

Reihe I:  
Allgemeine Fragen des Wärme- und Kälteschutzes

# Dämmen mit Hartschaum- Kunststoffen

Beitrag aus „Bauen mit Kunststoffen 2002“

Dr. rer. nat. Roland Gellert

Sonderdruck aus  
**Bauen mit Kunststoffen 2002**  
Verlag Ernst & Sohn, Berlin  
Herausgegeben von IBK Darmstadt





---

# Inhalt

## D1 Dämmen mit Hartschaum-Kunststoffen

Dr. rer. nat. Roland Gellert, München

- 1 Wohnungsbau-Markt 161
- 1.1 Übersicht und Problemstellung 161
- 1.2 Wärmeschutz im Hochbau 162
- 2 Hartschaum-Kunststoffe für die Wärmedämmung 163
- 2.1 Marktübersicht 163
- 2.2 Genormte Hartschaum-Kunststoffe 165
  - 2.2.1 Nationales Regelwerk 165
  - 2.2.2 Das neue europäische Regelwerk 166
  - 2.2.3 Eigenschaften 167
  - 2.2.4 Qualitätssicherung und Güteschutz 168
- 2.3 Hartschaum-Kunststoffe mit allgemeiner bauaufsichtlicher Regelung 169
- 2.4 Gesundheits- und Umweltaspekte 175
- 2.5 Produktweiterentwicklungen 176
- 3 Anwendungsbereiche im Hochbau 177
  - 3.1 Erdberührte Bauteile 177
  - 3.2 Außenwände 178
    - 3.2.1 Außenliegende Wärmedämmung 178
    - 3.2.2 Zweischaliges Mauerwerk 192
    - 3.2.3 Innendämmung 193
  - 3.3 Decken 196
    - 3.3.1 Wohnungstrenndecken 196
    - 3.3.2 Kellerdecken und Böden 198
  - 3.4 Dach 199
    - 3.4.1 Geneigtes Dach 199
    - 3.4.2 Flachdach 200
  - 3.5 Sonderanwendung: Rohrdämmstoffe für Heizungsanlagen 211
- 4 Literatur 214
  - 4.1 Normenhinweise 214
  - 4.2 Literaturhinweise 215



## D1 Dämmen mit Hartschaum-Kunststoffen

Dr. rer. nat. Roland Gellert, München

### 1 Wohnungsbau-Markt

#### 1.1 Übersicht und Problemstellung

Ein (volkswirtschaftlich) sehr wichtiges Marktsegment ist der Wohnungsbau (Bild 1). Er nimmt in Westeuropa seit 1998 wieder zu – forciert durch den Zuwachs bei der Erneuerung von Altbauten.

Speziell in Deutschland ist der wiedervereinigungsbedingte Boom Mitte der neunziger Jahre des 20. Jh. abgeflacht: einer fast stagnierenden Neubautätigkeit steht ein Anwachsen der Altbausanierungstätigkeiten gegenüber. Einem Genehmigungsvolumen von weniger als 400 000 neuen Wohnungen/Jahr steht ein Bestand von 36,5 Mio. Wohnungen gegenüber – ein riesiges Potential für Sanierungsmaßnahmen, aber auch eine große Herausforderung, *nachträglich* Energiesparmaßnahmen und Wohn(ungs)qualität zu implementieren [1].

Die Divergenz der Herausforderungen (z. B. bei Flächenverbrauch, Abfall und Kosten-Nutzen-Betrachtungen) wurde auch auf der EXPO 2000 in Hannover unter dem Stichwort „Bauen und Wohnen“ verdeutlicht:

- einerseits der Wunsch nach einer größeren Wohnfläche pro Person (22 m<sup>2</sup> in den sechziger Jahren; heute: ca. 40 m<sup>2</sup>), andererseits der (staatliche) Wunsch nach Begrenzung des Flächenverbrauches (bei einer weiteren ungebremsten Entwicklung würde in 20 Jahren über den gegenwärtigen Stand hinaus bereits 25 % zusätzliche Fläche besiedelt sein)
- einerseits Reduzierung der Abfallmengen (der Bausektor verursacht die größten Abfallmengen in Deutschland), andererseits wird eine Steigerung der Abfallmengen – insbesondere der Sonderabfallmengen – durch Rückbau/Sanierung von belasteten Altbauten (PCB-haltige Dichtstoffe oder Asbest) erwartet
- einerseits verlangt der Mieter bei gestiegenen Anforderungen an den Wohnkomfort eine „bezahlbare“ Miete – inkl. Nebenkosten,

andererseits soll durch den Eigentümer über entsprechende Energiesparmaßnahmen, z. B. Wärmedämmung, ein Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Umweltschutz erbracht werden.

Zur Optimierung neuer und alter Gebäude werden deshalb innovative Komponenten und Baustoffe – insbesondere Wärmedämmstoffe – benötigt, die sowohl ökologischen Kriterien genügen, die aber gleichzeitig wirtschaftlich herstellbar und verarbeitbar sind.

Der „makroskopische“ Handlungsbedarf ergibt sich aus der von der Bundesrepublik Deutschland eingegangenen Verpflichtung, ihre energiebedingten Emissionen bis zum Jahre 2005 um 25 %, im Vergleich zu 1990 (= 100 %), zu reduzieren; der Gebäudebereich beteiligt sich an den CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland mit ca. 30 %. Damit wird deutlich, daß der Gebäudebereich einen außerordentlich wichtigen Sektor für Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Reduktionsmaßnahmen darstellt. