der Messung und der eintretenden Phasenänderungen der Feuchtigkeit bei Temperaturwechsel.

Untersuchungen im Prüfinstitut haben gezeigt, daß das gewählte Verfahren mit den beschriebenen Randbedingungen zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen im feuchten Zustand geeignet ist. Wegen des geschlossenen Gefüges der Proben mit der überwiegend geschlossenzelligen Struktur sind die auftretenden Feuchteverlagerungen gering und beeinflussen die Wärmeleitfähigkeit im Rahmen der Meßunsicherheit praktisch nicht.

### Ergebnisse

Für die geprüften Schaumkunststoffe ist die Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei den jeweiligen Feuchtegehalten in Diagrammen dargestellt worden. Auf die Rohdichte und das Materialalter wird in den Bildunterschriften hingewiesen.

Die  $\lambda, t$ -Abhängigkeit wird durch ausgleichende Kurven oder Geraden der gefundenen Meßwerte dargestellt.

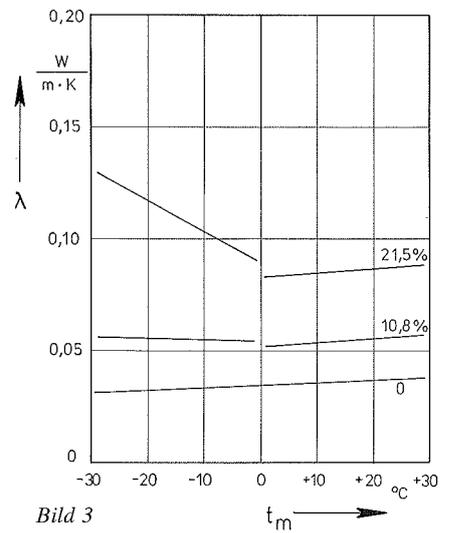
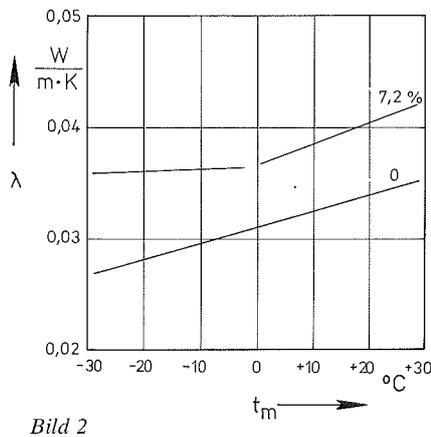
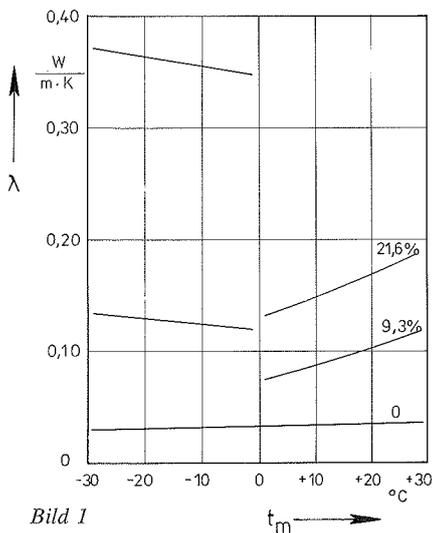
Da der Meß- und Zeitaufwand erheblich war, sind bei einzelnen Schaumkunststoffen die Messungen nur im Bereich von 0° bis +30°C durchgeführt worden.

Die  $\lambda, t$ -Kurven für den feuchten Zustand sind bei 0°C unterbrochen, da sich die Phasenänderung der Feuchtigkeit in den Zellen von Wasser und Wasserdampf in Eis und Reif auf die Wärmeleitfähigkeit unterschiedlich stark auswirkt.

