Polyurethan
dämmt besser®

Wärmedämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum
Herstellung – Anwendung – Eigenschaften

Inhalt

Polyurethan – ein Stück mehr Lebensqualität 4

1 Was ist Polyurethan-Hartschaum 5

2 Herstellung von Polyurethan-Hartschaum-Wärmedämmstoffen 6

2.1 Herstellung von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten 6

2.2 Herstellung von PUR/PIR-Hartschaum-Blöcken 7
2.2.1 Kontinuierliche Herstellung von Blockschaum 7
2.2.2 Diskontinuierliche Herstellung von Blockschaum 7

2.3 Herstellung von Polyurethan-Sandwichelementen mit starren Deckschichten 8
2.3.1 Kontinuierliche Herstellung von Sandwichelementen 8
2.3.2 Diskontinuierliche Herstellung von Sandwichelementen 8

3 Anwendungen von Polyurethan-Hartschaum 9

3.1 Anwendungstypen für Dämmstoffe 9

3.2 Anwendungsbezogene Mindestanforderungen an PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffe 10

3.3 Qualitätstypen von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen 11

3.4 Anwendungsgebiete von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen 11

4 Technische und physikalische Eigenschaften von Polyurethan-Hartschaum 14

4.1 Wärmeleitfähigkeit 14
4.1.1 Wärmeleitfähigkeit und Wärmedurchlasswiderstand von Dämmstoffen 14
4.1.2 Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum 14
4.1.2.1 Einfluss des Zellgases *14*
4.1.2.2 Einfluss der Rohdichte *15*
4.1.2.3 Einfluss der Temperatur *15*
4.1.2.4 Einfluss der Wasseraufnahme nach 28-tägiger Unterwasserlagerung *15*
4.1.3 Nennwert und Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 15
4.1.4 Wärmeleitfähigkeitsstufen für PUR/PIRHartschaum-Wärmedämmstoffe 16
4.1.5 Langzeitverhalten der Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen 16

4.2 Rohdichte 17

4.3 Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10% Stauchung 17

4.4 Dauerdruckspannung 18

4.5 Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene, Scherfestigkeit und Biegefestigkeit 19

Herausgeber:
IVPU – Industrieverband
Polyurethan-Hartschaum e.V.
www.daemmt-besser.de

Autoren:
Dr. Edmund Endres
Dipl.-Ing. Joachim Kleser

© 2008 by IVPU
2. Auflage, Februar 2008

4.6 Verhalten gegen Wasser und Feuchte 19
4.6.1 Wasseraufnahme bei Unterwasserlagerung über 28 Tage 20
4.6.2 Feuchteverhalten bei Diffusion und Kondensation sowie bei Frost-Tau-Wechsel 20
4.6.3 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl 20
4.6.4 Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke 20

4.7 Thermisches Ausdehnungsverhalten 21

4.8 Spezifische Wärmekapazität und Wärmespeichervermögen 22
4.8.1 Spezifische Wärmekapazität 22
4.8.2 Wärmespeichervermögen 22
4.8.3 Einfluss der Speichermasse auf den sommerlichen Wärmeschutz 22
4.8.4 Bedeutung des Sonnenschutzes 23

4.9 Temperaturbeständigkeit 24

4.10 Chemische und biologische Beständigkeit 24

4.11 Brandverhalten von Polyurethan-Hartschaum 25
4.11.1 Brandverhalten von Dämmstoffen 25
4.11.2 Brandverhalten von Dämmstoffen nach europäischer Normung 25
4.11.3 Brandverhalten von Bauteilen mit Polyurethan-Hartschaum-Dämmung 27
4.11.4 Brandverhalten von Polyurethan-Hartschaum-Dämmung im Steildach 27
4.11.5 Brandverhalten von PIR-Hartschaum-Dämmung in Stahlleichtdächern 30

4.12 Schalldämmung 31

4.13 Abschirmung gegen Elektrosmog 32

5 Nachhaltiges Bauen mit Polyurethan-Hartschaum 33

5.1 Nachhaltiges Bauen 33

5.2 Energieverbrauch und Emissionsbegrenzung 33

5.3 Lebenszyklus-Analyse von Polyurethan-Hartschaum und Energiebilanz 33

5.4 Stoffliche und energetische Verwertung von Polyurethan-Hartschaum 34

6 Qualitätssicherung und Produktzertifizierung 35

6.1 PUR/PIR-Qualitätssicherung: Freiwillige Produktzertifizierung mit regelmäßiger Fremdüberwachung 35

6.2 Kennzeichnung von PUR/PIR-Hartschaum Wärmedämmstoffen 35
6.2.1 CE-Kennzeichnung 35
6.2.2 Ü-Zeichen und ÜGPU-Qualitätszeichen 36

7 Anhang 37

7.1 Planungshilfen und Technische Informationen 37
7.2 Normen, Verordnungen und Richtlinien 37
7.3 Verzeichnis der Bilder 39
7.4 Verzeichnis der Tabellen 40
7.5 Literatur 41

8 Übersicht der technischen und physikalischen Eigenschaften von Polyurethan-Hartschaum 42

Polyurethan – ein Stück mehr Lebensqualität

Bild 1
Polyurethan – ein Werkstoff mit vielen Gesichtern

Ob Schuhsohlen, Matratzen, Lenkrad, Medizintechnik oder Dämmung – Polyurethan ist aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Egal ob bei Sport und in der Freizeit, im Haushalt wie auch im Auto, Polyurethane machen das Leben komfortabler, sicherer und schöner. Sie sind universell und unverzichtbar. Je nach Rezeptur und Mischungsverhältnis der Grundprodukte, kann das Eigenschaftsspektrum der entstehenden Polyurethane exakt eingestellt werden – hart, weich, integral oder kompakt. Das Ergebnis sind maßgeschneiderte und wirtschaftliche Lösungen für (fast) jeden Anwendungsbereich.

Dämmstoff nach Maß

Insbesondere bei der Dämmung von Gebäuden bieten Polyurethane alle Vorteile energieeffizienten Bauens: Der »Dämmstoff nach Maß« hat eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit. Das Dämmvermögen ist schon bei geringen Materialdicken sehr hoch. Gute mechanische Eigenschaften und hervorragende Verbundwirkung mit anderen Werkstoffen ermöglichen ein breites Anwendungsfeld.

Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum sind wegen ihres optimalen Dämmvermögens vielseitig einsetzbar. Die Produktpalette reicht von Dämmplatten für die Anwendungsgebiete Dach, Wand, Boden, Decke und Montageschaum bis hin zu Metall- Sandwichelementen für den Industriebau.

Auch für die energetische Sanierung ist PUR/PIR-Hartschaum optimal geeignet. Durch die nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle mit Polyurethan können mehr als die Hälfte des durchschnittlichen Verbrauchs an Heizenergie eingespart werden.

Effiziente Wärmedämmung – ein Leben lang

Die hervorragenden Wärmedämmeigenschaften des geschlossenzelligen Polyurethan-Hartschaums werden heute hauptsächlich durch Treibmittel wie Kohlenwasserstoff (Pentan) oder durch CO_2 erzielt. Polyurethan-Hartschaum ist die Bezeichnung für eine Dämmstoff-Familie, die neben PUR- auch PIR-Hartschaum mit einschließt.

Neben der sehr geringen Wärmeleitfähigkeit zählen auch die ausgezeichnete Beständigkeit und Langlebigkeit zu den wichtigsten Argumenten, sich für Polyurethan-Hartschaum-Wärmedämmstoffe zu entscheiden. Sie erfüllen ihre Funktion, solange das Gebäude steht. Die Gebrauchsphase von PUR/PIR-Hartschaum beträgt 50 Jahre und mehr.

Durch eine Wärmedämmung mit PUR/PIR-Hartschaum werden Ressourcen geschont und Energie eingespart. Umweltschädliche Emissionen werden deutlich reduziert.

Zukunftsorientierte Wärmedämmung mit Polyurethan-Hartschaum ist die richtige Investition:

- Optimale und langlebige Dämmung ohne Schwachstellen, Wartung und Reparaturen
- Steigerung von Gebäudewert und Wohnkomfort
- Hohe Energieeinsparung und spürbar weniger Heizkosten
- Wirtschaftliche und rationelle Verlegung der PUR/PIR-Dämmplatten

1 Was ist Polyurethan-Hartschaum

Polyurethan-Hartschaum ist ein geschlossenzelliger Schaumstoff, der im Bauwesen und in der Haus- und Betriebstechnik als werkmäßig hergestellter Wärmedämmstoff in Form von Dämmplatten, Blockware oder in Kombination mit unterschiedlichen harten Deckschichten als Konstruktionswerkstoff oder Sandwichelement eingesetzt wird. Polyurethan-Ortschäume werden direkt auf der Baustelle hergestellt.
Polyurethan-Hartschaum ist die Bezeichnung für eine Dämmstoff-Familie, die neben PUR- auch PIR-Hartschaum mit einschließt.

Dämmplatten und Blockware aus Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165 zeichnen sich im Bauwesen insbesondere durch das hervorragende Wärmedämmvermögen und die guten mechanischen Eigenschaften bei niedriger Rohdichte aus.

PUR/PIR-Hartschaum bietet schon bei Konstruktionsaufbauten mit geringer Dicke neben einem optimalen Wärmeschutz auch einen außergewöhnlichen Raum-Nutzen-Vorteil. Für Architekten und Planer schafft PUR/PIR-Hartschaum genügend Spielraum für kreative Dämmlösungen - vom Keller über Decken und Wände bis hin zum Dach – in der Leichtbau-, Niedrigenergie- und Passivhaus-Bauweise.
Aus Polyurethan-Blockware können Formteile für die Dämmung von haus- und betriebstechnischen Anlagen zugeschnitten werden.
Wegen ihrer hohen mechanischen Festigkeit sind Dämmplatten aus PUR/PIR-Hartschaum druckfest, hoch belastbar, mit anderen Materialien bestens zu kombinieren und auf der Baustelle vom Fachmann einfach und problemlos zu verarbeiten.

Bild 2 Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffe (PUR/PIR)

Sandwichelemente haben einen Kern aus Polyurethan-Hartschaum und sind ober- und unterseitig mit profilierten, vorwiegend metallischen Deckschichten kaschiert. Polyurethan-Sandwichelemente sind besonders im Dach- und Wandbereich für die verschiedenen Tragkonstruktionen von Hallen- und Industriebauten sowie für den Kühlhaus- und Kühlzellenbau geeignet. Sie lassen sich dank ihres geringen Gewichtes problemlos verarbeiten und sind witterungsunabhängig montierbar.
Die bauphysikalischen und konstruktiven Eigenschaften von Polyurethan-Sandwichelementen bieten auf Grund des hohen industriellen Vorfertigungsgrades ein hohes Maß an Sicherheit sowohl bei der Verarbeitung als auch im fertiggestellten Bauwerk.

Neben werkmäßig hergestellten PUR/PIR-Hartschäumen werden im Bauwesen auch PUR-Ortschäume nach DIN 18159-1 eingesetzt. In modernen Anlagen »vor Ort« auf der Baustelle hergestellt, haben PUR-Ortschäume ihr Hauptanwendungsgebiet in technischen Dämmungen. Dazu wird der PUR-Ortschaum auf den zu dämmenden Untergrund gespritzt bzw. in Formstücke gegossen. Es entsteht dabei eine fugenlose Struktur.

Tabelle 1 Anwendungen und Herstellungsmöglichkeiten von Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffen

Anwendungen	Dämmplatten werkmäßig hergestellt		Blockschaum werkmäßig hergestellt	An Verwendungsstelle hergestellter Ortschaum (in situ) Spritzen/Gießen
	Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten	Dämmplatten mit starren Deckschichten / Stahlsandwichelemente	Dämmplatten, Formteile, Verbundelemente	Ortschaum
Gebäudehülle	DIN EN 13165	DIN EN 14509	DIN EN 13165	prEN 14315-1 prEN 14318-1
Technische Dämmung	prEN 14308	–	prEN 14308	prEN 14319-1 prEN 14320-1

2 Herstellung von Polyurethan-Hartschaum-Wärmedämmstoffen

Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR) entstehen durch chemische Reaktion flüssiger Grundstoffe unter Zusatz von niedrigsiedenden Treibmitteln wie reinen und teilfluorierten Kohlenwasserstoffen oder CO_2.

Die Ausgangsstoffe reagieren direkt nach dem Mischen unter Bildung einer neuen chemischen Verbindung, dem Polyurethan. Durch die hierbei freiwerdende Reaktionswärme verdampft das den Hauptkomponenten zugefügte Treibmittel. Das Gemisch schäumt auf und es bildet sich Polyurethan-Hartschaum. Das Aufschäumvolumen und damit die gewünschte Rohdichte wird durch die zugesetzte Treibmittelmenge gesteuert. Die Schaumstoff-Rezepturen lassen sich durch Zusatz von verschiedenen Additiven im Hinblick auf die geforderten Eigenschaften modifizieren. [1]

Die Oberfläche des Reaktionsgemisches bleibt nach dem Aufschäumvorgang eine gewisse Zeit klebfähig, so dass sie in dieser Phase mit Deckschichten eine feste und dauerhafte Verbindung eingehen kann. Bei der industriellen Produktion wird die Schäumreaktion durch Katalysatoren beschleunigt.

Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffe werden werksmäßig hergestellt als:
- Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten
- Blockschaum, der zu Dämmplatten oder Formteilen aufgeschnitten wird
- Sandwichelemente mit starren Deckschichten.

2.1 Herstellung von PUR/PIR-Hartschaum- Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten

PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten werden in einem kontinuierlichen Verfahren auf einer Doppelbandanlage hergestellt. Bei diesem Fertigungsprozess strömt das Reaktionsgemisch aus einem Mischkopf auf eine in ein Doppelband einlaufende untere Deckschicht aus einem flexiblen Material, schäumt auf und verklebt innerhalb der Druckzone der Anlage mit einer von oben zugeführten Deckschicht aus dem jeweils gleichen Material. Die Bandschaumplatten werden kontinuierlich gefertigt; sie sind nach dem Durchlauf durch die Doppelbandanlage soweit ausgehärtet, dass sie in die gewünschten Abmessungen zugeschnitten werden können. Die Platten sind in Dicken bis zu 200 mm herstellbar.

Als flexible Deckschichten werden vorwiegend eingesetzt:
- Mineralvlies
- Glasvlies
- Aluminiumfolien
- Verbundfolien

Bild 3 Vier Phasen der Aufschäumung von Polyurethan-Hartschaum in einem Meßbecher

Bild 4 Kontinuierliche Herstellung von Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum mit flexiblen Deckschichten

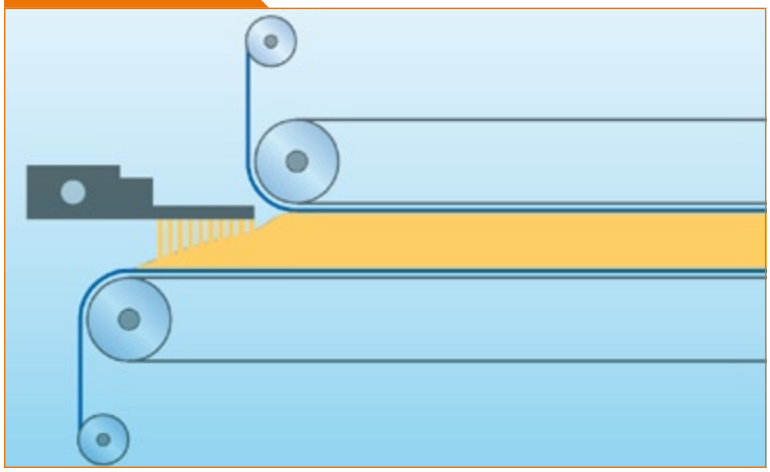
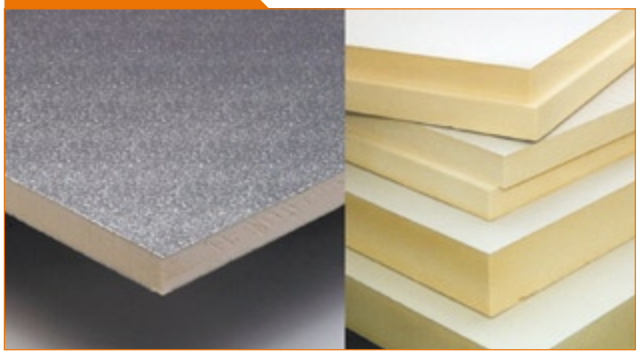


Bild 5 Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum



a) mit Aluminiumfolien-Deckschicht, b) mit anderen Deckschichten

Bild 6 Kontinuierliche Herstellung von Blockschaum

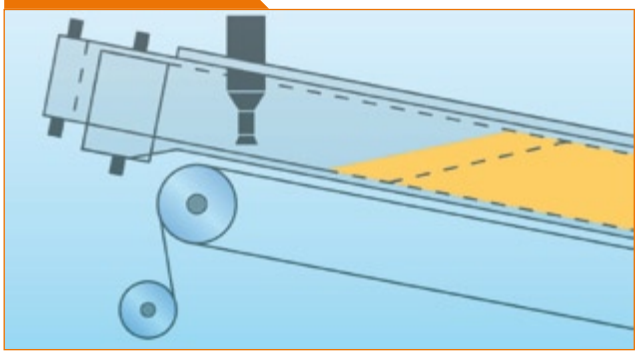


Bild 7 Diskontinuierliche Herstellung von Blockschaum

Die Art der verwendeten Deckschicht richtet sich nach dem jeweiligen Einsatzzweck der Dämmplatten, wobei die Deckschichten u.a. als Dampfsperre, Dampfbremse, Sichtfläche und als Schutz vor mechanischen Beschädigungen dienen. Die Dämmplatten werden mit verschiedenen Randausbildungen, z.B. mit Nut und Feder, Stufenfalz oder glatter Kante angeboten.

PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten werden auch im Verbund mit starren Deckschichten zur Wärmedämmung eingesetzt. Hierzu werden die Dämmplatten mit Holzwerkstoffplatten oder mit mineralischen Wandbaustoffen, wie z.B. Gipskartonplatten, verklebt.

2.2 Herstellung von PUR/PIR-Hartschaum-Blöcken

Die Herstellung der PUR/PIR-Hartschaum-Blöcke erfolgt entweder kontinuierlich oder diskontinuierlich.

2.2.1 Kontinuierliche Herstellung von Blockschaum

Zur kontinuierlichen Herstellung von Blockschaum wird das Reaktionsgemisch auf eine U-förmig gefaltete, seitlich abgestützte Papierbahn aufgebracht, die durch ein Transportband weiterbewegt wird. Am Ende des Transportbandes kann der aufgeschäumte Block in der jeweils gewünschten Länge abgeschnitten werden.

