

Reihe I: Allgemeine Fragen des Wärme- und Kälteschutzes

Nummer 25

**Wärmeschutztechnische Kenngrößen**

# **Geschlossenzellige PUR- und XPS-Schaumkunststoffe**

Dipl.-Ing. Horst Zehendner





## Wärmeschutztechnische Kenngrößen

# Geschlossenzellige PUR- und XPS-Schaumkunststoffe

DIPL.-ING. HORST ZEHENDNER

### 1. Allgemeines

Seit mehr als 30 Jahren werden in Deutschland Schaumkunststoffe als Wärmedämmstoffe verwendet, deren Anforderungen, Eigenschaften und Prüfungen in Normen oder technischen Spezifikationen bei uns entsprechend geregelt sind.

Verwendungen im Bauwesen und Industriebau haben dabei zu Anwendungstypen, Wärmeleitfähigkeits- und Belastungsgruppen und weiteren Klassifizierungen ge-

führt, die dann stets in die Neuausgaben der DIN 18164 „Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für den Hochbau“ oder den AGI-Arbeitsblättern oder der Richtlinie VDI 2055 aufgenommen worden sind [1, 2, 3, 4].

Unter den Hartschaumstoffen haben die mit FCKW als Treibmittel hergestellten, geschlossenzelligen Schaumstoffe aufgrund ihrer Zellgaszusammensetzung zu niedrigeren Wärmeleitfähigkeitswerten

geführt gegenüber den Produkten mit dem Zellgas Luft.

Die zeitliche Änderung der Wärmeleitfähigkeit dieser PUR- und XPS-Schaumkunststoffe durch Gasaustausch- und Druckausgleichsvorgänge war deshalb Thema vieler Forschungsvorhaben, die u. a. auch im FIW München zur Festsetzung von gesicherten Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeit durchgeführt worden sind [5, 6, 7].



Für die mit FCKW-Treibmitteln hergestellten Produkte mit oder ohne gasdiffusionsdichte Deckschichten konnten im bauaufsichtlich geregelten Bereich entsprechende Zuschlagswerte dann in Normen positiv geregelt werden, wobei der Begriff „gasdiffusionsdicht“ nur für metallische Deckschichten von mindestens 50 µm Dicke ohne weitere Nachweise in DIN 52612 Teil 2 festgesetzt wurde [8]. Die Zuschlagswerte in Zeile 15 galten für PS-Extruderschaum mit dem Zellgas  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  und für PUR-Hartschaum mit dem Zellgas  $\text{CFCl}_3$  mit einer Rohdichte  $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ .

Nachprüfungen von Produkten aus Praxisobjekten und Langzeituntersuchungen über nunmehr 30 Jahre haben diese Rechen- und Zuschlagswerte ausreichend bestätigt [7, 9], wie auch in Bild 1 zu erkennen ist. Optimierungen bei der Herstellung dieser Produkte sowie bei deren Ausgangsstoffen haben im Rahmen der Güteüberwachung gezeigt, dass ausreichend Sicherheit bei den festgelegten Wärmeleitfähigkeitswerten für den Anwender und den Hersteller im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit gegeben ist. Dabei muss ergänzt werden, dass Mindestanforderungen an Rohdichte, Festigkeitswerte, Dimensions- und Formstabilität in den Regelwerken der Dämmstoffspezifikationen festgelegt wurden.

Mit dem FCKW-Ausstieg um 1990 und dem Einsatz neuer alternativer Treibmittel wie HFCKW 22, 141b und 142b, Pentan,  $\text{CO}_2$  oder auch Treibmittelgemischen daraus, wurde die Frage nach der Wärmeleitfähigkeit und dem Langzeitverhalten der Produkte neu gestellt [4, 10, 11].

Wie Bild 2 zeigt, sind die Wärmeleitfähigkeitswerte der einzelnen Gase teilweise höher als die früher verwendeten FCKW-Treibmittel; weitere Gase wie Stickstoff, Sauerstoff sowie bereits eingesetzte HFCKW-Gase sind in der Darstellung enthalten. Erkennbar ist, dass die Wärmeleitfähigkeit der

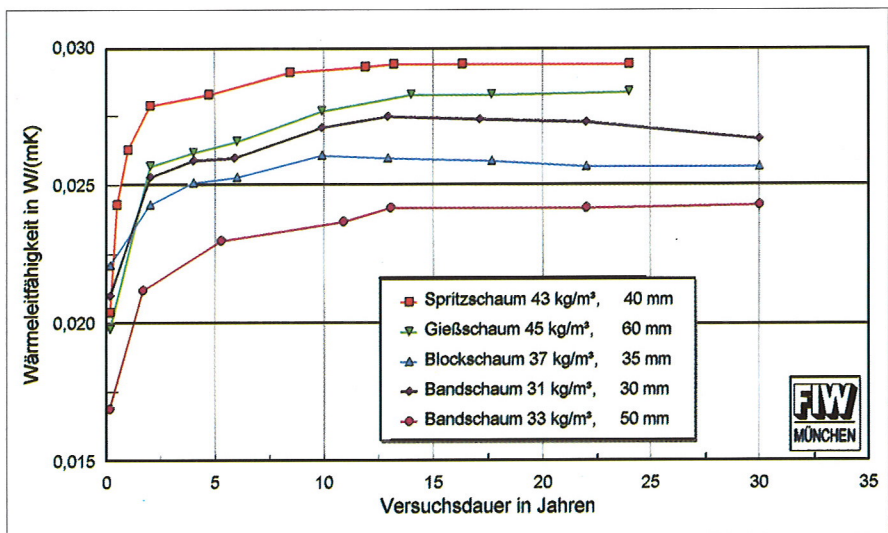


Bild 1: Zeitliche Änderung der Wärmeleitfähigkeit von PUR-Hartschaum.