Bild 1 zeigt die Kurven für den untersuchten PF-Bandschaum. Bei diesem Material entspricht die Richtung des Wärmestroms der Steigrichtung bei der Schaumherstellung, was neben der niedrigen Diffusionswiderstandszahl erklärend für den starken Anstieg der Wärmeleitfähigkeit im feuchten Zustand ist.

Weitere Messungen im Bereich von 0° bis +30°C Mitteltemperatur an PF-Blockschaum-Platten, die parallel zur Steigrichtung des Schaums geschnitten waren, ergaben einen geringeren Anstieg. Das zeigt die folgende Zusammenstellung der Meßwerte bei +10°C Mitteltemperatur:

PF-Schaumstoff	Rohdichte kg/m <sup>3</sup>	Wärmeleitfähigkeit in W/(m · K) bei u <sub>v</sub> :		
		0%	5%	10%
Bandware	65	0,034	0,065	0,094
Blockware	37	0,031	0,042	0,047
Blockware	68	0,033	0,047	0,051



**Bild 1.** Wärmeleitfähigkeit von PF-Hartschaum (Bandware), Rohdichte  $65 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0, 9,3 und 21,6%.

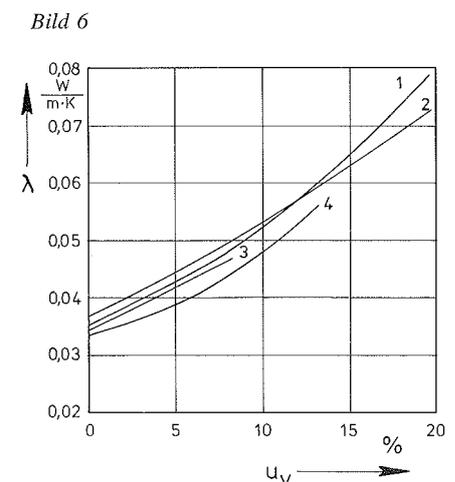
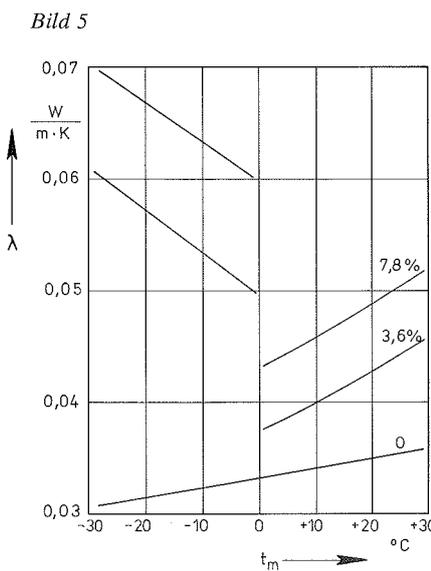
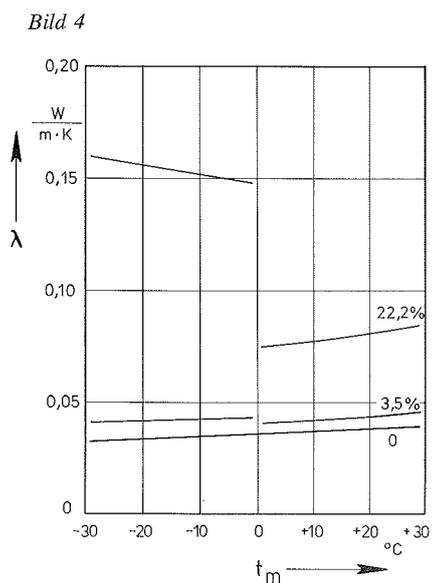
**Bild 2.** Wärmeleitfähigkeit von PS-Extruderschaum ohne Schäumhaut, Rohdichte  $28 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0 und 7,2%.

**Bild 3.** Wärmeleitfähigkeit von PS-Partikelschaum (Automatenware), Rohdichte  $21 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0, 10,8 und 21,5%.