2.2.2 Diskontinuierliche Herstellung von Blockschaum

Die Ausgangskomponenten werden mit einem Rührwerk gemischt und anschliessend in eine Kistenform eingefüllt. Das Reaktionsgemisch schäumt in der Form zu einem Hartschaumblock auf.
Die diskontinuierlich oder kontinuierlich hergestellten Blöcke werden nach dem Ablagern zu Plattenware (z.B. Flachdach-Dämmplatten oder -Gefälledämmplatten) bzw. Formteilen (z.B. Attika-Keilen oder Rohr-Dämmschalen) zugeschnitten.

Bild 8 Blockschaum Dämmplatten, Attika-Keile und Rohrdämmschalen aus Polyurethan

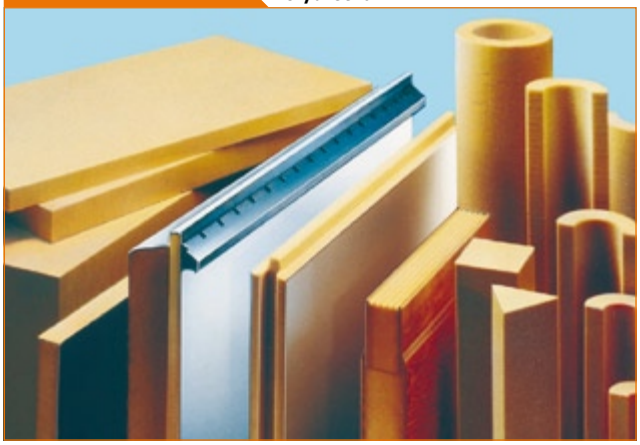
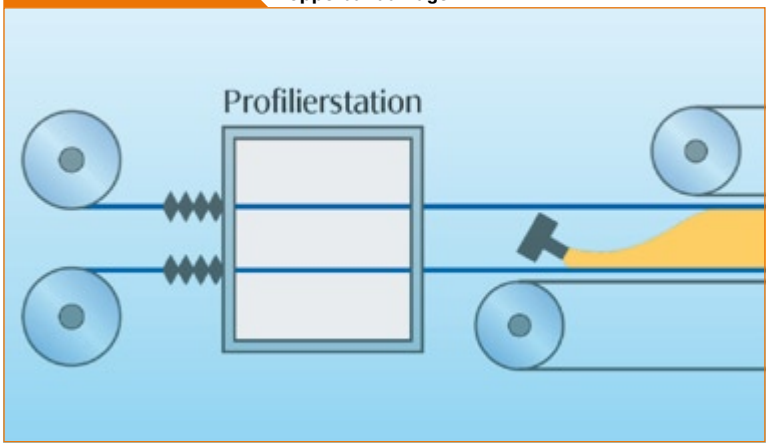


Bild 9 Kontinuierliche Herstellung von Sandwichelementen mit profilierten metallischen Deckschichten auf der Doppelbandanlage



Aus geschnittenen Platten können durch Verkleben mit geeigneten Deckschichten Verbund- oder Sandwich-Elemente unterschiedlichster Art und für verschiedene Einsatzmöglichkeiten hergestellt werden.

2.3 Herstellung von Polyurethan-Sandwichelementen mit starren Deckschichten

Polyurethan-Sandwichelemente können kontinuierlich oder diskontinuierlich hergestellt werden.

2.3.1 Kontinuierliche Herstellung von Sandwichelementen

Die kontinuierliche Herstellung von Polyurethan-Sandwichelementen erfolgt auf Doppelbandanlagen. Dabei wird das Reaktionsgemisch auf ein in das Doppelband einlaufendes Stahl- oder Aluminiumblech aufgetragen. Zur Erhöhung der Steifigkeit werden die metallischen Deckschichten meistens vor der Beschäumung profiliert. Die aufschäumende Masse verklebt innerhalb der Bandanlage mit einem von oben zugeführten Stahl- oder Aluminiumblech. Nach dem Durchlauf durch die Bandanlage werden die Sandwichelemente in die gewünschten Lieferlängen zugeschnitten. Die Längskanten der Sandwichelemente sind in der Regel als Nut und Feder ausgebildet, um eine einfache und schnelle Montage zu ermöglichen. Häufig sind diese Elemente bereits werksseitig mit Dichtungen versehen, um ein hohes Maß an Luftdichtheit zu erreichen.
Polyurethan-Sandwichelemente werden als selbsttragende Fertigbauteile mit Deckschichten aus Stahl- oder Aluminiumblechen oder anderen starren Deckschichten in Baubreiten von 800 mm bis 1250 mm und in Lieferlängen bis zu 24 m hergestellt. Derartige Bauteile verbinden hohe Festigkeit mit relativ niedrigem Gesamtgewicht. Sie lassen sich leicht transportieren und schnell und effizient montieren.

Bild 10 Polyurethan-Sandwichelemente

2.3.2 Diskontinuierliche Herstellung von Sandwichelementen

Zur diskontinuierlichen Herstellung von Sandwichelementen werden die Deckschichten in einer Stützform auf einem Rahmen fixiert und der entstehende Hohlraum mit dem Polyurethan-Reaktionsgemisch ausgefüllt. In geeigneten Stützformen lassen sich nach diesem Verfahren auch mehrere Sandwich-Elemente gleichzeitig herstellen.

3 Anwendungen von Polyurethan-Hartschaum

3.1 Anwendungstypen für Dämmstoffe

Dämmstoffe im Bauwesen müssen entweder einer harmonisierten europäischen Norm (hEN) entsprechen oder bauaufsichtlich zugelassen sein. Sonst ist eine »Zustimmung im Einzelfall« durch die oberste Baubehörde notwendig.

Mit Einführung der europäischen Prduktnormen wurden die früher geltenden Anwedungstypen W, WD, WD + WS durch neue, anwendungsbezogene Bezeichnungen ersetzt.

Je nach Anwendung im Gebäude werden die Dämmstoffe entsprechend ihren technischen und bauphysikalischen Eigenschaften so genannten Anwendungstypen nach DIN V 4108-10 zugeordnet.

Diese Anwendungstypen sind durch Kurzzeichen gekennzeichnet.

Die Eingruppierung in Anwendungstypen erleichtert Architekten, Planern und Verarbeitern die Auswahl des Dämm-Materials für ein bestimmtes Anwendungsgebiet.

Je nach Nutzungsart des Gebäudes und Einbausituation des Dämmstoffes werden zusätzliche Anforderungen an bestimmte Dämmstoffeigenschaften gestellt. Die besonderen Anforderungen z.B. an die Druckbelastbarkeit von Dämmstoffen werden durch die Untergruppen »dh« (hohe Druckbelastbarkeit) und »ds« (sehr hohe Druckbelastbarkeit) differenziert.

Tabelle 2 **Anwendungsgebiete von Wärmedämmungen nach DIN V 4108-10**

Anwendungsgebiet	Kurzzeichen		Anwendungsbeispiele
Decke, Dach		**DAD**	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Deckungen
		DAA (dh) und (ds)	Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtungen
		DZ	Zwischensparrendämmung, zweischaliges Dach, nicht begehbare aber zugängliche oberste Geschossdecken
		DI	Innendämmung der Decke (unterseitig) oder des Daches, Dämmung unter den Sparren/Tragkonstruktion, abgehängte Decke usw.
		DEO (dh) und (ds)	Innendämmung der Decke oder Bodenplatte (oberseitig) unter Estrich ohne Schallschutzanforderungen
Wand		**WAB**	Außendämmung der Wand hinter Bekleidung
		WAA	Außendämmung der Wand hinter Abdichtung
		WAP	Außendämmung der Wand unter Putz
		WZ	Dämmung von zweischaligen Wänden, Kerndämmung
		WH	Dämmung von Holzrahmen- und Holztafelbauweise
		WI	Innendämmung der Wand
Perimeter		**PW**	Außenliegende Wärmedämmung von Wänden gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)*)
		PB	Außenliegende Wärmedämmung unter der Bodenplatte gegen Erdreich (außerhalb der Abdichtung)*)

**) geregelt über allgemeine bauaufsichtliche Zulassung*

3.2 Anwendungsbezogene Mindestanforderungen an PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffe

Für die Anwendung von werkmäßig hergestellten Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffen gilt die europäische Produktnorm DIN EN 13165 in Verbindung mit der deutschen Anwendungsnorm DIN V 4108-10.
In der europäischen Produktnorm für Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffe sind im Abschnitt 4.2 Anforderungen in Form von Stufen, Klassen oder Grenzwerten angegeben.

Desweiteren werden im Abschnitt 4.3 Anforderungen für bestimmte Anwendungszwecke gestellt. In der Anwendungsnorm DIN V 4108-10 werden den jeweiligen Anwendungsgebieten lediglich die entsprechenden stoffspezifischen Mindestanforderungen zugeordnet.
Die im IVPU zusammengeschlossenen Hersteller von PUR/PIR-Hartschaum Dämmplatten bieten Produkte an, die – je nach Anwendungsgebiet – weit höhere Anforderungen erfüllen.

Tabelle 3 **Mindestanforderungen an PUR/PIR-Hartschaum nach DIN EN 13165 und DIN V 4108-10 für die Anwendungsgebiete Dach, Fußboden und Decke (Auszug)**

Anwendungsgebiet nach DIN V 4108-10 mit Kurzzeichen	Grenzabmaß für Länge und Breite				Grenzabmaße für die Dicke			Dimensionsstabilität unter definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen				Druckspannung oder Druckfestigkeit
					Klasse T2			Stufe DS (TH) 2				Stufe CS (10\Y)i
	Maße mm				Nenndicke mm			Prüfung in der Wärme[1]		in der Kälte[2]		
	<1000	1000 bis 2000	2001	>4000 bis 4000	< 50	50 – 75	> 75	Maßänderung in Länge (l), Breite (b) und Dicke (d)				
	Grenzabmaße				Grenzabmaße			l und b	d	l und b	d	
	mm				mm			%				kPa
Flachdach												
DAA (dh)[3]	±5	±7,5	–	–	±2	±3	+5 –2	≤5	≤10	≤1	≤2	≥100
DAA (ds)[3]												≥150
Steildach												
DAD	±5	±7,5	±10	±15	±2	±3	+5 –2	≤5	≤10	≤1	≤2	≥100
DZ												k. A.[4]
DI												≥100
Fußboden und Decke												
DEO (dh)	±5	±7,5	–	–	±2	±3	+5 –2	≤5	≤10	≤1	≤2	≥100
DEO (ds)												≥150
DI												≥100
DZ												k. A.[4]
PB	Keine genormte Anwendung											

[1] *Prüfbedingungen: (48±1)h bei (70±2)°C und einer elativen Luftfeuchte von (90±5)%*
[2] *Prüfbewdingungen: (48±1)h bei (-20±3)°C*
[3] *Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene ≥ 40 kPa*
[4] *k. A. = keine Anforderung*

3.3 Qualitätstypen von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen

Die Einführung von PUR/PIR-Qualitätstypen erleichtert Planern, Architekten und Handwerkern den Umgang mit den neuen Bezeichnungen. Der für das Anwendungsgebiet relevante PUR/PIR-Qualitätstyp ist auf dem Verpackungsetikett angegeben.

Aus der Kurzbezeichnung für den PUR/PIR Qualitätstyp gehen die wichtigsten Produkteigenschaften hervor. Die Typenbezeichnung »PUR/PIR 024 DAA (ds)« bedeutet:

PUR/PIR Es handelt sich um einen Wärmedämmstoff aus PUR/PIR-Hartschaum.
024 Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit beträgt $\lambda = 0{,}024$ W/(m·K).
DAA Anwendungsgebiet Flachdach-Außendämmung unter Abdichtung.
(ds) Der Dämmstoff erfüllt die Anforderungen an sehr hohe Druckbelastbarkeit.

Tabelle 4 Bedeutung der Kurzzeichen nach DIN V 4108-10 (Auszug) für das Anwendungsgebiet Flachdach

Anwendungsgebiet	Kurzzeichen	Anwendungsbeispiele	Kurzbezeichnung der PUR/PIR-Qualitätstypen für das Flachdach
Flachdach Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtungen	**DAA (dh)**	hohe Druckbelastbarkeit (z.B. genutzte Dachflächen, Terrassendach)	PUR/PIR 024 DAA dh PUR/PIR 028 DAA dh PUR/PIR 030 DAA dh
	DAA (ds)	sehr hohe Druckbelastbarkeit (z.B. Parkdeck)	PUR/PIR 024 DAA ds PUR/PIR 028 DAA ds PUR/PIR 030 DAA ds

Tabelle 5 Wärmeleitfähigkeitsstufen von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten

PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten			
Dicken	**mit diffussionsdichten Deckschichten**	**mit diffussionsoffenen Deckschichten**	**ohne Deckschichten**
mm	WLS	WLS	WLS
< 80	024	030	028/030
≥ 80	024	028	028/030

3.4 Anwendungsgebiete von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen

Das hervorragende Dämmvermögen und die herausragenden physikalischen und technischen Eigenschaften machen PUR/PIR-Hartschaum zu einem modernen Hochleistungsdämmstoff auf allen Gebieten des Wärmeschutzes.

Wärmedämmstoffe aus PUR/PIR-Hartschaum gewährleisten in allen Anwendungen eine optimale Energieeinsparung, bauphysikalische Sicherheit und hohe Wirtschaftlichkeit. Sie erfüllen die besonderen Anforderungen, die heute an Dämmkonstruktionen gestellt werden.

Diffusionsdichte Alu-Deckschichten werden in der Wärmeleitfähigkeitsstufe (WLS) 024 angeboten. Mit diffusionsoffenen Deckschichten sind Dämmstoffe ab 80 mm in der Wärmeleitfähigkeitsstufe (WLS) 028, unter 80 mm in der WLS 030 erhältlich. Aus PUR-Blockschaum zugeschnittene Dämmplatten und Formteile fallen in die Wärmeleitfähigkeitsstufen 028 und 030.

Dämmstoffe aus PUR/PIR-Hartschaum können im Bauwesen fast überall eingesetzt werden. Für Dach, Wand, Boden und Decke wurde eine ausgereifte Produktpalette von Dämmplatten und Dämmsystemen entwickelt, die sich in folgenden Anwendungsgebieten bestens bewährt haben.

Anwendungen von Polyurethan-Hartschaum

Steildach	
Anwendungsgebiete	**PUR/PIR-Qualitätstypen**
Dämmung	
auf den Sparren	PUR/PIR 024/028 DAD
zwischen den Sparren	PUR/PIR 024/028/030 DZ
unter den Sparren	PUR/PIR 024/028/030 DI

Bild 11 Steildach

Flachdach	
Anwendungsgebiete	**PUR/PIR-Qualitätstypen**
Dämmung unter der Abdichtung mit hoher Druckbelastbarkeit z.B. von - genutzten Dachflächen - Terrassendächern	PUR/PIR 024/028/030 DAA (dh)
Dämmung unter der Abdichtung mit sehr hoher Druckbelastbarkeit z.B. von - Parkdecks	PUR/PIR 024/028/030 DAA (ds)

Bild 12 Flachdach

Systembau mit industriell vorgefertigten Elementen	
Anwendungsgebiete	**PUR/PIR-Qualitätstypen**
Dämmung von leichten Dach- und Wandkonstruktionen mit vorgefertigten Elementen	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Sandwichelemente

Bild 13 Industriebau

Landwirtschaftliche Gebäude/Sporthallen	
Anwendungsgebiete	**PUR/PIR-Qualitätstyp**
Dämmung von Dach- und Wandkonstruktionen mit	
- Dämmplatten mit Deckschichten aus flexiblen Alu- oder Verbund-Folien	PUR/PIR 024/025/028/030 DI
- Dämmelementen mit starren Deckschichten	PUR/PIR 024/025/028/030 DI
- Elementbau	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Sandwichelemente

Bild 14 Landwirtschaftliche Gebäude

Bild 15 Fußboden und Decke

Fußboden und Decke	
Anwendungsgebiete	**PUR/PIR-Qualitätstypen**
Dämmung	
- der obersten begehbaren Geschossdecke	PUR/PIR 024/025/028/030 DEO (dh)
- der obersten nicht begehbaren Geschossdecke	PUR/PIR 024/025/028/030 DZ
- des Fußbodens unter Estrich	PUR/PIR 024/025/028/030 DEO (dh)
Unterseitige Dämmung - der Kellerdecke - der obersten Geschossdecke	PUR/PIR 024/025/028/030 DI PUR/PIR 024/025/028/030 DI
Dämmung - von Industriefußböden	PUR/PIR 024/025/028/030 DEO (ds)

Bild 16 Wand

Wand	
Anwendungsgebiete	**PUR/PIR-Qualitätstypen**
Außenseitige Dämmung der Außenwände:	
- hinter Bekleidung	PUR/PIR 024/028/030 WAB
- hinter Abdichtung	PUR/PIR 024/028/030 WAA
- unter Putz, z.B. als Wärmedämm-Verbund-System (WDVS)	PUR/PIR 028/030 WAP
Dämmung von zweischaligen Außenwänden - mit Luftschicht - ohne Luftschicht	 PUR/PIR 024/028/030 WZ PUR/PIR 024/028/030 WZ
Innenseitige Dämmung der Außenwände	PUR/PIR 024/028/030 WI

Bild 17 Perimeter

Perimeterdämmung	
Anwendungsgebiet	**PUR/PIR-Qualitätstypen**
Dämmung unter der Bodenplatte gegen Erdreich	PUR/PIR 030 PB
Außenliegende Wärmedämmung von Wänden gegen Erdreich	PUR/PIR 030 PW

4 Technische und physikalische Eigenschaften von Polyurethan-Hartschaum

Die Eigenschaften von Dämmstoffen sind abhängig von ihrer Struktur, den eingesetzten Rohstoffen und dem Herstellungsverfahren. Für die Auswahl eines geeigneten Wärmedämmstoffes spielen vor allem wärmetechnische Anforderungen eine Rolle. Im Hinblick auf Funktionsfähigkeit und Sicherheit eines Gebäudes sind die mechanische Festigkeit und die Alterungsbeständigkeit sowie das schall-, feuchte- und brandschutztechnische Verhalten weitere wichtige Kriterien bei der Dämmstoffauswahl.

Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffe zeichnen sich durch ihr hervorragendes Dämmvermögen aus. Sie haben eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit. Durch den Einsatz von PUR/PIR-Hartschaum können optimale Energieeinsparungen erreicht werden. Die hohen mechanischen Festigkeitswerte und eine ausgezeichnete Dauerbeständigkeit von PUR/PIR-Hartschaum erfüllen alle Anforderungen, die bei der Anwendung von Dämmstoffen im Bauwesen gestellt werden.