Schaumkunststoffe durch die Zellgaszusammensetzung und Anteile der einzelnen Gase beeinflusst wird und dass das Langzeitverhalten vom Verlauf der Gasaustausch- und Druckausgleichsvorgänge abhängig ist. Ferner beeinflussen das Ausmaß, der Geschlossen-zelligkeit und die Qualität der Schaumstoffstruktur sowie die effektiven Diffusionskoeffizienten der einzelnen Gase wesentlich die zeitliche Änderung der Wärmeleitfähigkeitswerte.

Bei dem Treibmittelwechsel um 1990 war das Ziel der Produkthersteller, das bisherige Anforderungs- und Eigenschaftsniveau auch hinsichtlich Rohdichte und weiterer wärmeschutztechnischer Eigenschaftscharakteristiken beizubehalten. Für Langzeituntersu-

chungen von 2 oder 5 Jahren fehlte aber die Zeit zur Ermittlung und Festsetzungen der Rechenwerte für die einzelnen Treibmittel und resultierenden Zellgaszusammensetzungen.

Für die zeitraffende Alterung von geschlossenzelligen Schaumstoffen waren damals bereits Erfahrungen vorhanden, den Gasaustausch und Druckausgleich der Zellgase durch „Vergrößern der freien Oberflächen“ der Dämmplatten mittels „Aufspalten in dünne Schichten“ wie z. B. 10 mm Dicke nach der „Slicing-Methode“ zu beschleunigen; durch Messung der Wärmeleitfähigkeit der etwa 6 Wochen alten Platten vor und nach 90 Tagen Lagerung wird dabei ein „25-Jahres-Wert“ erreicht, was für eine mittlere Plattendicke theoretisch

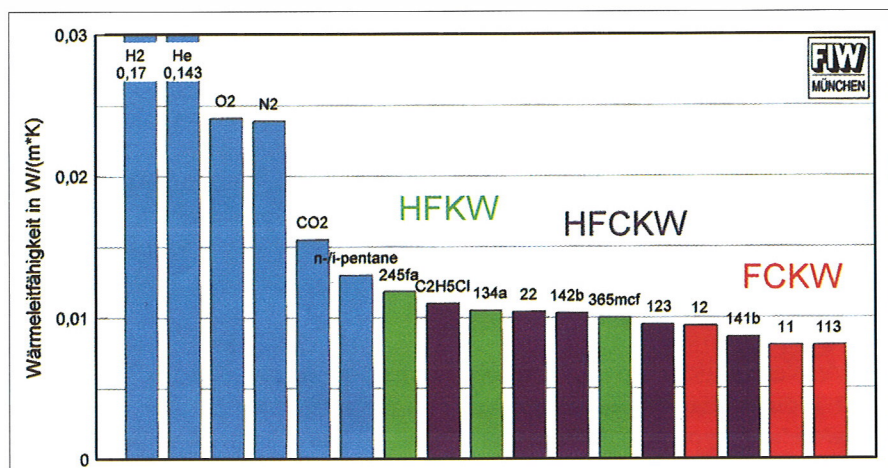


Bild 2: Wärmeleitfähigkeit von Gasen (Treibmitteln) für Schaumkunststoffe.



tisch und rechnerisch nachgewiesen wurde und Bestandteil der ISO-Norm 11561 ist [12].

Für PUR-Produkte mit gasdiffusionsdichten, metallischen Deckschichten – mit der Regelung nach DIN 52612 Teil 2 der „zulässigen freien Randflächen“ kleiner als 10 % der Gesamtoberfläche – wurde die „thermische Alterung“ bei 70 °C über 3 oder 6 Monate Lagerung festgelegt, wobei die Wärmeleitfähigkeit in der Plattenmitte an einer Messfläche von 500 mm x 500 mm vor und nach Temperung nach DIN 52612 bei 10 °C Mitteltemperatur bestimmt wird.

Als wesentlicher Bestandteil der Alterungsmethoden ist die Kenntnis weiterer Eigenschaftswerte der spezifischen Produkte notwendig, wie

- ❑ Ausmaß der Geschlossenzelligkeit der Schaumstoffstruktur,
- ❑ Zellgaszusammensetzung und Zellgasdrücke als Funktion der Zeit und
- ❑ Dimensionsstabilität für den Verwendungsbereich im Bauwesen, aber auch im Industriebau.

In mehreren aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirt-



**Bild 3: Waagrecht Einplattengerät zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit zwei Kryostaten.**

schaft BMWi über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. Köln-AIF geförderten Forschungsvorhaben sind im FIW umfangreiche Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt worden; an dieser Stelle sei nochmals unser aufrichtiger Dank für die Unterstützung unserer Forschungstätigkeit und der KmU's ausgesprochen.

Nachfolgend werden die Prüfmethoden und die Ergebnisse der wichtigsten Kenngrößen der unter-

suchten PUR- und XPS-Schaumkunststoffe mit alternativen Treibmitteln nach 1990 dargestellt.