**Bild 4.** Wärmeleitfähigkeit von PS-Partikelschaum (Bandware), Rohdichte  $20 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0, 3,5 und 22,2%.

**Bild 5.** Wärmeleitfähigkeit von PS-Partikelschaum (Blockware), Rohdichte  $23 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0, 3,6 und 7,8%.

**Bild 6.** Wärmeleitfähigkeit von PS-Partikelschaum bei  $10^\circ\text{C}$  Mitteltemperatur in Abhängigkeit vom volumenbezogenen Feuchtegehalt  $u_v$  in %; 1 Automatenware,  $21 \text{ kg/m}^3$ , 2 Bandware,  $20 \text{ kg/m}^3$ , 3 Blockware,  $23 \text{ kg/m}^3$ , 4 Automatenware,  $30 \text{ kg/m}^3$ .



In Bild 2 sind für einen etwa 3 Jahre alten PS-Extruderschaum ohne Schäumhaut die  $\lambda$ ,  $t_m$ -Kurven für einen volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0 und 7,2% dargestellt.

Wegen der geringen Feuchteaufnahme nach dem 28-Tage-Diffusionsversuch wurde die Messung mit dem halben Feuchtegehalt in diesem Falle nicht durchgeführt.

Weitere Meßwerte an 2 Produkten mit Schäumhaut verschiedener Hersteller sollen die Meßwerte bei  $10^\circ\text{C}$  Mitteltemperatur ergänzen:

PS-Extruderschaum	Rohdichte $\text{kg/m}^3$	Wärmeleitfähigkeit in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ bei $u_v$ :		
		0%	3%	6%
ohne Schäumhaut (3 Jahre alt)	28	0,032	0,035	0,038
mit Schäumhaut (3 Jahre alt)	32	0,032	0,035	0,039
mit Schäumhaut (2 Jahre alt)	40	0,029	0,031	0,033

Bild 7

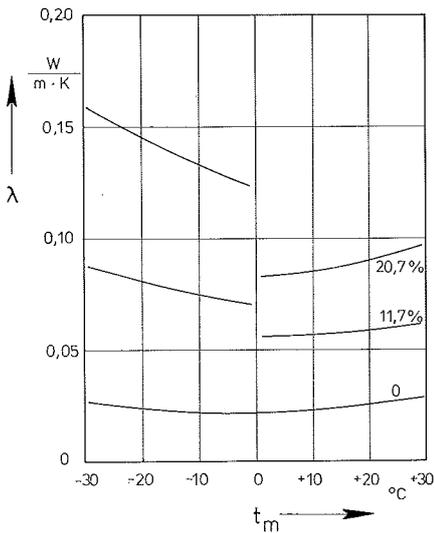


Bild 7. Wärmeleitfähigkeit von PUR-Hartschaum (Bandware), Rohdichte  $38 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0% (5 Monate alt), 11,7% (24 Monate alt) und 20,7% (22 Monate alt).

Bild 8

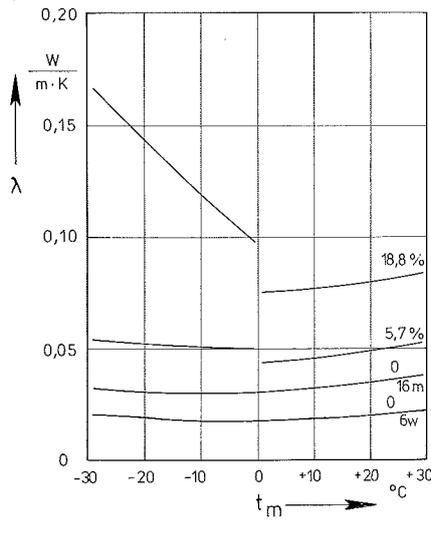


Bild 8. Wärmeleitfähigkeit von PUR-Hartschaum (Ortschaum nach dem Gießverfahren), Rohdichte  $37 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0% (6 Wochen und 16 Monate alt), 5,7% (14 Monate alt) und 18,8%, (16 Monate alt).