4.1 Wärmeleitfähigkeit

Die wichtigste Eigenschaft eines Dämmstoffes ist sein Dämmvermögen. Maßstab für die Dämmleistung eines Dämmstoffes ist die Wärmeleitfähigkeit bzw. der Wärmedurchlasswiderstand: je niedriger die Wärmeleitfähigkeit, je höher der Wärmedurchlasswiderstand, desto besser das Dämmvermögen.

4.1.1 Wärmeleitfähigkeit und Wärmedurchlasswiderstand von Dämmstoffen

Die Wärmeleitfähigkeit λ ist eine spezifische Stoffeigenschaft. Sie gibt an, welcher Wärmestrom in Watt (W) durch eine 1 m^2 große und 1 m dicke ebene Schicht eines Stoffes hindurchgeht, wenn die Temperaturdifferenz der Schichtoberflächen in Richtung des Wärmestromes 1 Kelvin (K) beträgt. Die Einheit der Wärmeleitfähigkeit λ ist W/(m·K).

Der Wärmedurchlasswiderstand R beschreibt die Wärmedämmwirkung einer Bauteilschicht. Der R-Wert ist der Quotient aus Dicke d und dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit eines Bauteiles. R = d/λ (nach DIN EN ISO 6946).

Die Einheit des Wärmedurchlasswiderstandes R ist (m^2·K)/W. Bei mehrschichtigen Bauteilen addieren sich die Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten.

Der Wärmedurchgangskoeffizient U gibt den Wärmestrom in W an, der durch einen Quadratmeter eines Bauteiles übertragen wird, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Oberflächen in Richtung des Wärmestromes 1 Kelvin beträgt. Die Einheit des Wärmedurchgangskoeffizienten U ist W/(m^2·K)

Wärmeleitfähigkeit und Wärmedurchlasswiderstand müssen auf Messwerten beruhen, die nach EN 12667 oder für dicke Produkte nach EN 12939 ermittelt wurden. Für PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffe sind Wärmeleitfähigkeit und Wärmedurchlasswiderstand nach Anhang A und Anhang C der DIN EN 13165 zu bestimmen.

4.1.2 Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum

Die Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum ist z.B. abhängig

- vom verwendeten Zellgas,
- von der Rohdichte,
- von der Temperatur,
- vom Verhalten gegen Wasser und Feuchte,
- vom jeweiligen Messzeitpunkt.

4.1.2.1 Einfluss des Zellgases

Das besonders gute Dämmvermögen von PUR/PIR-Hartschaum wird durch den Einsatz von speziellen Treibmitteln erreicht. Die Wärmeleitfähigkeit der Treibmittel bei einer Referenztemperatur von 10° C ist erheblich niedriger als die der Luft [(λ_{Luft} = 0,024 W/(m·K)]. Als Treibmittel wird hauptsächlich der Kohlenwasserstoff n-/iso-Pentan mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,013 W/(m·K) eingesetzt. [2]

Noch günstiger ist das Dämmvermögen bei Verwendung von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen. [16]

Infolge der hohen Geschlossenzelligkeit von PUR-Hartschaum (Anteil der geschlossenen Zellen: > 90 %) verbleiben die Treibmittel langzeitig im Dämmstoff. Gasdiffusionsdichte Deckschichten reduzieren den Zellgasaustausch mit der Luft.

Die vom Hersteller angegebenen Wärmeleitfähigkeitsstufen (WLS) sind Langzeitwerte. Dabei geht man von einer Lebensdauer der Dämmstoffe von 50 Jahren aus. In der Wärmeleitfähigkeitsstufe sind mögliche Alterungseinflüsse berücksichtigt. Anhang C der Produktnorm DIN EN 13165 beschreibt die entsprechenden Verfahren zur Ermittlung des Alterungsverhaltens von PUR/PIR-Hartschaum.

Die Anfangswerte der Wärmeleitfähigkeit werden im Rahmen einer Fremdüberwachung nach EN 13165 ein bis acht Tage nach Produktion der Dämmplatten von einem bauaufsichtlich anerkannten Prüfinstitut bestimmt.

4.1.2.2 Einfluss der Rohdichte

Mit zunehmender Rohdichte steigt die Menge an Gerüstsubstanz an. Dadurch erhöht sich der Anteil der Wärmeleitung über die Zellwände. Der Anstieg der Wärmeleitfähigkeit verläuft jedoch nicht proportional mit der Zunahme der Rohdichte; die Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum ist im baurelevanten Rohdichtebereich von 30 bis 100 kg/m³ nahezu konstant.

4.1.2.3 Einfluss der Temperatur

Die Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen fällt mit sinkender Temperatur. Eine Temperaturerhöhung bewirkt dagegen eine minimale Zunahme der Wärmeleitfähigkeit.

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit erfolgt unter normierten Bedingungen. Deshalb werden die Messwerte auf eine mittlere Temperatur von 10°C umgerechnet. Die geringfügigen Abweichungen der Wärmeleitfähigkeit in der baupraktischen Anwendung gegenüber der Bezugstemperatur von 10°C werden im Bemessungswert berücksichtigt.

4.1.2.4 Einfluss der Wasseraufnahme nach 28-tägiger Unterwasserlagerung

Die Wärmeleitfähigkeit von Wasser beträgt bei einer Referenztemperatur von 25 °C λ = 0,58 W/(m·K). Da die Wärmeleitfähigkeit der gebräuchlichen Dämmstoffe zwischen 0,024 W/(m·K) und 0,050 W/(m·K) liegt, führt eine durch Unterwasserlagerung bedingte Wasseraufnahme zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit. Die Auswirkung der Wasseraufnahme auf die Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum ist allerdings gering. Entsprechende Untersuchungen des FIW München, haben ergeben, dass die Wärmeleitfähigkeit von mit Pentan getriebenem PUR/PIR-Hartschaum nach 28-tägiger Unterwasserlagerung vernachlässigbar gering gestiegen ist; Anstieg um 0,0018 W/(m·K) [3].

4.1.3 Nennwert und Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

Der Dämmstoffhersteller gibt die Wärmeleitfähigkeit seiner Produkte als Nenn- oder als Bemessungswert an.

Der **Nennwert** der Wärmeleitfähigkeit λ_D ergibt sich aus Messwerten, die unter in DIN EN 13165 festgelegten Bedingungen und Regeln ermittelt wurden. Der Nennwert wird aus dem Anfangsmesswert unter Berücksichtigung der statistischen Streuung seiner Messwerte und des Alterungszuschlages ermittelt und in Schritten von 0,001 W/(m·K) angegeben.

Der **Bemessungswert** der Wärmeleitfähigkeit beinhaltet Sicherheitszuschläge. Er beschreibt die wärmetechnische Eigenschaft eines Baustoffes oder Bauproduktes in Gebäuden über die gesamte Nutzungsphase.

Tabelle 6 **Wärmeleitfähigkeitsstufen und Bemessungswerte von PUR/PIR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen**

PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten						
Dicken	**mit diffusionsdichten Deckschichten**		**mit diffusionsoffenen Deckschichten**		**ohne Deckschichten**	
	WLS	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	WLS	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	WLS	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)
< 80	024	0,024	030	0,030	028/ 030	0,028/0,030
≥ 80	024	0,024	028	0,028		

[1] *Produkte gelten nach DIN EN 13165-C.5 als diffusionsdicht kaschiert, wenn diese Kaschierung aus einer metallischen Schicht mit einer Dicke von mindestens 50 µm besteht oder wenn ein vergleichbares Verhalten der Kaschierung nachgewiesen ist.*

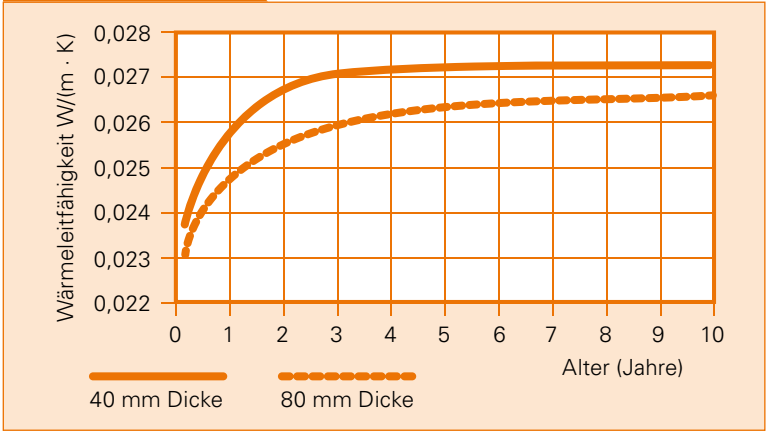
Für den Wärmeschutznachweis gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) dürfen nur die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ verwendet werden. Diese können ausgehend vom Nennwert gemäß DIN V 4108-4 bestimmt oder aus dem Zertifikat der Übereinstimmung mit den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (Z-23.15...) der jeweiligen Dämmstoffhersteller entnommen werden.

4.1.4 Wärmeleitfähigkeitsstufen für PUR/PIR Hartschaum-Wärmedämmstoffe

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit wird in 1 mW-Stufen angegeben. Der Begriff Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) ist durch die Bezeichnung Wärmeleitfähigkeitsstufe (WLS) ersetzt worden.

Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffe werden in verschiedenen Dicken und Wärmeleitfähigkeitsstufen angeboten.

Bild 18 **Anstieg der Wärmeleitfähigkeit von PUR/ PIR-Hartschaum-Dämmstoffen in den ersten 10 Jahren nach der Herstellung**



4.1.5 Langzeitverhalten der Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen

Das FIW München hat an PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten über einen Zeitraum von 10 Jahren Langzeituntersuchungen durchgeführt. Dabei wurden die Wärmeleitfähigkeit und die Zusammensetzung des Zellgases periodisch ermittelt.
Die Wärmeleitfähigkeit des PUR/PIR-Hartschaums hängt neben der Wärmeleitfähigkeit des Feststoffgerüsts und der Wärmestrahlung in den Schaumstoffzellen zum überwiegenden Teil von der Wärmeübertragung durch das Zellgas ab. Das erklärt den relativ starken Anstieg der Wärmeleitfähigkeit zu Beginn der Untersuchung durch den Gasaustausch CO_2 (Wärmeleitfähigkeit ca. 0,016 W/(m·K)) gegen Luft [(Wärmeleitfähigkeit ca. 0,024 W/(m·K)]. Nach etwa 3 Jahren stellt sich bei der Zellgaszusammensetzung ein stabiles Gleichgewicht ein und die Wärmeleitfähigkeit ändert sich nur noch wenig. Dickere Dämmplatten weisen im Langzeitverhalten generell niedrigere Wärmeleitfähigkeitswerte auf.

Die Kurvenverläufe zeigen, dass die sogenannten »festen Zuschläge« nach DIN EN 13 165 für Pentan mit

- 5,8 mW/(m·K) bei Dicken < 80 mm
- 4,8 mW/(m·K) bei Dicken ≥ 80 mm und < 120 mm

richtig bemessen sind und der Anwender sicher sein kann, dass die Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit λ_D auch über sehr lange Zeiträume nicht überschritten werden. [3 und 4]

Messergebnisse:
Im Bild 18 ist der Verlauf der Wärmeleitfähigkeit von mit Pentan geschäumten PUR/PIR-Hartschaumplatten über die Lagerzeit von ca. 10 Jahren bei Raumtemperatur dargestellt

4.2 Rohdichte

Die Rohdichte von Polyurethan-Hartschaum für den baulichen Wärmeschutz liegt je nach Anwendungsgebiet zwischen 30 kg/m³ und 100 kg/m³.

Beim Einsatz von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen ist eine Reduzierung der Rohdichte um 10% gegenüber mit reinen Kohlenwasserstoffen getriebenen Polyurethan-Hartschäumen bei gleichen oder verbesserten mechanischen Eigenschaften möglich. [17]

Für spezielle Anwendungen, bei denen extreme mechanische Belastungen auftreten, kann die Rohdichte von PUR/PIR-Hartschaum bis auf 700 kg/m³ erhöht werden.

Das Volumen von Polyurethan-Hartschaum besteht nur zu einem geringen Teil aus festem Stoff. Bei einer bauüblichen Rohdichte von 30 kg/m³ beträgt der Anteil des festen Kunststoffs nur etwa 3% des Volumens. Dieser bildet ein Gittergerüst aus Zellstegen und Zellwänden, um den mechanischen Belastungen durch Steifigkeit und Knicksicherheit Stand zu halten.

Bild 19 **Zellstruktur von Polyurethan-Hartschaum**

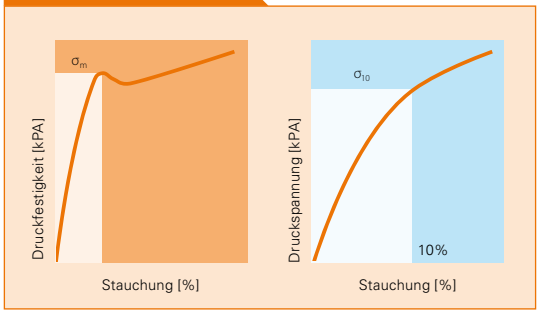
4.3 Druckfestigkeit σ_m oder Druckspannung bei 10% Stauchung σ_{10}

Das Festigkeitsverhalten von Polyurethan-Hartschaum wird hauptsächlich durch die Rohdichte bestimmt. Beim Verhalten unter Druckbeanspruchung unterscheidet man zwischen Druckspannung und Druckfestigkeit. Die Druckspannung ermittelt man in der Regel bei einer Stauchung von 10 %. Als Druckfestigkeit bezeichnet man die maximale Spannung bis zum Erreichen der Bruchgrenze.

Die Druckfestigkeit bzw. Druckspannung bei 10 % Stauchung von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen wird nach DIN EN 826 innerhalb eines Zeitraumes von nur wenigen Minuten gemessen. Man spricht hier vom Kurzzeitverhalten. Im Vergleich verschiedener Dämmstoffe untereinander können diese Messwerte als Vergleichswerte herangezogen werden. Für die sichere statische Bemessung benötigt man die Werte der langzeitigen Dauerdruckspannung.

Für viele Anwendungen von PUR/PIR Hartschaum ist die Druckfestigkeit σ_m oder Druckspannung σ_{10} von 100 kPa ausreichend. In bestimmten Anwendungen bei der Dämmung im Flachdach, Fußboden oder Deckenbereich sowie bei der Perimeterdämmung können höhere Druckbelastungen auftreten. Daher sind die Qualitätstypen für PUR/PIR-Dämmstoffe mit eigenschaftsbezogenen Untergruppen hinsichtlich der Druckbeanspruchung weiter differenziert.

Bild 20 **Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10% Stauchung**



Druckfestigkeit: Der Schaumstoff bricht unter der steigenden Druckbelastung plötzlich zusammen. Der Wert des Kurvenmaximums ist die Druckfestigkeit σ_m.
Druckspannung: Es tritt kein scharfer Bruch auf. Der Wert bei 10% Stauchung der Probe ist die Druckspannung σ_{10}.

Das Kurzzeichen »dh« steht für hohe Druckbelastbarkeit von mindestens 100 kPa. Als Anwendungen kommen z.B. genutzte Dachflächen oder Terrassendächer in Betracht. Für sehr hohe Druckbelastbarkeit von bis zu 150 kPa wird das Kurzzeichen »ds« verwendet. Anwendungsgebiete sind beispielsweise Industrieböden und Parkdecks.

Tabelle 7 **Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10 % Stauchung von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen in druckbelasteten Anwendungen.**

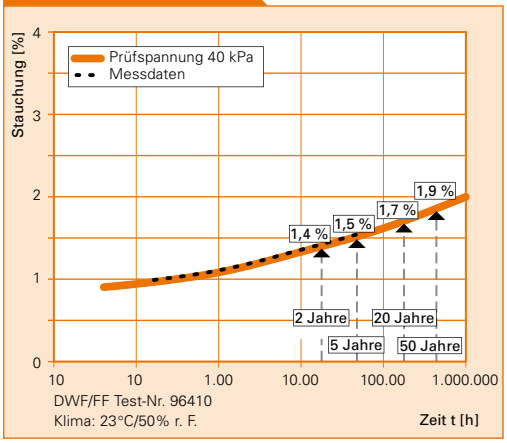
Anwendungsgebiet	PUR/PIR-Qualitätstyp	Kurzzeichen der Dämmstoffeigenschaft	σ_m bzw. σ_{10} in kPa
	PUR/PIR 024 DAA PUR/PIR 028 DAA PUR/PIR 030 DAA	dh	≥ 100
	PUR/PIR 024 DAA PUR/PIR 028 DAA PUR/PIR 030 DAA	ds	≥ 150
	PUR/PIR 024 DEO PUR/PIR 025 DEO PUR/PIR 028 DEO PUR/PIR 030 DEO	dh	≥ 100
	PUR/PIR 024 DEO PUR/PIR 025 DEO PUR/PIR 028 DEO PUR/PIR 030 DEO	ds	≥ 150
	PUR/PIR 030 PW PUR/PIR 030 PB	ds	≥ 150

4.4 Dauerdruckspannung σ_c

Baukonstruktionen sind in der Regel statischen Beanspruchungen über längere Zeitspannen ausgesetzt. Die auftretenden Lasten müssen ohne Beeinträchtigung der Gesamtkonstruktion sicher weitergeleitet werden. Polyurethan-Hartschaum hat sich durch seine hohe Druckspannungen bei gleichzeitiger Elastizität als Wärmedämmstoff in diesen druckbelasteten Anwendungen über viele Jahrzehnte hinweg hervorragend bewährt.

Bei bestimmten Anwendungen – meist im Bodenbereich – wird PUR/PIR-Hartschaum z.B. durch Maschinen oder Lagergut dauerhaft statischen Druckbelastungen ausgesetzt. Dabei ist die Stauchung unter dauerhaften Belastungen für die statische Berechnung maßgebend. Zur sicheren Dimensionierung solcher Konstruktionen soll die maximale Stauchung des Dämmstoffs 2% bei einer Belastungsdauer von 20 bzw. 50 Jahren nicht wesentlich überschreiten. Langzeitversuche an PUR/PIR-Hartschaum haben die sichere Einhaltung dieser Werte bestätigt. Das Langzeitverhalten von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen unter Dauerdruckspannung wird nach DIN EN 1606 bestimmt.

Bild 21 **Zeitstand-Druckkurven von Polyurethan-Hartschaum**



PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatte, 33 kg/m³ mit Aluminiumfolien-Deckschicht Dauerlast 40 kPa; Messwerte nach 2- und 5-jähriger Belastungsdauer und rechnerische Extrapolation auf 20 und 50 Jahre [5].