## 2. Wärmeschutztechnische Kenngrößen geschlossenzelliger Schaumkunststoffe

Für die bereits aufgelisteten Eigenschaftswerte und Kenngrößen stehen bewährte und auch teilweise genormte Prüfmethoden zur Verfügung, aber auch im Rahmen der Forschungsarbeiten stoffspezifisch entwickelte Methoden zur Bestimmung der effektiven Diffusionskoeffizienten der einzelnen Zellgase und der Zellgasdrücke als Funktion der Zeit.

### 2.1 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit an ebenen Produkten

Die Wärmeleitfähigkeit von ebenen Dämmstoffen wird üblicherweise mit dem Plattengerät nach Poensgen nach DIN 52612 mit einer Messfläche von 500 mm x 500 mm im trockenen Zustand bestimmt. Für den Temperaturbereich des Bauwesens werden zwischen 0 und 40 °C drei Messpunkte im stationären Zustand eingestellt und der Messwert bei 10 °C Mitteltemperatur aus dem Kurvenverlauf in  $W/(m \cdot K)$  ermittelt.

Für Reihenuntersuchungen und Forschungsarbeiten wird auch das Wärmestrom-Messplatten-Verfahren nach DIN 52616 mit der gleichen Messfläche verwendet, wobei das Einplattenverfahren dank der Wärmestrommesser auf Kalt- und Warmseite schneller den stationären Zustand erreichen lässt. Die Bilder 3 und 4 zeigen die im Eigenbau erstellten FIW-Prüfgeräte zur Wärmeleitfähigkeitsbestimmung.

### 2.2 Bestimmung des Volumenanteils offener und geschlossener Zellen

Als stoffkennzeichnende Größe von harten Schaumkunststoffen gilt die „Geschlossenzelligkeit“ sowohl für Gasaustauschvorgänge, wie auch für Dampfdurchlässigkeit oder Feuchteaufnahme bei unterschiedlichen Beanspruchungen.



**Bild 4: Einbau von zwei Hartschaumplatten in das Wärmeleitfähigkeitsgerät nach DIN 52612.**



Die Bestimmung des Volumenanteils offener und geschlossener Zellen erfolgt nach DIN ISO 4590 Ausgabe November 1986 durch Messung des geometrischen Volumens und anschließender Messung des gasdichten Volumens der Probekörper. Für die Bestimmung des gasdichten Volumens werden zwei alternative Verfahren beschrieben: Verfahren 1 mit Druckänderung, sowie Verfahren 2 mit Volumenausdehnung, wobei

Dämmstoffe aus PUR- oder XPS-Hartschaum werden in DIN 18164 als „überwiegend geschlossenzellig“ beschrieben, ohne weitere Angaben zum Ausmaß der Geschlossenzelligkeit.

Umfangreiche Untersuchungen an genormten Produkten haben ergeben, dass dies beim PUR-Hartschaum mit mindestens 90 Vol.-% und beim XPS-Hartschaum mit mindestens 95 Vol.-% zu quantifizieren ist.

den Festlegungen für die Baustoffliste. Mit Erscheinen der Bauregelliste (BRL) A Teil 1 wurden diese Anforderungen in den Abschnitt 5 „Dämmstoffe für den Wärme- und Schallschutz“ mit den entsprechenden Anlagen übernommen: „DIBt-Sonderheft 10 (1995)“ und jährlich fortgeschrieben.

Die im Rahmen der Güteüberwachung ermittelten Messwerte der Geschlossenzelligkeit lagen bei „normgerechten“ Produkten mit Mindest-Rohdichten von  $30 \text{ kg/m}^3$  meistens zwischen 90 und 93 Vol.-% beim PUR-Hartschaum und 95 bis 98 Vol.-% beim PS-Extruderschaum.

Bei großen Plattendicken  $> 100 \text{ mm}$  ist darauf zu achten, dass auch die mittleren Kernzonen diese Anforderungen im Hinblick auf die sogenannten „permanenten“ Zellgase und die weiteren Eigenschaftswerte der Schaumkunststoffe erfüllen.

Anforderungen an die Geschlossenzelligkeit werden auch an PUR-Ortschaum-Produkte gestellt und zwar für  $\text{CO}_2$  getriebenen Ortschaum nach BRL mit mindestens 85 Vol.-% [14] und an mit HFCKW 141b getriebenen Ortschaum mit mindestens 90 Vol.-% im Bereich der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

### 2.3 Bestimmung der Zellgaszusammensetzung

Zum Nachweis des Treibmittels und der entsprechenden Zellgase ist die Bestimmung der Zellgaszusammensetzung durch Gaschromatographie notwendig, um die Zuordnung der werkmäßig hergestellten Hartschaum-Produkte zu den Stoffspezifikationen zu ermöglichen. Bei der Zahl der möglichen Zellgase nach Bild 2 und insbesondere auch Treibmittelgemischen ist diese Prüfung auch notwendig, um die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und bauaufsichtlicher Regelungen zu bestätigen, auch zum Nutzen und der Sicherheit der Anwender und Verbraucher.