Bild 9

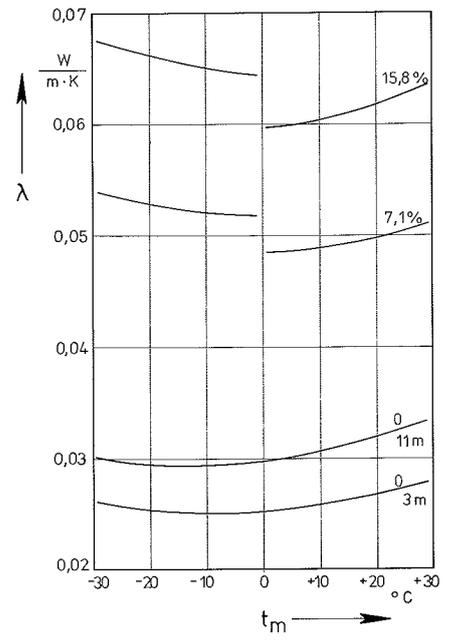


Bild 9. Wärmeleitfähigkeit von PUR-Hartschaum (Ortschaum nach dem Spritzverfahren), Rohdichte  $78 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0% (3 und 11 Monate alt), 7,1% (9 Monate alt) und 15,8% (7 Monate alt).

Die Bilder 3–5 zeigen für die verschiedenen PS-Partikelschaum-Platten die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Mitteltemperatur bei den jeweiligen Feuchtegehalten. Für die Platten mit einer Rohdichte zwischen  $20$  und  $30 \text{ kg/m}^3$  ist im Bereich über  $0^\circ\text{C}$  etwa ein gleicher Kurvenverlauf deutlich geworden, mit nahezu gleichem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit bei  $10^\circ\text{C}$  Mitteltemperatur mit dem Feuchtegehalt bis etwa  $10 \text{ Vol.-%}$  (Bild 6).

Betrachtet man den Bereich unter  $0^\circ\text{C}$ , so erkennt man mit steigendem Feuchtegehalt, besonders bei den höchsten gemessenen Werten um  $22 \text{ Vol.-%}$ , stärkere Abweichungen der Produkte untereinander, auch im  $\lambda, t$ -Kurvenverlauf.

In den Bildern 7–9 sind für die mit  $\text{CFCl}_3$  getriebenen PUR-Hartschäume unterschiedlicher Herstellung die Ergebnisse der Messungen in Diagrammen dargestellt. Dabei ist für jeden gemessenen Feuchtegehalt das zugehörige Alter für die  $\lambda, t$ -Kurve angegeben.

Bei den beiden Ortschäumen ist neben der Messung der Wärmeleitfähigkeit vor dem Befeuchtungsversuch auch eine abschließende Messung nach dem Versuchsprogramm und nach erfolgter Trocknung bei  $40^\circ\text{C}$  durchgeführt worden. Die dabei

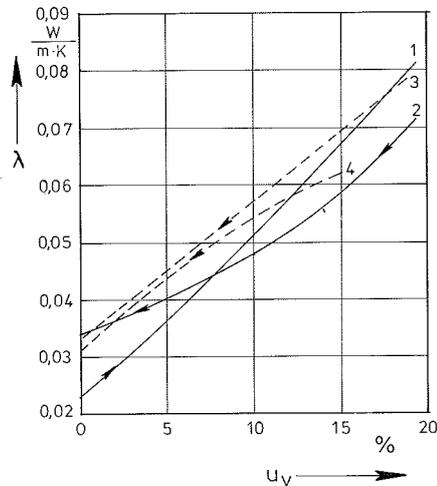


Bild 10. Wärmeleitfähigkeit von PUR-Hartschaum bei  $10^\circ\text{C}$  Mitteltemperatur in Abhängigkeit vom volumenbezogenen Feuchtegehalt  $u_v$ , in %; die Pfeilrichtung weist auf die zeitliche Folge der Meßpunkte hin.