Zeitstand-Druckversuche nach EN 1606 an Aluminium-kaschiertem PUR/PIR-Hartschaum mit einer Rohdichte von 33 kg/m³ haben gezeigt, dass sich dieser Wärmedämmstoff in druckbelasteten Anwendungen über viele Jahrzehnte hinweg hervorragend bewährt. Unter einer zweijährigen Dauerlast von 40 kPa wurden Stauchungen von 1,4% gemessen. Unter fünfjähriger Dauerlast wurde eine Stauchung von 1,5% gemessen.

Die nach dem Extrapolationsverfahren nach Findley errechneten Werte ergaben nach 20-jähriger Dauer-Druckspannung eine Stauchung von 1,7 % und nach 50-jähriger Dauer-Druckspannung eine Stauchung von 1,9 %.

Tabelle 8 **Kurzzeitige Druckfestigkeit σ_m oder Druckspannung bei 10% Stauchung σ_{10} und zulässige Dauerdruckspannung σ_c von Polyurethan-Hartschaum.**

Anwendungsgebiet	PUR/PIR-Qualitätstyp	Kurzzeichen der Dämmstoffeigenschaft	σ_m bzw. σ_{10} in kPa	Zulässige Dauerdruckspannung σ_c in kPa bei Stauchung ≤ 2%
	PUR/PIR 024 DAA PUR/PIR 028 DAA PUR/PIR 030 DAA	dh	≥ 100	20
	PUR/PIR 024 DAA PUR/PIR 028 DAA PUR/PIR 030 DAA	ds	≥ 150	30
	PUR/PIR 024 DEO PUR/PIR 025 DEO PUR/PIR 028 DEO PUR/PIR 030 DEO	dh	≥ 100	20
	PUR/PIR 024 DEO PUR/PIR 025 DEO PUR/PIR 028 DEO PUR/PIR 030 DEO	ds	≥ 150	30
	PUR/PIR 030 PW PUR/PIR 030 PB	ds	≥ 150	30

4.5 Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene σ_{mt}, Scherfestigkeit τ und Biegefestigkeit σ_b

Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum werden häufig im Verbund mit anderen Baustoffen z.B. im Wärmedämmverbundsystem (WDVS), im industriellen und landwirtschaftlichem Hallenbau eingesetzt. In diesen Anwendungen sind sie auf Zug-, Scher- und Biegefestigkeit beansprucht. Verbundelemente mit einem Kern aus PUR/PIR-Hartschaum haben sich auf Grund ihrer Stabilität und der hervorragenden Wärmedämmung schon bei extrem dünnen Elementen seit Jahrzehnten bewährt.

Wird PUR/PIR-Hartschaum als Wärmedämmung im Flachdach, beim Innenausbau oder im Wärmedämmverbundsystem (WDVS) eingesetzt, muss sichergestellt sein, dass der Verbund erhalten bleibt und kein Bruch innerhalb der Dämmschicht erfolgt. Hier ist die Zug- und Scherfestigkeit von Bedeutung. Die Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene wird nach DIN EN 1607 bestimmt. Die Werte für PUR/PIR-Hartschaum liegen je nach Rohdichte zwischen 40 und 900 kPa. Dämmstoffe aus PUR/PIR-Hartschaum weisen in Abhängigkeit der Rohdichte Scherfestigkeiten nach DIN EN 12090 von 120 bis 450 kPa auf.

Die Biegefestigkeit nach DIN EN 12089 beschreibt das Verhalten bei Biegebeanspruchung im Hinblick auf die Anwendungsgebiete wie z.B. Putzträger im Holzbau oder die Überbrückung großer lichter Spannweiten zwischen den Obergurten bei Dachkonstruktionen. Die Biegefestigkeit von Verbundelementen mit einem Kern aus Polyurethan-Hartschaum ist abhängig von der Schaumstoffrohdichte und den jeweiligen Deckschichten. Die Werte liegen zwischen 250 und 1300 kPa.

4.6 Verhalten gegen Wasser und Feuchte

Für die feuchtetechnische Funktionstüchtigkeit von Bauteilen ist das Verhalten von Dämmstoffen gegenüber Bau- und Bodenfeuchte sowie Niederschlägen bei Transport, Lagerung und Montage wichtig. Ebenso spielt der Einfluss von Kondenswasser auf der Bauteiloberfläche und die Kondensation im Querschnitt von Bauteilen als Folge von Wasserdampfdiffusion eine Rolle.

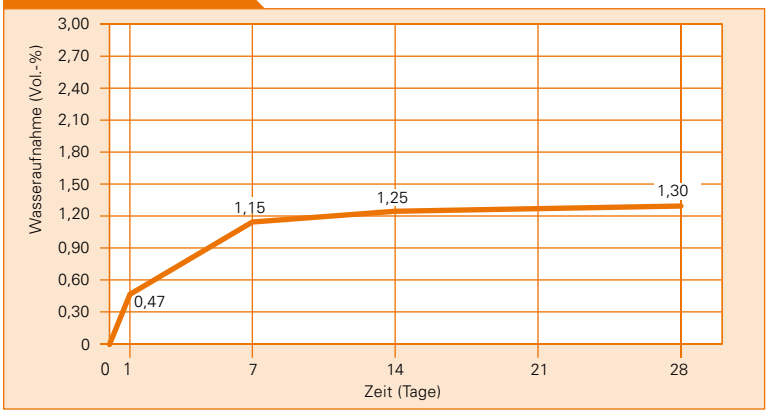
Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum nehmen keine Feuchte aus der Luft auf. Aufgrund ihrer geschlossenen Zellstruktur saugen sie weder Wasser auf noch transportieren sie es weiter, d.h. sie sind nicht kapillaraktiv. Aus diesem Grund trägt die übliche Baufeuchte auch nicht zur Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit bei. Eine erhöhte Durchfeuchtung von Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum kann nur durch Wasserdampfdiffusion bei bauphysikalisch unsachgemäßer Anwendung erfolgen, z.B. infolge fehlender Dampfsperren, Luftdichtheitsschichten oder bei undichten Abdichtungen in Flachdächern.

4.6.1 Wasseraufnahme bei Unterwasserlagerung über 28 Tage

Werden Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum in Laborversuchen dauerhaft von Wasser umgeben, kann es durch Diffusion und Kondensation zur Wasseraufnahme kommen. Die im Untertauchversuch nach DIN EN 12087 in 28 Tagen gemessene Wasseraufnahme liegt beispielsweise bei einer 60 mm dicken PUR/PIR-Dämmplatte (mineralvlieskaschiert, Rohdichte 35 kg/m3) bei 1,3 Vol.-%.

In der Anwendung von PUR/PIR-Hartschaum Dämmplatten als Perimeterdämmung (Qualitätstyp PUR/PIR 030 PW oder PUR/PIR 030 PB) liegen die Dämmplatten außerhalb der Abdichtungsebene und sind ständig der Feuchtigkeit ausgesetzt. Für diese Anwendung ist eine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich.

Bild 22 **Wasseraufnahme von Polyurethan-Hartschaum nach 28-tägiger Unterwasserlagerung [3]**



4.6.2 Feuchteverhalten bei Diffusion und Kondensation sowie bei Frost-Tau-Wechsel

Bei der Anwendung von Polyurethan-Hartschaum als Perimeterdämmung sind die Dämmplatten dauerhaft in direktem Kontakt mit dem Erdreich und somit auch erhöhter Feuchte- und Frostbeanspruchung ausgesetzt.

Die maximale Feuchteaufnahme von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten bei Diffusion und Kondensation nach DIN EN 12088 beträgt ca. 6 Vol-%.

Untersuchungen beim Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München hinsichtlich des Feuchteverhaltens von PUR/PIR Hartschaum bei Frost-Tau-Wechsel ergeben – auf den Dämmstoff ohne Deckschicht bezogen – Werte zwischen 2 und 7 Vol.-%.

4.6.3 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ

Für die Berechnung hinsichtlich des feuchtetechnischen Verhaltens von Bauteilen ist die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl (μ-Wert) eine maßgebliche Kenngröße. Der μ-Wert gibt an, um wie viel der Wasserdampf-Diffusionswiderstand einer Bauteilschicht größer ist als der einer gleich dicken Luftschicht (μ-Luft =1).

Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von Polyurethan-Hartschaum wird nach DIN EN 12086 ermittelt. Sie ist abhängig von der Rohdichte und dem Herstellungsverfahren. Mit Beschichtungen oder Kaschierungen ist der Wasserdampf- Diffusionswiderstand Z anzugeben.

Die μ-Werte von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen liegen nach DIN V 4108-4 zwischen 40 und 200.

Für die feuchtetechnische Berechnung von Bauteilen ist der für den Anwendungsfall ungünstigere Wert anzunehmen.

4.6.4 Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d

Als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d wird das Produkt aus der Schichtdicke s in Metern und der Diffusionswiderstandszahl μ bezeichnet

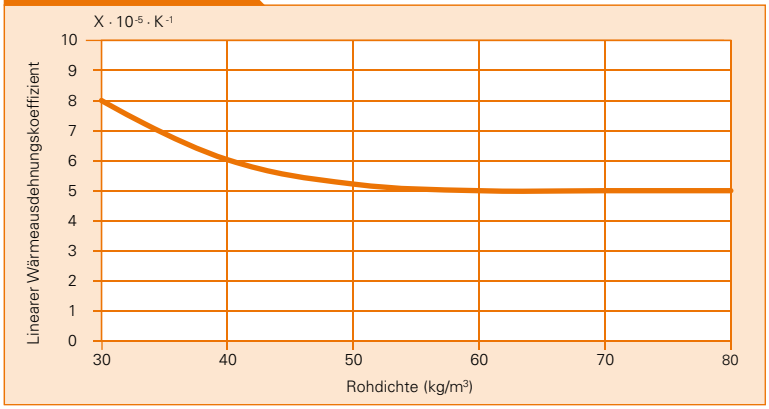
$s_d = \mu \cdot s$

Beispiel:
120 mm dicke mineralvlieskaschierte PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten haben je nach Anwendung in der Konstruktion einen sd-Wert zwischen 40 x 0,12 = 4,8 m und 200 x 0,12 = 24 m.

Für die Anwendung von Polyurethan-Hartschaum als Dämmstoff in belüfteten Dachkonstruktionen gibt DIN 4108 Hinweise auf verschiedene Dachkonstruktionen, die ohne rechnerischen Nachweis als feuchtetechnisch unbedenklich gelten, da für sie eine ausreichende Praxiserfahrung vorliegt.

Neben den Anforderungen an die freien Lüftungsquerschnitte an First und Traufe dürfen bestimmte Werte der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke sd nicht unterschritten werden, um eine unerwünschte Tauwasserbildung zu vermeiden.

Bild 23 **Thermisches Ausdehnungsverhalten von unkaschiertem PUR/PIR-Hartschaum**



Thermische Ausdehnung von unkaschiertem PUR/PIR-Hartschaum im Temperaturbereich von -60°C bis +20°C in Abhängigkeit von der Rohdichte.

4.7 Thermisches Ausdehnungsverhalten

Jeder Stoff dehnt sich bei Erwärmung aus. Die materialspezifische Wärmeausdehnung pro 1 Kelvin Temperaturerhöhung wird durch den Wärmeausdehnungskoeffizienten beschrieben. Bei geschlossenzelligen Schaumkunststoffen beeinflusst auch der Gasdruck im Zellgefüge das Ausdehnungsverhalten.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Polyurethan-Hartschaum hängt u. a. ab von

- der Rohdichte,
- der Deckschicht,
- einer eventuellen Fixierung des Dämmstoffes auf einer Bauteilschicht,
- dem gewählten Temperaturbereich.

An PUR/PIR-Hartschaum-Platten mit flexiblen Deckschichten und einer Rohdichte von ca. 30 bis 35 kg/m³ wurden Ausdehnungskoeffizienten von 3 bis 7 x 10-5·K^{-1} gemessen.

Bei PUR/PIR-Hartschaum-Platten ohne Deckschichten mit Rohdichten von 30 bis 60 kg/m³ liegt der lineare Wärmeausdehnungskoeffizient zwischen 5 bis 8 x 10-5·K^{-1}. Der Ausdehnungskoeffizient von unkaschierten Dämmplatten mit höheren Rohdichten beträgt etwa 5 x 10-5·K^{-1}. Diese Werte gelten für Platten oder Formteile, die nicht auf einem Untergrund befestigt bzw. nicht eingespannt sind.

Die Mindestanforderungen an die Dimensionsstabilität von werkmäßig hergestellten PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten unter definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen sind in der Produktnorm DIN EN 13165 und in der Anwendungsnorm DIN V 4108-10 festgelegt.

Tabelle 9 **Mindestanforderungen an die Dimensionsstabilität von PUR/PIR-Hartschaum**

Anwendungsgebiet nach DIN V 4108-10	Dimensionsstabilität unter definierten Temperatur und Feuchtebedingungen			
	Stufe DS (TH) 2			
	Prüfung			
	in der Wärme[1]		in der Kälte[2]	
	Maßänderung in Länge (l), Breite (b) und Dicke (d)			
	l und b	d	l und d	d
	%			
Für alle genormten Anwendungen (s. Kap. 3, Tab. 3)	≤ 5	≤ 10	≤ 1	≤ 2

[1] Prüfbedingungen: (48±1)h bei (70±2)°C und einer relativen Luftfeuchte von (90 ± 5)%
[2] Prüfbedingungen: (48±1)h bei (-20±3)°C
***Anmerkung:** Es handelt sich hier um Mindestanforderungen.*
Die auf dem Markt befindlichen Produkte besitzen eine erheblich höhere Dimensionsstabilität. Maßgebend sind die Herstellerangaben.

4.8 Spezifische Wärmekapazität und Wärmespeichervermögen

4.8.1 Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität c_p gibt an, welche Wärmeenergiemenge notwendig ist, um die Temperatur von 1 kg Masse eines Stoffes um 1 K zu erhöhen. Die Einheit der spezifischen Wärmekapazität c_p ist J/(kg·K). Ein Stoff mit großer Wärmekapazität benötigt eine große Wärmemenge, bis sich seine Temperatur um 1 K erhöht. Umgekehrt benötigt ein Stoff mit niedriger Wärmekapazität nur eine kleine Wärmemenge, bis seine Temperatur um 1 K angestiegen ist.

Tabelle 10 **Rechenwerte der spezifischen Wärmekapazität c_p verschiedener Stoffe**

Stoff	Spezifische Wärmekapazität c_p J/(kg·K)
Polyurethan-Hartschaum	1400 – 1500
Holzfaserdämmplatten	1400
Mineralwolle	1030
Holz und Holzwerkstoffe	1600
Gipskartonplatten	1000
Aluminium	880
Sonstige Metalle	380 – 460
Luft (ρ=1,25 kg/m³)	1000
Wasser	4190

Diese Rechenwerte sind nach DIN EN 12524 für spezielle Berechnungen der Wärmeleitung von Bauteilen bei instationären Randbedingungen zu verwenden.

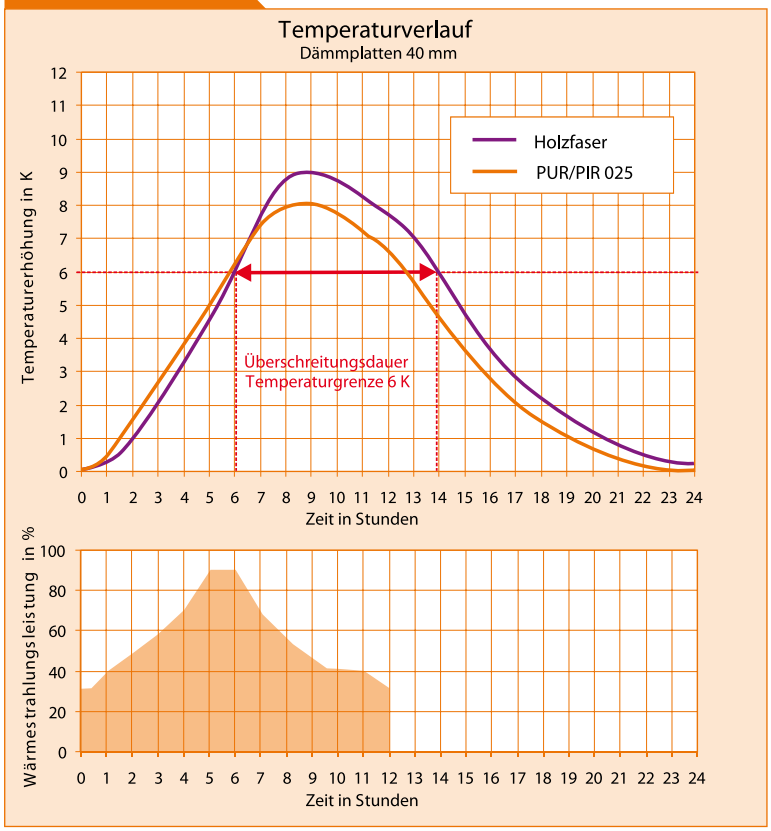
4.8.2 Wärmespeichervermögen

Die spezifische Wärmekapazität der Baustoffe hat eine Bedeutung für das Wärmespeichervermögen der aus verschiedenen Baustoffen bestehenden Bauteile.

Das Wärmespeichervermögen C in J/(m²·K), auch Wärmespeicherfähigkeit genannt, gibt an, wie viel Wärme ein homogener Baustoff von 1 m² Oberfläche und der Dicke s bei einer Temperaturerhöhung um 1 K speichern kann.

Wärmespeichervermögen C in J/(m²·K) = spezifische Wärmekapazität (c) x Rohdichte (ρ) x Schichtdicke (d)

Bild 24 **Laborversuch: Vergleich der Innentemperaturverläufe bei PUR/PIR-Hartschaum und Holzfaser-Dämmstoff**



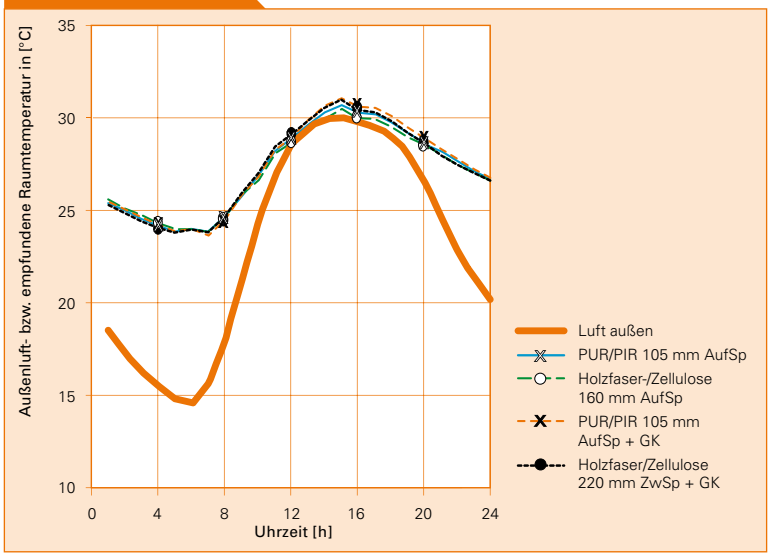
4.8.3 Einfluss der Speichermasse auf den sommerlichen Wärmeschutz

Wärmedämmstoffe können Wärme aufgrund ihrer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und vergleichsweise geringen Masse nur langsam aufnehmen oder abgeben. Ihre effektive Wärmespeicherkapazität ist daher gering. Die Wirkung von Wärmedämmstoffen besteht darin, dass sie an heißen Sommertagen den Wärmefluss durch die Außenbauteile eindämmen und dadurch ein Aufheizen der Räume vermindern. Hoch effiziente Wärmedämmstoffe aus Polyurethan bieten im Sommer wie im Winter einen besonders guten Wärmeschutz.