Dazu sind nach einem insbesondere beim PUR-Hartschaum seit



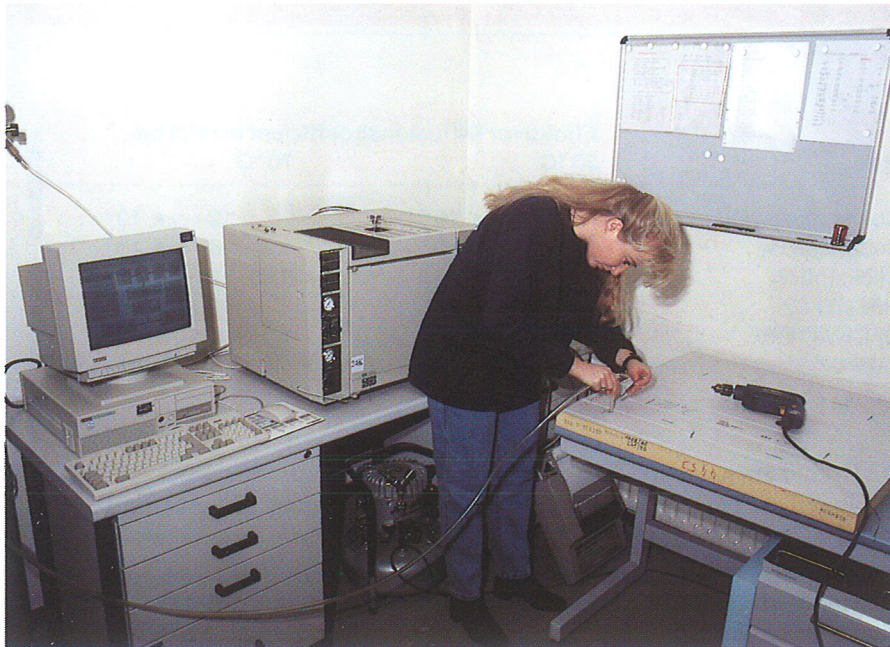
**Bild 5:**  
Prüfeinrichtung nach DIN ISO 4590 zur Bestimmung des Volumenanteils geschlossener Zellen nach Verfahren 2.

jeweils ein Schema der Prüfapparatur in der Prüfnorm enthalten ist [13].

Bild 5 zeigt die im Eigenbau erstellte Prüfapparatur nach dem Verfahren 2, Abschnitt 9, für die Bestimmung der Geschlossenzelligkeit an Probekörpern von  $100 \text{ mm} \times 30 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ . Falls erforderlich, kann ein Korrekturfaktor für die beim Schneiden geöffneten Oberflächenzellen ermittelt werden.

Bei den Prüfungen dieser Hartschaumprodukte mit anderen Treibmitteln als FCKW hat sich gezeigt, dass diese Mindestwerte von mit Pentan getriebenem PUR-Hartschaum und von mit HFCKW 142b getriebenem PS-Extruderschaum erfüllt werden, weshalb diese Anforderungen nach Methode 2 ohne Ziff. 5.4. auch Bestandteil der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen wurden: siehe auch Mitteilungen IfBt 2/1992 mit





**Bild 6: Entnahme einer Zellgasprobe unter Heliumspülung aus einem PUR-Stahlblechelement zur Ermittlung der Zellgaszusammensetzung.**

langem gebräuchlichen Verfahren Gasproben mit einer gasdichten Spritze mit langer Kanüle aus der Schaumstoffprobe, zweckmäßigerweise aus der Mitte der Wärmeleitfähigkeitsprobe zu entnehmen [15].

Die Zellgasprobenahme erfordert Erfahrung und viel Geschick und geschieht unter gleichzeitiger Heliumspülung, um die Zellgasprobe nicht durch die Umgebungsluft zu „verunreinigen“.

Die Zellgaszusammensetzung wird mit einem Gaschromatographen mit gepackter Säule und einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor für alle üblichen Gase nach entsprechender Kalibrierung bestimmt. Die Bestimmung des Zellgasaufbaus der entnommenen Proben erfolgt qualitativ durch Retentionszeitenvergleich und auch näherungsweise quantitativ über Peakflächenauswertung und Wichtung der einzelnen Gase; die Angabe erfolgt dann in Vol.-%.

Diese Art der Zellgasbestimmung erfasst den Einfluss der Anteile der Gase auf den Wärmetransport in den Zellen des Schaumstoffs und berücksichtigt natürlich nicht eventuell gelöste Anteile von Gasen in der Matrix. Die Genauigkeit der Zellgasbestimmungen kann nach unseren Erfahrungen mit < 1 Vol.-% angegeben werden.

Die Bilder 6 und 7 zeigen die Entnahme der Gasprobe unter

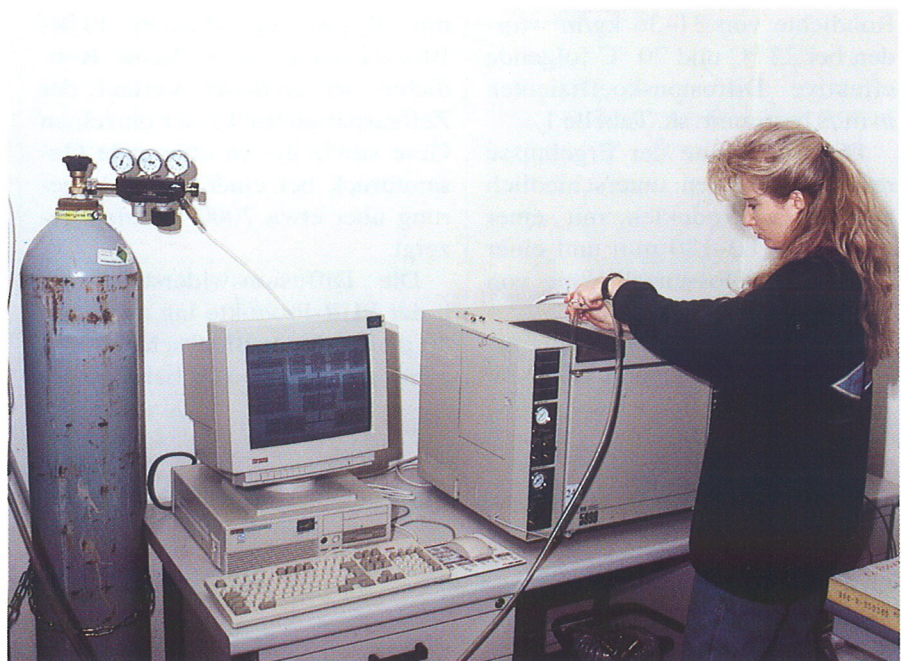
Heliumspülung aus einem PUR-Stahlblechelement und das Einbringen der Gasprobe in den Gaschromatographen, wobei je Platte mindestens 2 Proben zu untersuchen sind.