- 1 Bandware,  $38 \text{ kg/m}^3$
- 2 Blockware,  $33 \text{ kg/m}^3$
- 3 Ortschaum – Gießverfahren,  $37 \text{ kg/m}^3$
- 4 Ortschaum – Spritzverfahren,  $78 \text{ kg/m}^3$

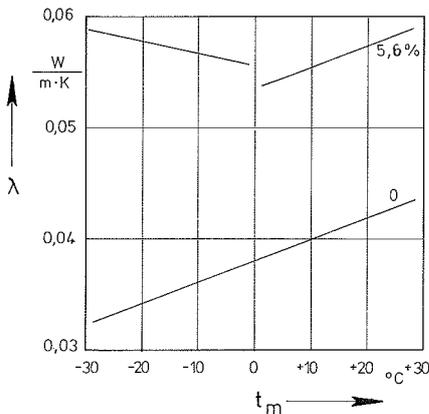


Bild 11. Wärmeleitfähigkeit von PVC-Hartschaum, Rohdichte  $58 \text{ kg/m}^3$ ; Abhängigkeit von der Mitteltemperatur bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0 und 5,6%.

ermittelten Werte zeigen für den Zeitraum von 8 bzw. 14 Monaten einen erheblichen Anstieg der Wärmeleitfähigkeit, der weit über den üblichen Rahmen hinausgeht. Die Gründe sind in einem erhöhten Gasaustausch und Ausdiffundieren von CFCs zu suchen, als Folge der Temperatur- und Feuchtigkeitsbeanspruchung des Diffusionsversuchs und evtl. der anschließenden Trocknung. Einen Hinweis geben dabei die Probengewichte, die um 2,5–6% nach den Messungen abgenommen haben. Im Temperaturbereich unter 0°C ist mit steigendem Feuchtegehalt eine stärkere Zunahme der Wärmeleitfähigkeit gegenüber dem Bereich über 0°C festzustellen.

In Bild 10 ist die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit bei 10°C Mitteltemperatur vom volumenbezogenen Feuchtegehalt für vier PUR-Hartschaum-Platten dargestellt. Ergänzt ist dabei das Diagramm mit den Meßwerten einer etwa 2½ Jahre alten Blockschaum-Platte, die senkrecht zur Steigrichtung des Schaums aus dem Block ausgesägt worden war. Die Pfeile an den einzelnen Kurven weisen auf die zeitliche Folge der Untersuchungen hin, wobei das in den Bildern 7–9 angegebene Alter ergänzend zu betrachten ist.

Die Kurven zeigen einen unterschiedlichen Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit bei den untersuchten PUR-Hartschaum-Proben, die sich in Rohdichte, Herstellung und damit in ihrer Zellstruktur sowie im Alter wesentlich voneinander unterscheiden.

In Bild 11 sind die  $\lambda, t$ -Kurven für den PVC-Hartschaum bei einem volumenbezogenen Feuchtegehalt von 0 und 5,6% dargestellt. Der Feuchtegehalt von 5,6% entsprach der aufgenommenen Wassermenge nach 28 Tagen Diffusionsversuch. Der PVC-Hartschaum war bei Beginn der Untersuchungen etwa 8 Jahre alt, so daß der Zellgasaustausch sicher als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden kann.

### Zusammenfassung

Die Untersuchungen im Rahmen unserer Forschungsarbeiten haben den Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Schaumkunststoffen gezeigt. Diese Werte gelten im untersuchten Temperatur- und Feuchtebereich für Schaumkunststoffe mit überwiegend geschlossenzelliger Struktur und geschlossenem Gefüge mit praktisch gleichmäßiger Feuchteverteilung.