In einem Laborversuch hat das Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München die Einflüsse von Wärmespeicherfähigkeit und Wärmedurchlasswiderstand auf die Innentemperaturen untersucht. Der Versuchsaufbau simulierte die wechselnde Sonneneinstrahlung auf ein Dach über den Tagesverlauf und den Wärmedurchgang in einen darunter liegenden Innenraum. Vergleicht man die Temperaturverläufe bei Dämmstoffen gleicher Dicke, so fällt auf, dass der höhere Wärmedurchlasswiderstand von Polyurethan-Hartschaum die höhere Wärmespeichermasse der Holzfaser im Laufe des Tages überkompensiert. Die im Inneren gemessene Höchsttemperatur liegt bei Polyurethan um rund 1 Kelvin niedriger.

Eine gute Wärmedämmung verbessert das Raumklima auch im Sommer. Bei gleicher Dämmstoffdicke reduzieren Wärmedämmstoffe mit niedriger Wärmeleitfähigkeit den Wärmeeintrag durch die gedämmten Außenbauteile.

Bild 25 **Außentemperatur und Raumlufttemperatur am heißesten Tag einer heißen Sommerwoche – ohne Sonnenschutz**



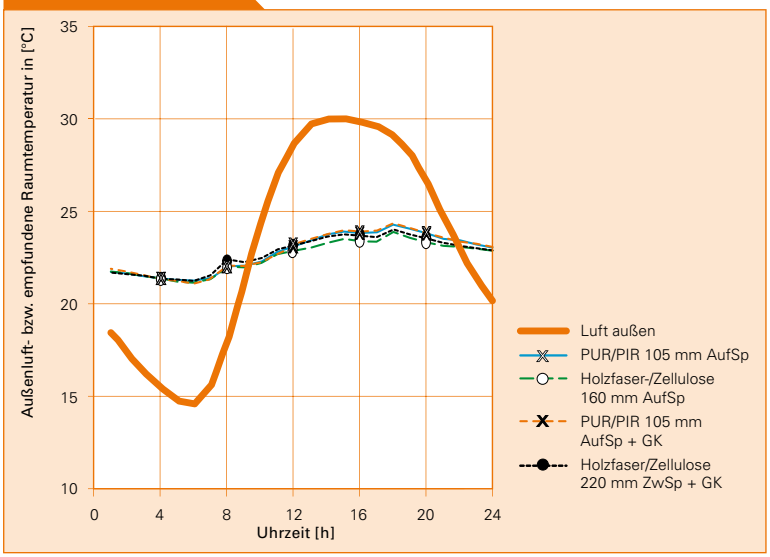
Ohne Sonnenschutz heizt sich der Innenraum nachmittags bis auf eine Temperatur von 31° C auf. Die im Raum gemessenen Temperaturen zeigen, dass die Wärmespeicherfähigkeit der unterschiedlichen Dämmstoffe keine Rolle spielt. Der Temperaturunterschied im Innenraum beträgt maximal 0,6 K.

4.8.4 Bedeutung des Sonnenschutzes

Thermische Computersimulationen, die den Einfluss des Dämmstofftyps in verschiedenen Steildachkonstruktionen auf das Raumklima verdeutlichen sollen, haben gezeigt,

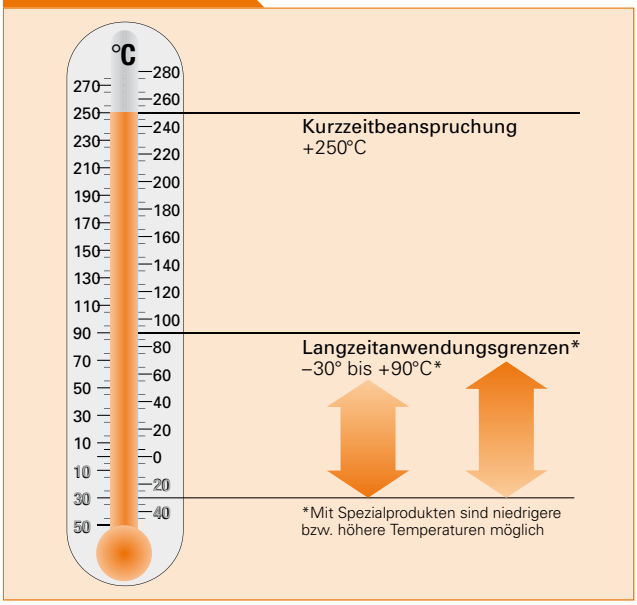
- dass die einfallende Sonneneinstrahlung den größten Einfluss auf das sommerliche Raumklima hat und daher insbesondere ein wirksamer Sonnenschutz an der Fensterfläche ein angenehmes Raumklima schafft;
- dass der Einfluss der unterschiedlichen Wärmespeicherfähigkeit der Dämmstoffe auf das sommerliche Raumklima vernachlässigbar gering ist.

Bild 26 **Außentemperatur und Raumlufttemperatur am heißesten Tag einer heißen Sommerwoche – mit Sonnenschutz**



Wenn das Dachfenster mit einem Sonnenschutz ausgestattet wird, ist die Raumlufttemperatur nachmittags deutlich niedriger als die Außentemperatur; die Raumlufttemperatur liegt immer unter 25° C. Auch in diesem Fall hat die Art des Dämmstoffes keinen wesentlichen Einfluss auf die Temperatur im Innenraum.

Bild 27 Temperaturbeständigkeit von PUR/PIR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen



4.9 Temperaturbeständigkeit

Neben den Festigkeitseigenschaften eines Dämmstoffes unter erhöhten Temperaturen sind auch die unteren und oberen Temperaturanwendungsgrenzen für bestimmte Anwendungsgebiete von Bedeutung. Dabei spielt besonders die Dauer der Einwirkung einer bestimmten Temperatur eine wichtige Rolle. Die Temperaturanwendungsgrenze kann durch verschiedene Merkmale wie beispielsweise Maßänderungen, Verlust von Form und Festigkeit bis hin zur thermischen Zersetzung gekennzeichnet sein.

Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum zeichnen sich durch hohe thermische Beständigkeit und gute Dimensionsstabilität aus.Die im Bauwesen eingesetzten Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum können in Abhängigkeit von Rohdichte und Deckschicht dauerhaft in Temperaturbereichen von –30°C bis zu +90°C verwendet werden. Kurzzeitige Temperatur belastungen von bis zu 250°C nehmen Dämmstoffe aus PUR/PIR-Hartschaum schadlos auf.

PUR/PIR-Hartschaum mit Mineralvliesdeckschichten oder ohne Kaschierung ist heißbitumenbeständig und kann im Flachdachbereich mit bituminösen Dachdeckungen abgedichtet werden. PUR-Hartschaum ist ein Duroplast und schmilzt daher im Brandfall nicht.

Darüber hinaus gibt es Polyurethan-Spezialprodukte, die als Dämmstoffe unter Gussasphalt-Estrich bis zu Temperaturen von +200°C ohne zusätzlichen Hitzeschutz verlegt bzw. die im Kältebereich bis –180°C eingesetzt werden können.

4.10 Chemische und biologische Beständigkeit

Die Einwirkung von chemischen Stoffen kann die Eigenschaften eines Dämmstoffes beeinflussen. Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum sind jedoch beständig gegenüber den meisten in den baupraktischen Anwendungen vorkommenden chemischen Substanzen.

Dazu zählen beispielsweise die meisten Lösungsmittel, wie sie in Klebern, bituminösen Materialien, Holzschutzmitteln oder Dichtungsmassen vorkommen. Außerdem wird der Dämmstoff von den in Abdichtungsfolien enthaltenen Weichmachern, von Kraftstoffen, Mineralölen, verdünnten Säuren und Alkalien sowie von Abgasen oder aggressiver Industrieatmosphäre nicht angegriffen.

PUR/PIR-Hartschaum verrottet nicht, ist schimmel- und fäulnisfest, geruchsneutral und physiologisch unbedenklich für die in Betracht kommenden technischen Bauanwendungen. UV-Strahlung führt auf unkaschierten PUR-Dämmplatten oder an Schnittstellen zu Vergilbung und im Laufe der Zeit zu einer leichten Absandung der Oberfläche. Dies ist jedoch kein technischer Mangel. Versandungen der Oberfläche sind bei Weiterführung der Arbeiten zu beseitigen.

Tabelle 11 **Chemische Beständigkeit von PUR/PIR Hartschaum**

Baustoffe / Chemische Substanzen	Verhalten von PUR/PIR-Hartschaum
Kalk, Gips, Zement	+
Bitumen	+
Kaltbitumen und Bitumenspachtelmassen auf wässriger Basis	+
Adhäsiv-Bitumen-Kaltkleber	+/-
Heißbitumen	+/-
Kaltbitumen und Bitumenspachtelmassen mit Lösungsmitteln	+/-
Siliconöl	+
Seifen	+
Meerwasser	+
Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, Natronlauge (je 10 %)	+
Ammoniumhydroxid (konz.)	+
Ammoniakwasser	+
Normalbenzin / Dieselkraftstoff / Gemisch	+
Toluol / Chlorbenzol	+/-
Monostyrol	+/-
Ethylalkohol	+/-
Aceton / Ethylacetat	+/-

+ beständig +/- teilweise beständig

Die chemische Beständigkeit von PUR/PIR-Hartschaum (unkaschiert) gegenüber Baustoffen und chemischen Substanzen wurde bei einer Prüftemperatur von 20°C ermittelt.

4.11 Brandverhalten von Polyurethan-Hartschaum

4.11.1 Brandverhalten von Dämmstoffen

Der Nachweis des Brandverhaltens erfolgt zur Zeit für Dämmstoffe der Euroklassen A1 und E nach DIN EN 13501-1 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“. Für Dämmstoffe der übrigen Euroklassen A2 bis D gibt es für eine Übergangszeit allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen unter Bezugnahme auf DIN 4102-1 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen“.

Wie alle Schaumkunststoffe ist Polyurethan-Hartschaum ein organisches Material und daher brennbar.

Brennbare Baustoffe werden im Hinblick auf das Brandverhalten in folgende Klassen eingeteilt:
- schwerentflammbar
- normalentflammbar
- leichtentflammbar

PUR/PIR-Hartschaum wird für Anwendungen im Bauwesen als »schwerentflammbar« und »normalentflammbar« angeboten. Leichtentflammbare Dämmstoffe dürfen im deutschen Hochbau nicht eingesetzt werden.

4.11.2 Brandverhalten von Dämmstoffen nach europäischer Normung

Während die DIN 4102 sowohl die Prüfung, als auch die Klassifizierung von Bauprodukten festlegt, gibt es bei den europäischen Normen eine Trennung von Prüf- und Klassifizierungsnormen. Wichtige Festlegungen für die erforderlichen Prüfungen werden darüber hinaus in den Produktnormen getroffen.
Die europäischen Prüfnormen beschreiben die Versuchsapparatur, den Versuchsaufbau, die Versuchsdurchführung und die Auswertung des Versuchs. Das zentrale Prüfverfahren für Produkte der Klassen A2 bis D ist der SBI-Test (Single-Burning-Item-Test) nach DIN EN 13823. Im SBI wird die Prüfung mit einem Gasbrenner durchgeführt, dessen Brandlast der eines brennenden Papierkorbes entspricht.

Es werden die Kenngrößen seitliche Flammenausbreitung, Wärmefreisetzung, Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen ermittelt. Der SBI-Test ersetzt den bisherigen Brandschachttest nach DIN 4102-1. Für die Klassen B, C und D wird zusätzlich eine Kleinbrennerprüfung nach DIN EN ISO 11925-2 gefordert (Beflammungszeit: 30 Sekunden). Die Euroklasse E wird ausschließlich nach DIN EN ISO 11925-2 geprüft (Beflammungszeit: 15 Sekunden); diese Prüfung ist nahezu deckungsgleich mit der B2-Prüfung nach DIN 4102-1 (Kleinbrennertest).

Tabelle 12 **Zuordnung der europäischen Klassen zu den bauaufsichtlichen Benennungen nach Bauregelliste A Teil 1**

Zuordnung der Euroklassen zu den bauaufsichtlichen Benennungen nach Bauregelliste A Teil 1 (2003/1) Anlage 0.2.2

Bauaufsichtliche Benennungen	Zusatzanforderungen kein Rauch	Zusatzanforderungen kein brennendes Abfallen/Abtropfen	Europäische Klasse nach DIN EN 13501-1
Nichtbrennbar	•	•	A1
	•	•	A2 –s1, d0
Schwerentflammbar	•	•	B –s1, d0
			C –s1, d0
		•	A2 –s2, d0
			A2 –s3, d0
			B –s2, d0
			B –s3, d0
			C –s2, d0
			C –s3, d0
	•		A2 –s1, d1
			A2 –s1, d2
			B –s1, d1
			B –s1, d2
			C –s1, d1
			C –s1, d2
			A2 –s3, d2
			B –s3, d2
			C –s3, d2
Normalentflammbar		•	D –s1, d0
			D –s2, d0
			D –s3, d0
			E
			D –s1, d2
			D –s2, d2
			D –s3, d2
			E –d2
Keine Leistung*) festgestellt			F

*) Bauaufsichtlich mit „leichtentflammbar“ gleichgesetzt.

Für die Beurteilung oder die Bewertung der Messergebnisse gibt es die Klassifizierungsnormen. Die Einstufung der Baustoffe in die „Europäischen Klassen“ erfolgt nach DIN EN 13501-1.

Nach den harmonisierten europäischen Normen werden Baustoffe in sieben europäische Klassen eingeteilt: Euroklassen A1, A2, B, C, D, E und F.

Das europäische Klassifizierungssystem regelt zusätzlich zum Brandverhalten Brandnebenerscheinungen wie Rauchentwicklung und brennendes Abtropfen/Abfallen. Jeweils drei Klassen für die Rauchentwicklung (s1 bis s3) und das brennende Abtropfen/Abfallen (d0 bis d2) eines Baustoffes sind festgelegt.

Eine Zuordnung der europäischen Klassen zu den bauaufsichtlichen Benennungen nach Bauregelliste A Teil 1 zeigt die nachfolgende Tabelle.

PUR/PIR-Hartschaum wird – je nach Deckschicht bzw. Rezeptur – in die europäischen Klassen B, C, D oder E eingestuft.

Der duroplastische PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoff schmilzt nicht im Brandfall und tropft auch nicht brennend ab. Nach den Ausführungen in der Bauregelliste B Teil 1 Anlage 03 enthält die harmonisierte Norm keine Festlegungen für die Prüfung des Brandverhaltens der Bauprodukte hinsichtlich Vorbereitung, Konditionierung und Einbau des Produktes in den Prüfeinrichtungen. Bis zu einer Ergänzung der harmonisierten Norm um solche Bestimmungen ist der Nachweis des Brandverhaltens mit Ausnahme der Klassen A1 und E noch nicht harmonisiert. Das Brandverhalten ist deshalb bis auf weiteres mit Ausnahme der Klassen A1 und E im Rahmen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung festzulegen.

4.11.3 Brandverhalten von Bauteilen mit Polyurethan-Hartschaum-Dämmung

Für das Brandverhalten von Bauteilen wurden ebenfalls europäische Klassen (Feuerwiderstandsklassen) geschaffen. Die Klassifizierung von Bauteilen erfolgt nach DIN EN 13501 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen".

Die Bauaufsichtsbehörden in den einzelnen Mitgliedsländern sind derzeit dabei festzulegen, welche europäischen Klassen zum Brandverhalten von Bauteilen zukünftig entsprechend den derzeitigen nationalen Anforderungen zu fordern sind. Bei den Feuerwiderstandsprüfungen und den daraus resultierenden Klassifizierungen zum Brandverhalten von Bauteilen ist dies relativ einfach, da die nationalen Prüfungen nur unwesentlich von den neuen europäischen Prüfnormen abweichen.

4.11.4 Brandverhalten von Polyurethan-Hartschaum-Dämmung im Steildach

Bedachungen müssen gegen eine Brandbeanspruchung von außen durch Flugfeuer und strahlende Wärme ausreichend lang widerstandsfähig sein.

In Verbindung mit einer harten Bedachung (Dachziegel, Blech oder Bitumenbahn) werden die brandschutztechnischen Anforderungen nach DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 7: Bedachungen" innerhalb der Steildachkonstruktion bei Wohngebäuden (ausgenommen Hochhäuser) bereits mit normal entflammbaren Dämmstoffen erfüllt.

In bestimmten Fällen verlangen die Landesbauordnungen, dass die Dachkonstruktion der Feuerwiderstandsklasse REI 30 (feuerhemmend) nach DIN EN 13501-2 entspricht.

Der Feuerwiderstand wird nicht am einzelnen Baustoff (z.B. Dämmstoff), sondern an der Gesamtkonstruktion (z.B. am Dach in Verbindung mit allen Schichten, wie Sparren, Dämmstoff und Schalung) ermittelt.

Ausschlaggebend ist die Dauer (Minuten), die das Dach dem Feuer standhält und die Brandweiterleitung verhindert.