#### **2.4 Bestimmung des Zellgasdrucks und der Diffusionskoeffizienten der Gase**

Mit den unter Abschnitt 2.2 und 2.3 bestimmten und beschriebenen Kenngrößen können die Wärmeleitfähigkeitswerte ausreichend charakterisiert werden. Langzeituntersuchungen der Wärmeleit-

fähigkeit bei 23 °C- oder 70 °C-Lagerung werden durch begleitende Zellgasuntersuchungen unterstützt und zeigen den Umfang des Gasaustauschs mit der Umgebung und damit den zeitraffenden Effekt der 70 °C-Lagerung durch die Änderungen im Zellgasaufbau [16].

Die beschriebenen Zellgasmessungen als Funktion der Zeit reichen aber allein noch nicht aus zur Charakterisierung der einzelnen, mit verschiedenen Treibmitteln hergestellten Schaumstoffarten oder als Grundlage für die Abschätzung von Rechenwerten der



**Bild 7: Einbringen der Gasprobe in den Gaschromatographen zur Ermittlung der Zellgaszusammensetzung.**



Wärmeleitfähigkeit für das Langzeitverhalten.

Für die Gasaustauschvorgänge ist allgemein bekannt, dass CO<sub>2</sub> oder Luft wesentlich schneller in PUR- und XPS-Hartschäumen diffundieren als die früheren FCKW- und nachfolgenden HFCKW-Gase, wobei natürlich auch Zellgasdruckunterschiede zur Umgebungsluft eine Rolle spielen. Über die Beschleunigung der Gasdiffusion bei höheren Temperaturen wie z. B. bei 70 °C gibt es seit Jahrzehnten unterschiedliche Angaben und Vorstellungen, was deshalb Thema unserer FIW-Forschungsarbeiten war.

Eingehende Untersuchungen an mit neuen Treibmitteln hergestellten, geschlossenzelligen Schaumkunststoffen haben wesentliche Erkenntnisse geliefert, deren Ergebnisse hier für bauaufsichtlich geregelte PUR- und XPS-Hartschaum-Produkte dargestellt werden. Dabei hat sich ergeben, dass zur Beschreibung des Diffusionsverhaltens der Luft die effektiven Diffusionskoeffizienten von Sauerstoff und Stickstoff unterschiedlich und getrennt anzugeben sind.

Für werkmäßig gefertigte PUR-HARTSCHAUM-PRODUKTE (Band- und Blockware) mit einer Rohdichte von 31–36 kg/m<sup>3</sup> wurden bei 23 °C und 70 °C folgende effektive Diffusionskoeffizienten in m<sup>2</sup>/s bestimmt: sh. Tabelle 1.

Die Streubreite der Ergebnisse resultiert aus den unterschiedlich gefertigten Produkten mit einer Dicke von 80–120 mm und einer hohen Geschlossenzelligkeit von 95–96 Vol.-%.

Die effektiven Diffusionskoeffizienten von Pentan und HFCKW

Gas	Effektiver Diffusionskoeffizient in m <sup>2</sup> /s bei	
	23 °C	70 °C
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	5 • 10 <sup>-9</sup>	12 • 10 <sup>-9</sup>
Sauerstoff O <sub>2</sub>	0,3 – 2 • 10 <sup>-9</sup>	1,2 – 6 • 10 <sup>-9</sup>
Stickstoff N <sub>2</sub>	0,06–9,5 • 10 <sup>-9</sup>	0,25– 1,5 • 10 <sup>-9</sup>
HFCKW 22	0,05 • 10 <sup>-9</sup>	0,15 • 10 <sup>-9</sup>
HFCKW 142b	0,3 – 0,7 • 10 <sup>-12</sup>	1,5 – 4 • 10 <sup>-12</sup>

**Tabelle 2**

141b sind etwa um den Faktor 1000 geringer als die von CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>; die 70 °C-Werte von CO<sub>2</sub>, Pentan und HFCKW 141b sind um den Faktor 5–10 und von O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> um den Faktor 10 – 25 höher gegenüber den 23 °C-Werten.

Die Anfangswerte der Wärmeleitfähigkeit bei 10 °C Mitteltemperatur liegen bei 0,019–0,021 W/(m · K) beim Treibmittel HFCKW 141b und bei 0,021–0,024 W/(m · K) beim Treibmittel Pentan, was auch teilweise durch den Zellgasaufbau zu begründen ist.

Der Zellgasdruck an den relativ „frischen“ geprüften PUR-Produkten betrug 600 – 670 mbar und änderte sich durch die bei 23 °C-Lagerung folgenden Gasaustauschvorgänge nach einem Jahr auf ca. 800–1100 mbar.