Bei dieser Feuchteverteilung ist der Einfluß auf die Wärmeleitfähigkeit größer als bei schichtenweiser Durchfeuchtung, d. h. die ermittelten Werte stellen bei abschätzender Berechnung oder bei der Beurteilung über die Verminderung der Dämmwirkung eine ausreichend sichere Grundlage dar.

Im Kälteschutz, d. h. im Bereich unter 0°C, ist der Aggregatzu-

stand der im Zellgerüst eingeschlossenen Feuchtigkeit, insbesondere die Form und Dichte von Reif und Eis, von wesentlichem Einfluß auf die Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit [12]. Die unterschiedliche Zunahme, auch in Abhängigkeit von der Mitteltemperatur, haben dies bei den untersuchten Schaumkunststoffen gezeigt.

Bei Schäumen mit offenzelliger oder haufwerksporiger Struktur sind dann die Einflüsse des Feuchtetransports bei der Wärmeübertragung einschließlich möglicher endo- bzw. exothermer Phasenänderungen mit entscheidend, auch für die Feuchteverteilung im Material.

Der Einfluß der Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen mit anderen Zellgasen als Luft ist stets in Verbindung mit dem Alter der Materialien zu sehen und unter Berücksichtigung von Gasaustauschvorgängen durch Temperatur- und Feuchtigkeitsbeanspruchung bei der Feuchtigkeitsaufnahme.

Mit den ermittelten Ergebnissen stehen weitere Werte über den Einfluß von Feuchtigkeit auf die Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen im Bereich von -30° bis +30°C Mitteltemperatur zur abschätzenden Beurteilung zur Verfügung [2, 9].

Die Forschungsarbeiten wurden mit Mitteln des Bayer. Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr und mit Unterstützung von mehreren Firmen durchgeführt. Für die Förderung unserer Forschungstätigkeit bedankt sich der Verfasser auch an dieser Stelle.

(1139 A)

### Literatur

- [1] H. Zehendner: Wärmeleitfähigkeitsmessungen an Schaumkunststoffen bei tiefen Temperaturen; Kältetechnik-Klimatisierung Bd. 19 (1967) Nr. 1, S. 2/8.
- [2] J. Achtziger: Messung der Wärmeleitfähigkeit von Schaumkunststoffen mit beliebigem Feuchtigkeitsgehalt; Kib, Kunststoffe im Bau, Themenheft 23
- [3] J. S. Cammerer: Der Wärme- und Kälteschutz in der Industrie; 4. Aufl. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962.
- [4] O. Krischer: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik; 2. Aufl. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1963.
- [5] K. Gertis: Die Wärmeleitfähigkeit in feuchten Stoffen bei endo- bzw. exothermer Phasenänderung der Feuchtigkeit; Z. Gesundheits-Ingenieur, 93. Jahrgang (1972), Heft 12, S. 354/369.
- [6] H. Zehendner: Wasserdampfdurchlässigkeit von Schaumkunststoffen; Isolierung Heft 4/78.
- [7] DIN 52 612, Teil 1 und 2: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät, Aug. 1972 und Entwurf Februar 1978; Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.
- [8] Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 86; Anwendung von Dämmschichten im Straßenbau, Abschnitt 2.2 Prüfung von Hartschäumen; Kirschbaum-Verlag, Bonn-Bad Godesberg.
- [9] Informationen über Straßenbau- und Straßenverkehrsforschung Nr. 21 - Januar 1978; Möglichkeiten und Folgen der Wasseraufnahme der Dämmstoffe im Straßenbau.
- [10] DIN 52 616: Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Wärmestrommeßplatten-Gerät, Aug. November 1977; Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln.
- [11] H. Auracher: Wasserdampfdiffusion und Reifbildung in porösen Stoffen; VDI-Forschungsheft 566/1974.
- [12] H. Auracher: On the measurement of thermal conductivity in moist porous materials; International Journal of Refrigeration, Volume 1 Number 1 May 1978.