Das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis P-MPA-E-04-025 für Dachkonstruktionen der Feuerwiderstandsklasse REI 30 (nach DIN EN 13501-2) zeigt, dass eine Aufsparrendämmung mit Polyurethan-Hartschaum nach DIN EN 13165 hervorragende brandschutztechnische Eigenschaften besitzt. In der Brandprüfung (nach DIN EN 1365-2) hält diese Dachkonstruktion der Brandeinwirkung mit Temperaturen über 800°C eine Dreiviertelstunde lang stand. Das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis erstreckt sich auf nahezu alle bauüblichen Ausführungsvarianten mit PUR/PIR-Hartschaum. Dies gilt auch für die Standardkonstruktion mit einer 19 mm dicken Holzschalung (entsprechend DIN 68122). [7]

Tabelle 13a **PUR/PIR-Steildachkonstruktionen der Feuerwiderstandsklasse REI 30 mit Dachdeckung aus Metall, Schiefer, Holzschindel, Dachbitumenbahnen oder Faserzementplatten [7 und 8]**

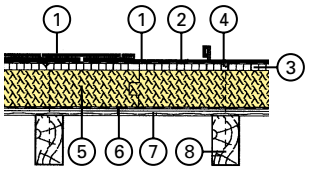
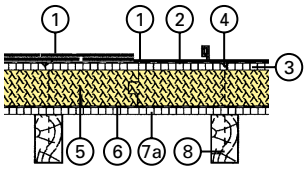
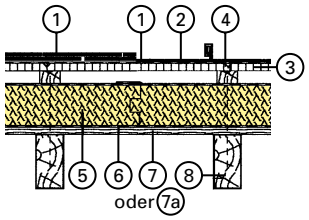
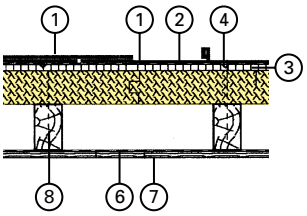
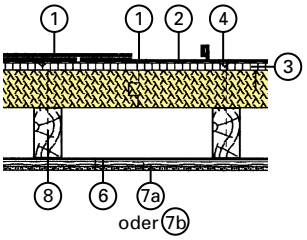
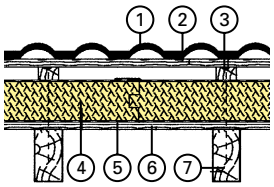
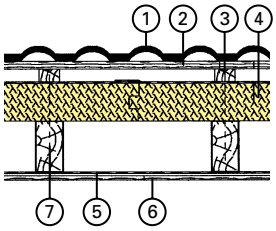
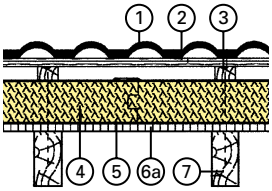
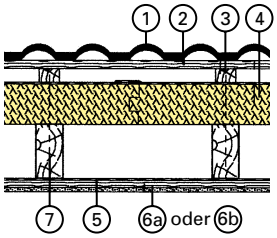
Metall, Schiefer, Holzschindeln, Dachbitumenbahnen oder Faserzementplatten als Dachdeckung			
		hinterlüftet	
	Holzschalung auf den Sparren  Holzwerkstoffplatte auf den Sparren 	Holzschalung bzw. Holzwerkstoffplatte auf den Sparren 	Holzschalung unter den Sparren  Gipskartonfaserplatten unter den Sparren 
1	Metall-, Schiefer- oder Schindeldachdeckung, Faserzementplatten, jeweils A1 nach DIN 4102-4; Dachbitumenbahnen, B2 nach DIN 4102-4		
2	Trennlage: Kunststoff- oder Bitumenbahn, jeweils mind. B2 nach DIN 4102-1 bzw. DIN 4102-4		
3	Unterkonstruktion Dachhaut: Holzwerkstoffplatte, ≥ 500 kg/m³, B2 nach DIN 4102-4, befestigt mit Schrauben lt. Pos.4		
4	Statische Befestiger für Aufsparrendämmsysteme: (lastabtragend), bauaufsichtlich für diese Anwendung zugelassen, A1 nach DIN 4102-4		
5	**Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum** gem. DIN EN 13165, Deckschichten: beidseitig mit Alufolie oder Vlies, ein- oder zweilagig verlegt, B2 nach DIN 4102-1 oder E nach DIN EN 13501-1 oder Verbundelement aus den v.g. mit einseitiger Mineralwollschicht nach DIN EN 13162,		
6	Luftdichtheitsschicht: Kunststofffolie; Bitumendachbahn, jeweils mind B2 nach DIN 4102-1 bzw DIN 4102-4		
7	Holzschalung auf den Sparren, Dicke ≥ 19 mm, Profilbretter aus Nadelholz, lt. DIN 68122-1/2, B2 nach DIN 4102-4, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18334	Holzschalung auf den Sparren, Dicke ≥ 19 mm, Profilbretter aus Nadelholz, lt. DIN 68122-1/2, B2 nach DIN 4102-4, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18334	Holzschalung unter den Sparren, Dicke ≥ 19 mm, Profilbretter aus Nadelholz, lt. DIN 68122-1/2, B2 nach DIN 4102-4, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18334
7a	Holzwerkstoffplatte auf den Sparren, Dicke ≥ 19 mm, Spanplatte nach DIN 68763 oder OSB-Platten jeweils B2 nach DIN 4102	Holzwerkstoffplatte auf den Sparren, Dicke ≥ 19 mm, Spanplatte nach DIN 68763 oder OSB-Platten jeweils B2 nach DIN 4102	GKF nach DIN 18180 auf Lattung mindestens 30 mm x 50 mm unterhalb der Sparren, Dicke ≥ 12,5 mm, A2 nach DIN 4102-4
7b			Gipsfaserplatten auf Lattung mindestens 30 mm x 50 mm unterhalb der Sparren, Dicke ≥ 10 mm, A2 nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
8	Sparren: Nadelholz lt. DIN 4074 oder Brettschichtholz, jeweils B2 nach DIN 4102-4, Dimensionierung nach statischen Erfordernissen lt. DIN 4102-4 Tabelle 74, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18334		

Tabelle 13b **PUR/PIR-Steildachkonstruktionen der Feuerwiderstandsklasse REI 30 mit Dachdeckung aus Ziegel, Dachsteinen, Faserzementplatten oder profilierten Metalleindeckungen [7 und 8]**

	Ziegel, Dachsteine, Faserzementplatten oder profilierte Metalleindeckungen als Dachdeckung	
	Holzschalung auf den Sparren  	Holzschalung auf den Sparren 
	Holzwerkstoffplatte auf den Sparren  	Holzwerkstoffplatte unter den Sparren 
1	Ziegel, Dachsteine, Faserzementplatten, profilierte Metalleindeckungen, jeweils A1 nach DIN 4102-4	
2	Lattung/Traglattung: nach Erfordernissen; Konterlattung mind. 40x60 mm, Nadelholz lt. DIN 4074, B2, nach DIN 4102-4, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18334	
3	Statische Befestiger: Länge und Durchmesser entsprechend Typenprüfung; Befestiger für Aufsparrendämmsysteme lastabtragend), bauaufsichtlich für diese Anwendung zugelassen	
4	Dämmplatten mit Unterspann-, Unterdeck- oder Unterdachbahn aus **Polyurethan-Hartschaum** gem. DIN EN 13165, Decksschichten: beidseitig mit Alufolie oder mit Vlies, ein- oder zweilagig verlegt, B2 nach DIN 4102-1 oder E nach DIN EN 1350-1 oder Verbundelemente aus den v.g. Dämmplatten mit einseitiger Mineralwollschicht nach DIN EN 13162	
5	Luftdichtheitsschicht: Kunststofffolie, Bitumendachbahn	
6	Holzschalung auf den Sparren, Profilbretter aus Nadelholz, Dicke ≥ 19 mm, lt. DIN 68122- 1/2, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18338	Holzschalung unter den Sparren, Profilbretter aus Nadelholz, Dicke ≥ 19 mm, lt. DIN 68122-1/2, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18338
6a	Holzwerkstoffplatte auf den Sparren, Spanplatte, OSB, Dicke ≥ 19 mm, B2 nach DIN 4102-4	Gipskartonplatten nach DIN 18180 auf Lattung mindestens 30 mm x 50 mm unterhalb der Sparren, Dicke ≥ 12,5 mm, A2 nach DIN 4102-4
6b		Gipsfaserplatten auf Lattung mindestens 30 mm x 50 mm unterhalb der Sparren, Dicke ≥ 10 mm, A2 nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
7	Sparren: Nadelholz lt. DIN 4074 oder Brettschichtholz, jeweils B2 nach DIN 4102-4, Holzfeuchte und Montage nach DIN 18334	

4.11.5 Brandverhalten von PIR-Hartschaum in Stahlleichtdächern

Bei der Planung von Dächern unter Brandschutzgesichtspunkten ist der Dachaufbau als System zu betrachten. Die Brandeigenschaften der einzelnen Funktionsschichten lassen dabei nur sehr bedingt Rückschlüsse auf das Brandverhalten des gesamten Daches zu. Bei einem der größten Schadensfeuer der Industriegeschichte, dem Brand einer Fabrikanlage im US-amerikanischen Livonia, trug die Stahldachkonstruktion, obgleich mit nicht brennbarer Glaswolle gedämmt, maßgebend zur Brandausbreitung bei. Ausgehend von dieser und ähnlichen Schadenserfahrungen wurden Prüfverfahren für großflächige Dächer entwickelt, um deren Brandsicherheit möglichst realitätsnah zu beurteilen. In diesen Brandversuchen zeigen PIR-Dämmstoffe ein besonders günstiges Brandverhalten.

Heute werden in vielen Ländern, z. B. in den USA überwiegend PIR-Dämmstoffe für großflächige Dächer verwendet. Auch in Deutschland setzen sich diese Hochleistungsdämmstoffe aufgrund ihrer hohen thermischen Beständigkeit, Unschmelzbarkeit, exzellenten Wärmedämmung und rationellen Verlegung immer mehr durch. PIR-Hartschaum behält im Brandfall länger seine Dämmwirkung, tropft nicht ab und schützt andere Bauteilschichten vor der Brandeinwirkung.

Bild 28 **Die leichten PIR-Hartschaum-Dämmplatten können einfach, schnell und kostengünstig verlegt werden.**

Dächer müssen nach den Bestimmungen der Landesbauordnungen in der Regel widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme sein („Harte Bedachung"). Dachkonstruktionen mit Polyurethan-Hartschaumdämmung erfüllen die Anforderungen der DIN 4102-7 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bedachungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen" in Verbindung mit den in DIN 4102-4 Abschnitt 8.7.2 aufgeführten Abdichtungen. Für Bedachungen, die von der DIN 4102-4 abweichen, kann die Eignung über ein bauaufsichtliches Prüfzeugnis nachgewiesen werden.

Nach der in Deutschland geltenden Industriebaurichtlinie (IndBauR) sind Bedachungen bestehend aus Dachhaut, Wärmedämmung, Dampfsperre, Träger der Dachhaut, etc. mit einer Dachfläche von mehr als 2.500 m² so auszubilden, dass eine Brandausbreitung innerhalb eines Brandabschnitts oder eines Brandbekämpfungsabschnitts über das Dach behindert wird. Diese Anforderung gilt z. B. als erfüllt bei Bedachungen mit PUR- und PIR-Dämmstoffen gemäß DIN 18234-2 "Baulicher Brandschutz im Industriebau; Teil 2 Verzeichnis von Dächern, welche die Anforderungen nach DIN 18234-1 erfüllen; geschlossene Dachflächen" (Ersatz für Beiblatt 1).

PIR-Dämmstoffe ab einer Dicke von 80 mm und einem THR-Wert ≤ 7,5 MJ im SBI dürfen im Bereich von Dachdurchdringungen (z. B. Oberlichtern) bis zur Laibung verlegt werden. Die Eignung eines Dachaufbaus mit PIR-Dämmung wurde durch einen Brandversuch am Institut für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe nachgewiesen [15].

Bild 29 Brandversuch nach DIN 18234 an einem Industrieleichtdach mit PIR-Hartschaum-Dämmung.

Ein oft unterschätztes Risiko stellt das „Nachglimmen" von Dachbaustoffen in den Dachhohlräumen dar. Glimmbrände sind gefährlich, weil sie sich auch nach Erlöschen des offenen Feuers im Gebäude unbemerkt ausbreiten und zu einem Wiederaufflammen des Brandes führen können. Für Stahlleichtdächer sollten daher generell nicht glimmfähige Baustoffe verwendet werden. Laut einer Untersuchung der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg (FMPA), Otto-Graf-Institut, Stuttgart, glimmt Polyurethan-Hartschaum nicht nach und verhindert somit sowohl eine Ausbreitung des Brandherdes, als auch ein wiederholtes Ausbrechen des Brandes. [10 und 11]

4.12 Schalldämmung

Neben der Wärmedämmung von Bauteilen ist auch ein ausreichender Schallschutz von Bedeutung. Die schalltechnischen Eigenschaften von Baustoffen werden durch die Masse, die dynamische Steifigkeit und den Schallabsorptionsgrad bestimmt.

PUR-Hartschaum trägt selbst nur wenig zur Schalldämmung bzw. -reduktion bei. Durch entsprechende konstruktive Maßnahmen und fachlich richtige Ausbildung der Bauteile können mit einer PUR-Hartschaum-Dämmung die nach DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau" erforderlichen Schalldämm-Maße erreicht und übertroffen werden.

Direktschalldämmung und Schall-Längsdämmung von Steildächern mit PUR/PIR-Hartschaum

Für den Schutz gegen Außenlärm ist in erster Linie der Schalldurchgang durch die Außenbauteile („Direktschalldämmung") maßgebend. Aufsparrendämmsysteme aus PUR-Hartschaum haben in Abhängigkeit von der konstruktiven Ausbildung bewertete Luftschalldämm-Maße Rw,P zwischen 34 dB und 53 dB; sie erreichen damit für Leichtkonstruktionen gute Schalldämm-Werte.

Bei Wohnungstrennwänden in Dachgeschossen, bei Doppel- oder Reihenhäusern mit durchlaufenden Dachkonstruktionen wird der Schall nicht nur durch die Trennwand selbst, sondern auch über das flankierende Dach übertragen. Daher ist im Bereich des Trennwandkopfes besonders auf die Flankenschallübertragung zu achten.

Die Schalllängsdämmung von Dächern mit Polyurethan-Hartschaumdämmung beträgt je nach Konstruktion oberhalb der Trennwand zwischen 60 dB und 73 dB [12]. Damit können die Anforderungen an die Schallschutzstufen 1 bis 3 nach DIN 4109-10 erfüllt werden.

4.13 Abschirmung gegen Elektrosmog

Unter Elektrosmog versteht man die technisch verursachte elektromagnetische Strahlung in der Umwelt. Als wesentliche Strahlungsquellen gelten die allgemeine Elektrizitätsversorgung, das Stromnetz der Deutschen Bahn, Sendeeinrichtungen von Hörfunk und Fernsehen, Mobilfunksysteme sowie Mikrowellen-Geräte, wie sie im Haushalt eingesetzt werden.

Mit den gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Wellen befassen sich epidemiologische und experimentelle Studien. Von Interesse sind die durch elektromagnetische Wellen im menschlichen Körper hervorgerufene Wärmeeinwirkung und die damit eventuell verbundenen schädlichen physiologischen Veränderungen bzw. der Einfluss auf die Erregbarkeit der Zellmembranen.

Derzeit sind die Meinungen der Wissenschaftler über die möglichen Auswirkungen von elektromagnetischen Emissionen auf den menschlichen Organismus noch sehr unterschiedlich. Der gegenwärtige Wissensstand erlaubt es nicht, eine fundierte Aussage zu gesundheitlichen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern zu machen.

Vorsorglich sind in Deutschland in der Elektrosmog-V0 vom 1.1.1997 die Grenzwerte für elektromagnetische Emissionen festgeschrieben worden.

Elektrosmog und Polyurethan-Hartschaum

Es gibt nahezu keinen Ort auf der Erde ohne Elektrosmog. Die elektromagnetische Strahlung geht durch Dächer, Wände, Fenster und Türen. Die gebräuchlichen Baustoffe haben, je nach Materialart und Schichtdicke, sehr unterschiedliche Abschirmwirkungen. Dämmstoffe, wie Mineralwolle, EPS- und XPS-Hartschaum sowie Polyurethan-Hartschaum-Dämmplatten ohne Alu-Deckschichten, haben praktisch keine Schutzwirkung.

Einen wirksamen Schutz bieten allerdings Metalle, wie z.B. Kupfer und Aluminium. Nach einem Gutachten des Instituts für HF- und Radartechnik der Universität der Bundeswehr in München können PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten mit integrierten Deckschichten aus Aluminium, die zur Dämmung von Steildächern eingesetzt werden, nahezu die gesamte von außen durch das Dach kommende Strahlung abhalten.

5 Nachhaltiges Bauen mit Polyurethan-Hartschaum

Seit dem UNO-Klimagipfel in Rio de Janeiro 1992 ist die Bezeichnung „Nachhaltigkeit" in aller Munde. Den Begriff „Nachhaltigkeit" schlicht mit „Ökologie" zu erklären, greift zu kurz. Die Umsetzung des Nachhaltigkeitsprinzips bedeutet, dass ökologische, ökonomische und soziale Aspekte gleichermaßen beachtet werden. Im Vordergrund steht die ganzheitliche Vorgehensweise, bei der Umweltschutz, soziale Notwendigkeiten und zukunftsfähiges Wirtschaften gleichermaßen berücksichtigt werden.

5.1 Nachhaltiges Bauen

Nachhaltiges Bauen lässt sich nicht darauf reduzieren, einzelne Baustoffe ökologisch zu bewerten. Das Konzept der Nachhaltigkeit erfordert ein komplexes Vorgehen, das den gesamten Lebensweg eines Bauwerks und der dafür verwendeten Materialien umfasst. Folgende Aspekte sind zu berücksichtigen:

- Ökologische Ziele wie Ressourcenschonung, Energieeinsparung, CO_2-Reduktion und Recycling;
- Ökonomische Ziele wie Baukosten- und Betriebskostensenkung durch Anwendung von Bauprodukten mit entsprechender Leistungsqualität;
- Soziokulturelle Aspekte, Gesundheit und Behaglichkeit, d. h. Gebäude, in denen sich Menschen aufhalten, müssen den Bedürfnissen ihrer Nutzer entsprechen und ein hohes Maß an Wohlbefinden gewährleisten.

5.2 Energieverbrauch und Emissionsbegrenzung

Mehr als 40 % des gesamten Endenergieverbrauchs in der EU werden dem Gebäudebereich zugerechnet. Energievorräte sind jedoch nicht unendlich verfügbar. Die Steigerung der Energieeffizienz, d. h. Energieeinsparung und optimale Nutzung der Energie, ist die Voraussetzung, um die Schere zwischen endlichen Vorräten und steigendem Bedarf zu schließen.

Eng verknüpft mit dem Energieverbrauch ist die Emission von Treibhausgasen. Fossile Brennstoffe liefern Energie für die Beheizung und Kühlung von Gebäuden, für Transport und industrielle Prozesse. Der Anstieg der mittleren Oberflächentemperatur der Erde lässt sich auf die rapide Zunahme des Verbrennens fossiler Brennstoffe zurückführen. Mehr als 80% der gesamten Treibhausgasemissionen entfallen auf das Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2). CO_2-Emissionen tragen zum Treibhauseffekt und damit zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei. Im Protokoll von Kyoto über Klimaveränderungen verpflichten sich die Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft, ihre gesamten Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2008 bis 2012 um 8% gegenüber 1990 zu verringern. Durch verbesserte Energieeffizienz von Gebäuden könnten diese Ziele erreicht werden.