In Bild 8 wird zum Beispiel für mit Pentan getriebenem PUR-Blockschaum von 31 kg/m<sup>3</sup> Rohdichte der zeitliche Verlauf der Zellgaspartialdrücke der einzelnen Gase sowie der resultierende Gesamtdruck bei einer 23 °C-Lagerung über etwa 7000 Stunden gezeigt.

Die Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  der PUR-Produkte lag zwischen 40 und 90 beim Blockschaum und zwischen 70 und 100 beim Band-

schaum-Kern ohne Deckschichten und entspricht damit dem bisherigen Richtwertebereich von 30 – 100.

Für die werkmäßig gefertigten PS-EXTRUDERSCHAUM-PRODUKTE mit Schäumhaut mit einer Rohdichte von 37 – 40 kg/m<sup>3</sup> wurden bei 23 °C und 70 °C folgende effektive Diffusionskoeffizienten in m<sup>2</sup>/s bestimmt: sh. Tabelle 2.

Die Streubreite der Ergebnisse resultiert aus den unterschiedlichen mit HFCKW 142b, HFCKW 22/142b und CO<sub>2</sub> getriebenen Produkten mit Dicken von 80–160 mm und einer Geschlossenzelligkeit von 95 – 97 Vol.-%.

Die effektiven Diffusionskoeffizienten von HFCKW 142b als „permanentes“ Zellgas liegen um den Faktor von ca. 100–1000 niedriger als diejenigen der weiteren Gase; die 70 °C-Werte der einzelnen Gase sind etwa um den Faktor 3–5 höher als die 23 °C-Werte.

Die Anfangswerte der Wärmeleitfähigkeit bei 10 °C Mitteltemperatur betragen 0,022 W/(m · K) beim HFCKW-Treibmittel und 0,036 W/(m · K) beim CO<sub>2</sub>-getriebenen XPS-Produkt in 160 mm Dicke.

Der Zellgasdruck an den geprüften, relativ „frischen“ XPS-Produkten bei CO<sub>2</sub>-getriebenem Hartschaum beträgt ca. 730 mbar und bei dem HFCKW-getriebenen Hartschaum ca. 1100 mbar und änderte sich nach einem Jahr Lagerung bei 23 °C auf etwa 1000 bis 1600 mbar durch Gasaustausch.

In Bild 9 wird beispielhaft für mit HFCKW 142b getriebenen PS-Extruderschaum der zeitliche Verlauf der Zellgaspartialdrücke der einzelnen Gase bei einer 23 °C-La-

**Tabelle 1**

Gas	Effektiver Diffusionskoeffizient in m <sup>2</sup> /s bei	
	23 °C	70 °C
Kohlendioxid CO <sub>2</sub>	1,1 – 8 • 10 <sup>-10</sup>	7 – 40 • 10 <sup>-10</sup>
Sauerstoff O <sub>2</sub>	0,5 – 2 • 10 <sup>-10</sup>	3 – 18 • 10 <sup>-10</sup>
Stickstoff N <sub>2</sub>	0,03–0,05 • 10 <sup>-10</sup>	0,5– 3 • 10 <sup>-10</sup>
Pentan	0,5 – 5 • 10 <sup>-13</sup>	3 – 50 • 10 <sup>-13</sup>
HFCKW 141b	1 • 10 <sup>-13</sup>	3 – 4 • 10 <sup>-13</sup>



gerung über 7000 Stunden sowie der resultierende Gesamtdruck dargestellt.

Die Diffusionswiderstandzahl  $\mu$  der XPS-Produkte liegt mit 100–160 in der Größenordnung des bisherigen Richtwertebereichs nach DIN 4108.

Die Kenntnisse der effektiven Diffusionskoeffizienten der einzelnen Zellgase und des Zellgasdrucks als Funktion der Zeit bei 23 °C und auch bei 70 °C bilden bereits die Grundlage für die rechnerische Abschätzung des Langzeitverhaltens der Wärmeleitfähigkeit bei den geschlossenzelligen PUR- und XPS-Schaumkunststoffen. Voraussetzung sind die Anfangs-Messwerte der Wärmeleitfähigkeit, der Zellgaszusammensetzung und Zellgasdrücke sowie die Einhaltung der beschriebenen wärmeschutztechnischen Kenngrößen.

### 3. Zusammenfassung

In dem Beitrag wurde ein Überblick über die wesentlichen wärmeschutztechnischen Kenngrößen von geschlossenzelligen PUR- und XPS-Schaumkunststoffen sowie deren Prüfungen und Anforderungen im bauaufsichtlich geregelten Bereich gegeben.

Mit dem Einsatz neuer Treibmittel um 1990 und der resultierenden sogenannten „permanenten“ Zellgase mussten ja schnell Wege zur Ermittlung gesicherter Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit zum Langzeitverhalten festgesetzt werden, wobei dämmstoffspezifisch für die verwendeten Treibmittel entsprechende Regelungen im Rahmen unserer Zuschlagswerte  $Z$  und der Einstufung in Wärmeleitfähigkeitsgruppen mit dem  $\lambda_Z$ -Wert getroffen werden konnten.

Auf der Grundlage der DIN 18164-Eigenschaftswerte und der Kenngrößen „Geschlossenzelligkeit von mindestens 90 oder 95 Vol.-% und Zellgaszusammensetzung“ konnte über den Weg von Zulassungen bei ausreichender Zahl von Langzeitwerten abschließend die Veröffentlichung in der

Bauregelliste mit relevanten Anforderungen erreicht werden. Diese Regelungen erfordern im Rahmen der Überwachung und Konformitätsnachweise nicht laufend neue Langzeitprüfungen an den Produkten mit verschiedenen Dicken, Rohdichten und Festigkeitswerten, sondern ermöglichen die Durchführung von Kurzzeitprüfungen mit abschließender Beurteilung wie bisher.

In der gültigen Bauregelliste sind dabei folgende Schaumkunststoff-Produkte und Treibmittel geregelt (siehe Kasten Seite 10).

Für weitere Treibmittel und relevante Zellgase von PUR- oder XPS-Schaumkunststoffen sind für die Hersteller allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen auf Antrag vom DIBt Berlin erteilt worden nach Durchführung der vereinbarten Zulassungsprüfungen; dies gilt auch für die Anwendbarkeit dieser Wärmedämmstoffe bei nicht in Normen geregelten Bauarten.

Für den Übereinstimmungsnachweis ist in jedem Herstellerwerk eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten und durchzuführen, die im Rahmen der Fremdüberwachung regelmäßig zu

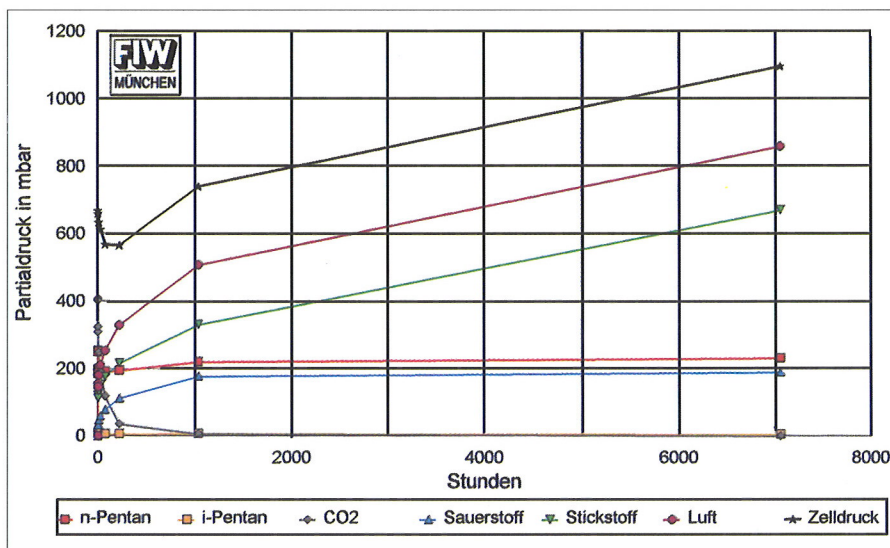


Bild 8: Mittlere Zellgas-Partialdrücke in einer 20 mm dicken PUR-Kernschicht in Abhängigkeit von der Zeit bei 23 °C Lagerung.

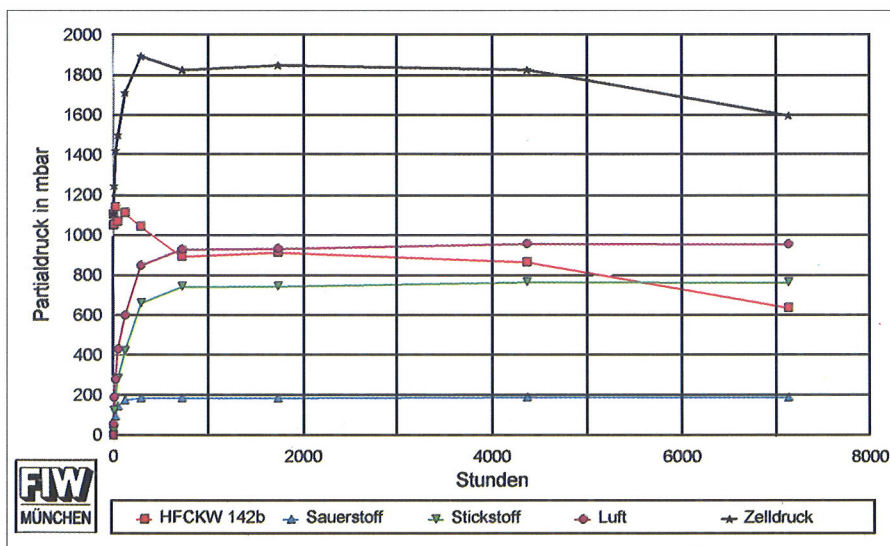


Bild 9: Mittlere Zellgas-Partialdrücke in einer 20 mm dicken XPS-Kernschicht in Abhängigkeit von der Zeit bei 23 °C Lagerung.



## Bauregelliste A, Teil 1, Nr. 5: Dämmstoffe für den Wärme- und Schallschutz

### Nr. 5.4:

Polyurethan-Ortschaum mit CO<sub>2</sub> als Treibmittel mit Anlage 5.1:  
Mindest-Rohdichte 45 kg/m<sup>3</sup> bzw. 50 kg/m<sup>3</sup> bei Kälteanlagen  
Geschlossenzelligkeit > 85 Vol.-%, Druckfestigkeit ≥ 0,15 N/mm<sup>2</sup>  
 $\lambda_{10,g} \geq 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ,  $\lambda_R = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

### Nr. 5.8:

Polyurethan (PUR)-Hartschaum mit CO<sub>2</sub> oder Pentan oder HFCKW 141b als Treibmittel mit Anlage 5.2:  
Geschlossenzelligkeit ≥ 90 Vol.-%, Prüfungen nach DIN 18164 Teil 1.