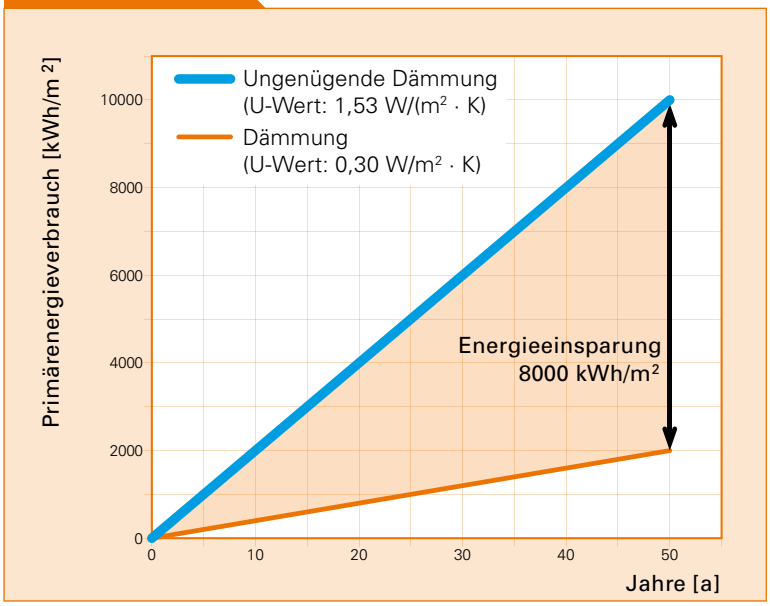
5.3 Lebenszyklus-Analyse von Polyurethan-Hartschaum und Energiebilanz

Neben guten bauphysikalischen Eigenschaften spielen bei der Auswahl von Dämmstoffen zunehmend ökologische Kriterien eine Rolle. Im Sinne einer Ökobilanz ist es wichtig, dass für die Bewertung des gesamten Lebenswegs eines Wärmedämmstoffes umfangreiche Daten über den Energie- und Rohstoffeinsatz, den Aufwand zur Verarbeitung sowie die Emissionen in Luft, Wasser und Boden (Abfälle) herangezogen werden. Für die Bewertung spielen die lange Nutzungsphase sowie eine ausreichende Lebensdauer der Materialien die entscheidende Rolle, da diese die ökologische Gesamtbilanz entscheidend verbessern.

Die Energiebilanz ist ein wichtiges Element der Lebenszyklus-Analyse. Diese vergleicht den Aufwand zur Herstellung der Produkte mit den Energiemengen, die sie während ihrer Lebensdauer einsparen. Untersuchungen haben ergeben, dass Wärmedämmprodukte aus Polyurethan-Hartschaum während ihrer Nutzungsphase von mindestens 50 Jahren ein Vielfaches an Energie einsparen, als sie bei ihrer Produktion benötigen. Der Energieaufwand für die Herstellung von PUR/PIR-Hartschaum amortisiert sich in aller Regel bereits nach der ersten Heizperiode.

Der Energieverbrauch zur Herstellung einer 1 m² großen und 80 mm dicken Polyurethan-Hartschaumplatte mit Alu-Deckschicht beträgt 100 kWh. Werden alukaschierte Polyurethan-Hartschaum-Dämmplatten in der Dicke 80 mm z.B. zur Verbesserung der Wärmedämmung eines Altbau-Steildaches eingesetzt, so können pro m² gedämmte Dachfläche jährlich 160 kWh und in 50 Jahren 8.000 kWh Energie eingespart werden. [13 und 14]

Bild 30 **Energieeinsparung durch Polyurethan-Hartschaum-Dämmung im Verlauf von 50 Jahren**



5.4 Stoffliche und energetische Verwertung von Polyurethan-Hartschaum

Wärmedämmprodukte aus Polyurethan-Hartschaum sind äußerst beständig und dauerhaft; ihre Lebenszeit entspricht daher im allgemeinen der Nutzungsdauer des Gebäudes. Nach dem Rückbau/Gebäudeabriss können PUR/PIR-Dämmstoffe grundsätzlich einer zweiten Nutzung zugeführt werden.

Saubere und unbeschädigte PUR/PIR- Dämmplatten können z.B. zur Dämmung der obersten Geschossdecke wieder verwendet werden.

Unverschmutzte PUR/PIR-Hartschaumabfälle können auch zerkleinert und zu Klebepressplatten (vergleichbar mit Spanplatten) verarbeitet werden. Diese setzt man zu speziellen Zwecken, wie z.B. in Fußbodenaufbauten ein.

Wenn die Zusammensetzung der Abfälle bekannt ist und keine Verunreinigungen enthalten sind, ist die Rückgewinnung einer Rohstoffkomponente durch Glykolyse möglich.

PUR/PIR-Hartschaumabfälle mit Verunreinigungen und Anhaftungen anderer Baustoffe können zusammen mit Abfällen aus Haushalten in thermischen Abfallbehandlungsanlagen ohne zusätzliche Umweltbelastung verbrannt werden. Hierbei wird die im Dämmstoff enthaltene Energie in Primärenergie umgewandelt.

Polyurethan-Hartschaum spart in zweifacher Hinsicht: Bei einer nachträglichen Dämmung mit PUR/PIR-Hartschaum, spart man bis zu 30% Heizkosten und das mindestens 50 Jahre lang. Nach seinem Dämmdienst spart PUR/PIR-Hartschaum ein zweites Mal, nämlich den Einsatz von neuer Energie (Öl oder Gas) in thermischen Abfallbehandlungsanlagen. Das nützt der Umwelt und letztendlich allen: Menschen, Pflanzen und Tiere.

Tabelle 14 **Stoffliche und energetische Verwertung von PUR/PIR-Hartschaum-Abfällen**

Produktions-Abfälle	**Bau-Abfälle**	**Bau-Abfälle aus Rückbau / Gebäudeabriss**	
sauber	sauber	sauber	verunreinigt
Stoffliche Verwertung			**Energetische Verwertung**
Glykolyse	Klebepressen	Wiederverwertung	Thermische Abfallbehandlungsanlage
Rohstoff	Pressplatte	z.B. Dämmplatte für oberste Geschossdecke	Energiegewinnung

6 Qualitätssicherung und Produktzertifizierung

Die Qualität eines Dämmstoffes ergibt sich aus seinem Leistungsniveau und der Sicherheit, dass die erforderliche Leistung auch erbracht wird. Die Qualitätssicherung von Wärmedämmstoffen aus Polyurethan-Hartschaum gewährleistet dem Anwender, dass die Produktqualität stimmt und in regelmäßigen Abständen überprüft wird.

Die Anforderungen an die Leistung von Polyurethan-Hartschaum-Dämmprodukten werden bestimmt durch

- die harmonisierte europäische Produktnorm DIN EN 13165,
- die nationalen Verwendungsnormen: Anwendungsnorm DIN V 4108-10 und Bemessungsnorm DIN V 4108-4,
- die jeweilige Landesbauordnung und die technischen Regeln in den Bauregellisten und
- die Kundenanforderungen.

6.1 PUR/PIR-Qualitätssicherung: Freiwillige Produktzertifizierung mit regelmäßiger Fremdüberwachung

Die Überwachungsgemeinschaft Polyurethan-Hartschaum e. V. (ÜGPU) ist eine bauaufsichtlich anerkannte Zertifizierungsstelle, die Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) ausstellt und das ÜGPU-Qualitätszeichen vergibt. Die ÜGPU ist verantwortlich für das Verfahren und die Durchführung der Zertifizierung von Wärmedämmstoffen aus Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR).

Die hervorragende Qualität dieser Dämmstoffe wird durch die werkseigene Produktionskontrolle in Verbindung mit einer Fremdüberwachung, die regelmäßige Produktprüfungen einschließt, sichergestellt. Bauaufsichtlich anerkannte und unabhängige Prüf- und Überwachungsstellen führen die Fremdüberwachung durch. Wärmedämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum tragen ein ÜGPU-Qualitätszeichen in Verbindung mit dem Ü-Zeichen. Dadurch wird die Konformität mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung garantiert.

6.2 Kennzeichnung von PUR/PIR-Hartschaum Wärmedämmstoffen

Jeder Dämmstoff, für den eine europäische Produktnorm gültig ist, muss – unabhängig vom Herkunftsland – die CE-Kennzeichnung tragen. Die Kennzeichnung befindet sich entweder auf dem Produkt, dem Etikett oder der Verpackung. Produkte, für die es keine Produktnormen gibt, benötigen nach wie vor eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (ABZ) oder eine europäische technische Zulasssung (ETA).

6.2.1 CE-Kennzeichnung

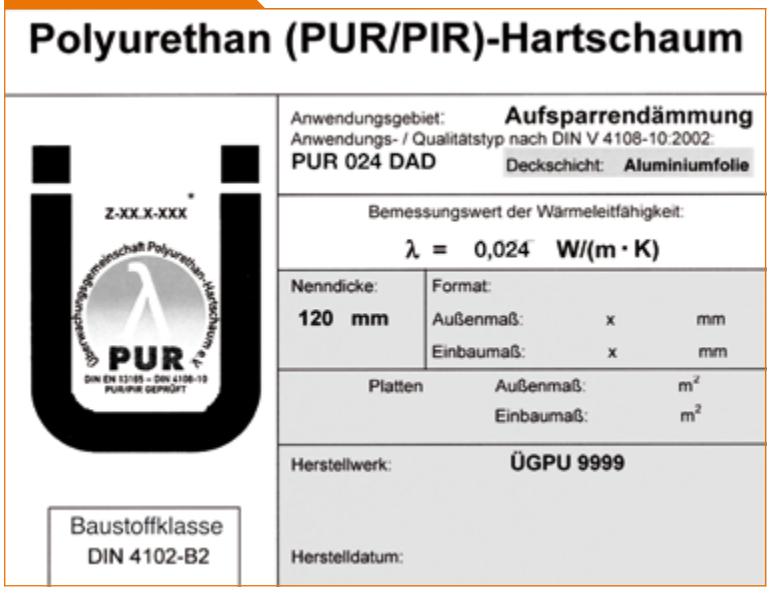
Zur CE-Kennzeichnung gehören:

- das CE-Konformitätszeichen (bestehend aus den Buchstaben CE),
- Angaben zu Hersteller (Adresse) und Herstellung (Herstellungsjahr),
- Verschlüsselte Angaben zu bestimmten Produkteigenschaften,
- Übereinstimmungserklärung des Herstellers.

Die CE-Kennzeichnung ist eine Art „technischer Reisepass“. Mit dem CE-Kennzeichen können Dämmprodukte innerhalb des EU-Binnenmarktes gehandelt werden. Das Dämmprodukt erfüllt bestimmte Mindestanforderungen für die allgemeine Gebrauchstauglichkeit „Wärmedämmung von Gebäuden“. Für die Anbringung der CE-Kennzeichnung ist der Hersteller verantwortlich. Fehlt die CE-Kennzeichnung oder fehlen die Angaben zu den vorgeschriebenen Produkteigenschaften, darf das Produkt nicht in den Verkehr gebracht werden.

Das CE-Kennzeichen ist jedoch kein Qualitätszeichen und beinhaltet keine regelmäßige Fremdüberwachung. Es bietet auch keine Gewähr dafür, dass der Wärmedämmstoff nach der jeweiligen Landesbau-ordnung eingesetzt werden darf.

Bild 31 **Musteretikett eines Dämmstoffes aus Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR)**



Die grau hinterlegten Angaben können entweder auf dem CE-Label oder auf dem ÜGPU-Etikett aufgeführt werden!

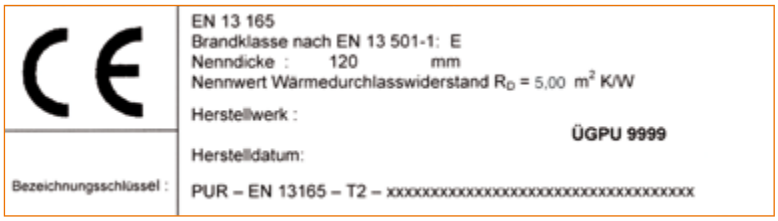


Bild 32 **Qualitätszeichen der Überwachungsgemeinschaft Polyurethan-Hartschaum (ÜGPU)**

6.2.2 Ü-Zeichen und ÜGPU-Qualitätszeichen

Dämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum für die Anwendung im Hochbau haben eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung und tragen deshalb das Übereinstimmungszeichen. Dieses Ü-Zeichen wird einschließlich zusätzlicher Angaben (Hersteller, Werk, Nummer der bauaufsichtlichen Zulassung, Bildzeichen der Zertifizierungsstelle) auf dem Dämmprodukt, dem Beipackzettel oder der Verpackung angebracht. Im Rahmen dieser Kennzeichnung werden der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit, der Anwendungstyp nach DIN V 4108-10 sowie die Kennzeichnung für den Verwendungszweck und die Baustoffklasse nach DIN 4102 angegeben.

Produkte aus PUR/PIR-Hartschaum, die mit dem ÜGPU-Qualitätszeichen gekennzeichnet sind, haben einen hohen Qualitätsstandard und sind für die vorgesehene Anwendung optimal geeignet. Die Hersteller haben sich freiwillig verpflichtet, strenge Qualitätsanforderungen einzuhalten und sich durch ein unabhängiges, staatlich anerkanntes Prüfinstitut überwachen zu lassen. Eine eindeutige Kennzeichnung der PUR/PIR-Hartschaum Wärmedämmstoffe mit PUR/PIR-Qualitätstypen erleichtert die Auswahl und gibt dem Verarbeiter Sicherheit, dass das Produkt alle für den Einsatzbereich notwendigen Anforderungen erfüllt. Die Verarbeitung durch den Fachmann garantiert zudem optimalen Wärmeschutz bei geringen Dämmstoffdicken, Behaglichkeit und gesundes Raumklima sowie Heizkostenersparnis.

7 Anhang

7.1 Planungshilfen und Technische Informationen

Der IVPU bietet Planungshilfen und technische Informationen an, die ausführlich über den Einsatz und die Eignung von Polyurethan-Hartschaum als Wärmedämmung in verschiedenen Anwendungsgebieten informieren:

Planungshilfen

- Steildach
- Flachdach
- Fußboden und Decke
- Wand

Aus Forschung und Technik

- Zeitstand-Druckverhalten von PUR/PIR-Hartschaum
- Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für feuerhemmende Steildachkonstruktionen mit einer Aufsparrendämmung aus PUR/PIR-Hartschaum – Feuerwiderstandsklasse REI 30
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Luft- und Winddichtheit im Steildach
- Steildachdämmung und Schallschutz mit Polyurethan-Hartschaum

Die Planungshilfen und die Schriften der Reihe „Aus Forschung und Technik“ sind auf der Polyurethan-Website www.daemmt-besser.de veröffentlicht.

Weitere Informationen und Konstruktionshilfen (Ausschreibungstexte, wärmedämmtechnische Berechnungen, Preis- und Lieferangaben) sind bei den IVPU-Mitgliedsfirmen erhältlich. Das aktuelle Mitgliederverzeichnis kann von der IVPU-Website abgerufen werden.

7.2 Normen, Verordnungen und Richtlinien

Bei der Anwendung von Polyurethan-Hartschaum zur Wärmedämmung von Gebäuden sind eine Reihe von bautechnischen und bauphysikalischen Anforderungen aus vorgegebenen Normen und fachtechnischen Regeln in der jeweils gültigen Fassung zu beachten:

Anforderungsnormen

DIN 4102-1: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

DIN 4102-2: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
Teil 2: Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

DIN 4102-7: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
Teil 7: Bedachungen ; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

DIN 4108-1: Wärmeschutz im Hochbau; Größen und Einheiten

DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte

DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärmeunddes Jahresheizenergiebedarfs

DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele

DIN V 4108-10: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe
Teil 10: Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe

DIN 4109: Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise
Beiblatt 1: Schallschutz im Hochbau; Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren

DIN 18230-1: Baulicher Brandschutz im Industriebau
Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer

DIN 18234: Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer
Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; geschlossene Dachflächen;
Teil 2: Verzeichnis von Dächern, welche die Anforderungen nach DIN 18234-1 erfüllen; geschlossene Dachflächen;
Teil 3: Begriffe, Anforderungen und Prüfungen; Durchdringungen, Anschlüsse und Abschlüsse von Dachflächen;
Teil 4: Verzeichnis von Durchdringungen, Anschlüsse und Abschlüsse von Dachflächen, welche die Anforderungen nach DIN 18234-3 erfüllen

DIN EN 13165: Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan–Hartschaum (PUR) – Spezifikation

DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

DIN EN ISO 7345: Wärmeschutz; Physikalische Größen und Definitionen

DIN EN 13172: Wärmedämmstoffe; Konformitätsbewertung

DIN EN 13501-1: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten

DIN EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von »Lüftungsanlagen«.

DIN EN ISO 11925-2: Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
Teil 2: Entzündbarkeit bei direkter Flammeneinwirkung

Prüfnormen

Länge und Breite	EN 822
Dicke	EN 823
Rechtwinkligkeit	EN 824
Ebenheit	EN 825
Verhalten bei Druckbeanspruchung	EN 826
Wärmeleitfähigkeit/ Wärmedurchlass-widerstand	EN 12667 oder EN 12939
Bestimmung der Rohdichte	EN 1602
Dimensionsstabilität bei definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen	EN 1604
Verformung bei definierter Druck- und Temperatur-beanspruchung	EN 1605
Langzeit-Kriechverhalten bei Druckbeanspruchung	EN 1606
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	EN 1607
Zugfestigkeit in Plattenebene	EN 1608
Verhalten bei Biegebeanspruchung	EN 12089
Verhalten bei Scherbeanspruchung	EN 12090
Wasserdampfdurch-lässigkeit	EN 12086
Wasseraufnahme bei langzeitigem Eintauchen	EN 12087
Wasseraufnahme durch Diffusion	EN 12088
Verhalten bei Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung	EN 12091
Geschlossenzelligkeit	ISO 4590

Verordnungen und Richtlinien

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007; in Kraft getreten am 1. Oktober 2007.

Technische Regeln für Bauprodukte und Bauarten, aufgestellt in den Bauregellisten A, B und C vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt); jährliche Überarbeitung.

„Technische Baubestimmungen“, herausgegeben von den für das Bauwesen zuständigen Ministerien der Bundesländer (Landesbauordnungen).

Richtlinien für die Planung und Ausführung von Dächern mit Dachabdichtungen – Flachdachrichtlinien; aufgestellt und herausgegeben vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V. (ZVDH), Köln.

Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Industriebaurichtlinie – IndBauR).

7.3 Verzeichnis der Bilder

Bild 1 Polyurethan – Ein Werkstoff mit vielen Gesichtern
Quelle: Bayer MaterialScience AG

Bild 2 Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffe (PUR/PIR)
Quelle: IVPU

Bild 3 Vier Phasen der Aufschäumung von Polyurethan-Hartschaum in einem Meßbecher
Quelle: Elastogran GmbH

Bild 4 Kontinuierliche Herstellung von Dämmplatten aus PolyurethanHartschaum mit flexiblen Deckschichten
Quelle: GALILEO

Bild 5 Dämmplatten aus Polyurethan-Hartschaum
a) mit Aluminiumfolien-Deckschicht
b) mit anderen Deckschichten
Quelle: puren gmbh

Bild 6 Kontinuierliche Herstellung von Blockschaum
Quelle: GALILEO

Bild 7 Diskontinuierliche Herstellung von Blockschaum
Quelle: GALILEO

Bild 8 Blockschaum-Dämmplatten Attika-Keile und Rohrdämmschalen aus Polyurethan-Blockschaum
Quelle: Bayer MaterialScience AG

Bild 9 Kontinuierliche Herstellung von Sandwichelementen mit profilierten metallischen Deckschichten auf der Doppel bandanlage
Quelle: GALILEO

Bild 10 Polyurethan-Sandwichelemente
Quelle: Bayer MaterialScience AG

Bild 11 Steildach: Aufsparrendämmung mit Polyurethan-Hartschaum
Quelle: IVPU / Linzmeier Bauelemente GmbH

Bild 12 Flachdach-Dämmung mit Polyurethan-Hartschaum
Quelle: IVPU / RECTICEL Dämmsysteme

Bild 13 Industriebau: Dämmung von leichten Dach- und Wandkonstruktionen mit vorgefertigten Polyurethan-Sandwichelementen
Quelle: IVPU / Bayer MaterialScience

Bild 14 Dämmung von landwirtschaftlichen Gebäuden mit Polyurethan-Hartschaum
Quelle: IVPU / Privat

Bild 15 Fußbodendämmung mit Polyurethan-Hartschaum
Quelle: IVPU / RECTICEL Dämmsysteme

Bild 16 Dämmung einer zweischaligen Außenwand
Quelle: IVPU / RECTICEL Dämmsysteme

Bild 17 Perimeterdämmung mit Polyurethan-Hartschaum
Quelle: IVPU / KARL BACHL GmbH & Co KG

Bild 18 Anstieg der Wärmeleitfähigkeit von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen in den ersten 10 Jahren nach der Herstellung
Quelle: IVPU/FIW

Bild 19 Zellstruktur von Polyurethan-Hartschaum
Quelle: IVPU

Bild 20 Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10% Stauchung
Quelle: Bayer MaterialScience AG

Bild 21 Zeitstand-Druckkurven von Polyurethan-Hartschaum
Quelle: IVPU/BASF

Bild 22 Wasseraufnahme von Polyurethan-Hartschaum nach 28-tägiger Unterwasserlagerung
Quelle: IVPU/FIW

Bild 23 Thermisches Ausdehnungsverhalten von unkaschiertem PUR/PIR-Hartschaum
Quelle: FIW

Bild 24 Laborversuch: Vergleich der Innentemperaturverläufe bei PUR/PIR-Hartschaum und Holzfaser-Dämmstoff
Quelle: IVPU/FIW

7.3 Verzeichnis der Bilder

Bild 25 Außentemperatur und Raumlufttemperatur am heißesten Tag einer heißen Sommerwoche – ohne Sonnenschutz
Quelle: FIW

Bild 26 Außentemperatur und Raumlufttemperatur am heißesten Tag einer heißen Sommerwoche – mit Sonnenschutz
Quelle: FIW

Bild 27 Temperaturbeständigkeit von PUR/PIR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen
Quelle: IVPU

Bild 28 Die leichten PIR-Hartschaum-Dämmplatten können einfach, schnell und kostengünstig verlegt werden.
Quelle: IVPU

Bild 29 Brandversuch nach DIN 18234 an einem Industrieleichtdach mit PIR-Hartschaum-Dämmung.
Quelle: IVPU

Bild 30 Energieeinsparung durch Polyurethan-Hartschaum-Dämmung im Verlauf von 50 Jahren
Quelle: IVPU

Bild 31 Musteretikett eines Dämmstoffes aus Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR)
Quelle: ÜGPU

Bild 32 Qualitätszeichen der Überwachungsgemeinschaft Polyurethan-Hartschaum e.V. (ÜGPU)
Quelle: ÜGPU

7.4 Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1 Anwendungen und Herstellungsmöglichkeiten von Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffen

Tab. 2 Anwendungsgebiete von Wärmedämmungen nach DIN V 4108-10 (Auszug)

Tab. 3 Mindestanforderungen an PUR/PIR-Hartschaum nach DIN V 4108-10 und DIN EN 13165 für die Anwendungsgebiete Dach, Fußboden und Decke (Auszug)

Tab. 4 Bedeutung der Kurzzeichen nach DIN V 4108-10 (Auszug) für das Anwendungsgebiet Flachdach

Tab. 5 Wärmeleitfähigkeitsstufen von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmplatten

Tab. 6 Wärmeleitfähigkeitsstufen und Bemessungswerte von PUR/PIR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen

Tab. 7 Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10% Stauchung von PUR/PIR-Hartschaum-Dämmstoffen in druckbelasteten Anwendungen

Tab. 8 Kurzzeitige Druckfestigkeit σ_m oder die Druckspannung bei 10% Stauchung σ_{10} und zulässige Dauerdruckspannung σ_c von Polyurethan-Hartschaum

Tab. 9 Mindestanforderungen an die Dimensionsstabilität von PUR/PIR-Hartschaum

Tab. 10 Rechenwerte der spezifischen Wärmekapazität c_p verschiedener Stoffe

Tab. 11 Chemische Beständigkeit von PUR/PIR-Hartschaum

Tab. 12 Zuordnung der europäischen Klassen zu den bauaufsichtlichen Benennungen nach Bauregelliste A Teil 1 (2003/1) Anlage 0.2.2

Tab.13a PUR/PIR-Steildachkonstruktionen der Feuerwiderstandsklasse REI 30 mit Dachdeckung aus Metall, Schiefer, Holzschindel, Dachbitumenbahnen oder Faserzementplatten

Tab.13b PUR/PIR-Steildachkonstruktionen der Feuerwiderstandsklasse REI 30 mit Dachdeckung aus Ziegel, Dachsteinen, Faserzementplatten oder profilierten Metalleindeckungen

Tab. 14 Stoffliche und energetische Verwertung von PUR/PIR-Hartschaum-Abfällen

Tab. 15 Übersicht der technischen und physikalischen Eigen schaften von Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR)

7.5 Literatur

[1] Koschade, R., Die Sandwichbauweise, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2000

[2] Albrecht, W., Cell-Gas Composition – An Important Factor in the Evaluation of Long-Term Thermal Conductivity in Closed-Cell Foamed Plastics In: Cellular Polymers, Vol. 19, No. 5, 2000

[3] Prüfbericht Nr. F.2-421, 462, 630, 731, 840/98, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW München), 1998

[4] Albrecht, W., Änderung der Wärmeleitfähigkeit von 10 Jahre alten PUR-Hartschaumplatten mit gasdiffusionsoffenen Deckschichten, Bauphysik 25, Heft 5, 2003

[5] IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Aus Forschung und Technik, Nr. 2: Zeitstand-Druckverhalten von PUR-Hartschaum, 2002

[6] Untersuchungsbericht „Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau“, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW München), 2000

[7] Prüfzeugnis Nr. P-MPA-E-04-25, MPA NRW Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Außenstelle Erwitte, 2008

[8] IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Aus Forschung und Technik, Nr. 5: Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für feuerhemmende Steildachkonstruktionen mit einer Aufsparrendämmung aus Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR) – Feuerwiderstandsklasse REI 30, 2008

[9] Prüfbericht 16-27375, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart, Otto-Graf-Institut), 1998

[10] Jagfeld, P., Schwel- und Glimmbrandrisiken von Dämmstoffen im Flachdach, Stuttgart, 1998

[11] Hildebrand, Ch., Brandverhalten von Stahltrapezdächern mit Polyurethan-Hartschaum-Dämmung; IVPU Nachrichten Nr. 51, Stuttgart, 1996

[12] Kurz u. Fischer, Bericht 3346: Schall-Längsdämmung von mit PUR-Hartschaum gedämmten Steildachkonstruktionen, Winnenden 2001;

[13] IVPU, Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Ökobilanz von PUR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen – Energieverbrauch und Energieeinsparung, Stuttgart, 2002

[14] IVPU, Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Hrsg.), Wärmeschutz im Altbau – Energetische Modernisierung mit PUR-Hartschaum nach Energieeinsparverordnung (EnEV), Stuttgart, 2002

[15] Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (Hrsg.), PIR-Dämmplatten für die Verwendung bei mittleren Durchdringungen in Dächern nach DIN 18234 (Kurzfassung), Karlsruhe 2007

[16] Fröba et al., International Journal of Thermophysics, Boulder, Colorado, 2003

[17] Marhold et al., Blowing Agents and Foaming Processes, Rapra, 2007

8 Übersicht der technischen und physikalischen Eigenschaften von Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR)

Tabelle 15 **Übersicht der technischen und physikalischen Tabelle 16: Eigenschaften von Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR)**

Eigenschaft	Norm/ Vorschrift	Einheit	Stufen/ Klassen nach DIN EN 13165	Dach/Decke				Boden/Decke
				Dämmung				
				auf d. Sparren	zwischen den Sparren; oberste begehbare Geschossdecke	unterd. Sparren; Sparren; oberste Geschossdecke u. Kellerdecke unterseitig	Flachdach	Dämmung Fußboden; oberste begehbare Geschossdecke
PUR/PIR-Qualitätstyp	DIN V 4108-10	–	–	PUR/PIR 024 DAD PUR/PIR 028 DAD	PUR/PIR 024 DZ PUR/PIR 028 DZ PUR/PIR 030 DZ	PUR/PIR 024 DI PUR/PIR 028 DI PUR/PIR 030 DI	PUR/PIR 024 DAA (dh, ds) PUR/PIR 028 DAA (dh, ds) PUR/PIR 030 DAA (dh, ds)	PUR/PIR 024 DEO (dh, ds) PUR/PIR 025 DEO (dh, ds) PUR/PIR 028 DEO (dh, ds) PUR/PIR 030 DEO (dh, ds)
Wärmeleitfähigkeit λ	Nach allgem. bauaufsichtlicher Zulassung	W/(m·K)	–	0,024 0,028	0,024 0,028 0,030	0,024 0,028 0,030	0,024 0,028 0,030	0,024 0,025 0,028 0,030
Wärmedurchlasswiderstand	DIN R EN 13165	$(m^2 \cdot K)/W$	–	nach Herstellerangabe				
Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10% Stauchung	EN 826	kPa	CS(10/Y)i	≥ 100			≥ 100 (dh) bzw. ≥ 150 (ds)	
Zulässige Dauer-Druckbelastung über 20 Jahre; bei Stauchung ≤ 2%	EN 1606	kPa	$CC(i_1/i_2/20)\sigma_c$	20			20 (dh) bzw. 30 (ds)	
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	EN 1607	kPa	TRi	40 – 100 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 40 – 900 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
E-Modul aus Zugversuch	EN 1607	MPa	–	6 – 9 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 8 – 32 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
Scherfestigkeit	EN 12090	kPa	–	80 – 120 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 120 – 450 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
Biegefestigkeit	EN 12089	kPa	–	250 – 500 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 250 – 1300 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
Dimensionsstabilität bei definierten Temperatur und Feuchtebedingungen	EN 1604	%	DS(TH)2	Mindestanforderungen in der Wärme: Länge und Breite ≤ 5; Dicke ≤ 10 und in der Kälte: Länge und Breite ≤ 1; Dicke ≤ 2 werden erfüllt.				
Wärmeausdehnungskoeffizient	Anlehnung an DIN 1604	–	–	PUR-Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten: $3 - 7 \cdot 10^{-5} \cdot K^{-1}$ PUR-Dämmplatten ohne Deckschichten: $5 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot K^{-1}$				
Verformung unter Druck- und Temperaturbelastung	EN 1605	%	DLT(i)5	keine Anforderung				
Geschlossenzelligkeit	ISO 4590	Vol.-%	–	> 90				
Brandverhalten	DIN 4102	–	–	B 1 (schwerentflammbar) B 2 (normalentflammbar)				
Spezifische Wärmekapazität	EN 12524	J/(kg·K)	–	1400				
Ebenheit nach einseitiger Befeuchtung	EN 825	FWi	mm	keine Anforderung				
Wasseraufnahme nach 28-tägiger Unterwasserlagerung	EN 12087	Vol.-%	WL(T)i	1,0 bis 2,5				
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	EN 12086		Mui	40 – 200[1] dickenabhängig				
Temperaturbeständigkeit	–	°C	–	–30 bis +90[2] kurzzeitig heißbitumenbeständig bis +250				

[1] Polyurethan-Hartschaum-Dämmelemente mit Alu-Deckschichten sind nahezu dampfdiffusionsdicht
[2] Mit Spezialprodukten aus Polyurethan-Hartschaum sind tiefere bzw. höhere Temperaturbelastungen möglich.

Eigenschaft	Norm/ Vorschrift	Einheit	Stufen/ Klassen nach DIN EN 13165	Wand			Perimeter	
				Dämmung			Dämmung	
				Wand außen	zweischalige Außenwände	Wand innen	Wand	unter Bodenplatte
PUR/PIR-Qualitätstyp	DIN V 4108-10	–	–	PUR/PIR 024 WAB PUR/PIR 028 WAB PUR/PIR 030 WAB PUR/PIR 024 WAA PUR/PIR 028 WAA PUR/PIR 030 WAA PUR/PIR 028 WAP PUR/PIR 030 WAP	PUR/PIR 024 WZ PUR/PIR 028 WZ PUR/PIR 030 WZ	PUR/PIR 024 WI PUR/PIR 028 WI PUR/PIR 030 WI	PUR/PIR 030 PW	PUR/PIR 030 PB
Wärmeleitfähigkeit λ	Nach allgem. bauauf-sichtlicher Zulassung	W/(m·K)	–	0,024 0,028 0,030	0,024 0,028 0,030	0,024 0,028 0,030	0,030	0,030
Wärmedurchlass-widerstand R	DIN EN 13165	$(m^2 \cdot K)/W$	–	nach Herstellerangabe				
Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10% Stauchung	EN 826	kPa	CS(10/Y)i	≥ 100			≥ 150	
Zulässige Dauer-Druckbelastung über 20 Jahre; bei Stauchung ≤ 2%	EN 1606	kPa	$CC(i_1/i_2/20)\sigma_c$	20			30	
Zugfestigkeit senk-recht zur Plattenebene	EN 1607	kPa	TRi	40 – 100 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 40 – 900 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
E-Modul aus Zugversuch	EN 1607	MPa	–	6 – 9 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 8 – 32 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
Scherfestigkeit	EN 12090	kPa	–	80 – 120 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 120 – 450 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
Biegefestigkeit	EN 12089	kPa	–	250 – 500 (bei Rohdichten von 30 bis 40 kg/m³) 250 – 1300 (bei Rohdichten von 30 bis 80 kg/m³)				
Dimensionsstabilität bei definierten Tem-peratur und Feuchte-bedingungen	EN 1604	%	DS(TH)2	Mindestanforderungen in der Wärme: Länge und Breite ≤ 5; Dicke ≤ 10 und in der Kälte: Länge und Breite ≤ 1; Dicke ≤ 2 werden erfüllt.				
Wärmedehnungs-koeffizient an	Anlehnung DIN 1604	–	–	PUR-Dämmplatten mit flexiblen Deckschichten: $3 - 7 \cdot 10^{-5} \cdot K^{-1}$ PUR-Dämmplatten ohne Deckschichten: $5 - 8 \cdot 10^{-5} \cdot K^{-1}$				
Verformung unter Druck- und Tem-peraturbelastung	EN 1605	%	DLT(i)5	keine Anforderung				
Geschlossen-zelligkeit	ISO 4590	Vol.-%	–	> 90				
Brandverhalten	DIN 4102	–	–	B 1 (schwerentflammbar) B 2 (normalentflammbar)				
Spezifische Wärmekapazität	EN 12524	J/(kg·K)	–	1400				
Ebenheit nach ein-seitiger Befeuchtung	EN 825	FWi	mm	keine Anforderung				
Wasseraufnahme nach 28-tägiger Unterwasserlagerung	EN 12087	Vol.-%	WL(T)i	1,0 bis 2,5				
Wasserdampf-Diffu-sionswiderstandszahl	EN 12086	Mui		40 – 200[1] dickenabhängig				
Temperatur-beständigkeit	–	°C	–	–30 bis +90[2] kurzzeitig heißbitumenbeständig bis +250				

[1] Polyurethan-Hartschaum-Dämmelemente mit Alu-Deckschichten sind nahezu dampfdiffusionsdicht
[2] Mit Spezialprodukten aus Polyurethan-Hartschaum sind tiefere bzw. höhere Temperaturbelastungen möglich.

Polyurethan dämmt besser®

IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V.
Im Kaisemer 5 • 70191 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711 29 17 16 • Telefax +49 (0) 711 29 49 02
ivpu@ivpu.de • www.daemmt-besser.de

Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR) Dämmstoffhersteller

KARL BACHL GmbH & Co KG
Kunststoffverarbeitung
Osterbachtal 1
94133 Röhrnbach
www.bachl.de

Paul Bauder GmbH & Co. KG
Korntaler Landstr. 63
70499 Stuttgart
www.bauder.de

EcoTherm Deutschland
GmbH & Co. KG
Fuggerstrasse 15
49479 Ibbenbüren
www.ecotherm-deutschland.com

Linzmeier Bauelemente GmbH
Postfach 12 63
88492 Riedlingen
www.linzmeier.de

puren gmbh
Rengoldshauser Str. 4
88662 Überlingen
www.puren.com

Recticel Dämmsysteme GmbH
Hagenauer Str. 42
65203 Wiesbaden
www.recticel.de

Rohstoffhersteller

Bayer MaterialScience AG
www.bayermaterialscience.de

C.O.I.M. S.p.A.
Chimica Organica Industriale Milanese
www.coimgroup.com

Elastogran GmbH
European Business Management Insulation
www.elastogran.de

Huntsman (Germany) GmbH
www.huntsman.com

Momentive Performance Materials (Suisse) Sarl
www.momentive.com

Solvay Fluor GmbH
www.solvay-fluor.com

ISBN 3-932500-28-8

IVPU/11.08/3.A.