### Nr. 5.10:

Polystyrol (PS)-Extruderschaum mit HFCKW 142b als Treibmittel oder Gemisch HFCKW 142b/22 bis 31.12.1999 mit Anlage 5.4:  
Geschlossenzelligkeit ≥ 95 Vol.-%, Prüfungen nach DIN 18164 Teil 1.

überprüfen ist. Ferner sind von der bauaufsichtlich anerkannten Prüfstelle die Prüfungen der geforderten wärmeschutztechnischen Eigenschaften der beschriebenen Produkte einschließlich Geschlossenzelligkeit und Zellgaszusammensetzung durchzuführen, was dann zur Erteilung des Übereinstimmungszertifikates und der Kennzeichnung der Produkte mit dem Übereinstimmungszeichen, dem Ü-ZEICHEN, führt.

Nach mehr als 10 Jahren Prüfungen nach der „Slicing-Methode“ mit 10 mm Scheibendicke und Erfahrungen im Labor und der Festsetzung von Zuschlagswerten aufgrund der gemessenen Wärmeleitfähigkeitserhöhungen nach der 90-Tage-Lagerung bei 23 °C, konnten ausreichend sichere Regelungen für die untersuchten PUR- und XPS-Schaumkunststoffe ohne gasdiffusionsdichte, metallische Deckschichten getroffen werden.

Dies gilt natürlich für unsere genormten und fremdüberwachten Hartschaum-Qualitäten mit Mindestanforderungen an Rohdichte, Geschlossenzelligkeit, Dimensionsstabilität und die Zellgaszusammensetzung.

Langzeituntersuchungen im FIW an mit neuen Treibmitteln seit etwa 1990 hergestellten Schaumkunststoffen bestätigen die getroffenen Regelungen [9, 12, 16].

### 4. Ausblick

In der Zukunft sind für die beschriebenen geschlossenzelligen Schaumkunststoffe weitere neue Treibmittel mit den relevanten „permanenten“ Zellgasen und niedrigeren Wärmeleitfähigkeitswerten zu erwarten ebenso wie Optimierungen der Eigenschaftswerte für die verschiedenen Anwendungsbereiche.

Während man bei der europäischen Normung im CEN TC 88 Wärmedämmstoffe und wärmedämmende Produkte für die Anwendung im Bauwesen den Temperaturbereich von -30 °C bis +70 °C (oder 80 °C) festgelegt hat, reicht der Temperaturbereich bei haus- und betriebstechnischen Anlagen von -180 °C bis zu den stoffspezifisch und betriebstechnisch höheren Anwendungsgrenztemperaturen in der Arbeitsgruppe TC 88 WG 10 [17, 18].

Die 10 Normentwürfe für die Wärmedämmstoffe für das Bauwesen sollen nun den Mitgliedsstaaten nach der CEN-Umfrage im Mai 1998 zur „Formellen Abstimmung“ vorgelegt werden, wobei die Spezifikationen prEN 13164 (XPS), prEN 13165 (PUR) und prEN 13166 (PF) einen normativen Anhang zur Bestimmung des Nennwerts (oder auch declared value!) der Wärmeleitfähigkeit oder des Wärmedurchlasswider-

standes nach Alterung seit dem Chantilly-Meeting im Juni 2000 enthalten.

Als Bemessungszeitraum waren ursprünglich 25 Jahre vorgesehen, aber bei den Normungsarbeiten und der Gestaltung der Alterungsmethoden im Wettstreit der einzelnen Produkte um die 0,001 W/(m · K) – Abstufungen wurden die Anforderungen auf den mittleren 25-Jahre-Wert geändert, was etwa einer Lagerzeit bei 23 °C von 6–8 Jahren entspricht (laut WG 1-Protokoll).

Nach Vorliegen der Schlussentwürfe in drei Sprachen wird sich für die Mitglieder des NABau 00.88 und die interessierten Kreise in Deutschland die Frage stellen, ob die Alterungsmethoden für XPS-, PUR- und PF-Hartschaum etwa zu vergleichbaren Nennwerten gleicher Vertrauenssicherheit und Qualität führen, besonders wenn mehrere Verfahren zur Wahl stehen.

Mit der Einführung von dickenabhängigen Alterungszeiten von 30-50-90 Tagen für die Plattendicken von 20–70 mm bis 120 mm und > 120 mm ist eine weitere Aufgliederung enthalten, die bezüglich der Handhabung von Messwerten mit oder ohne weitere Gruppenbildung durch den Hersteller mit oder ohne Beteiligung zugelassener Prüfstellen viele Fragen offen lässt.

Trotz der TC 88-Resolutionen zum Konformitätsnachweis ist für alle Wärmedämmstoffe unter dem Mandat nur das System 3 geblieben mit der werkseigenen Produktionskontrolle des Herstellers und der (einmaligen?) Erstprüfung einzelner Eigenschaften des Produkts durch eine anerkannte Stelle: deshalb das geflügelte Wort, dass das CE-ZEICHEN kein Qualitätszeichen ist und sein wird.

Das Ziel dieses Beitrages war, unseren technischen Stand mit gesicherten Erfahrungen nach mehr als einem Jahrzehnt an Schaumkunststoffen mit sogenannten „permanenten“ Zellgasen aufzuzeigen, wie er basierend auf den wärme-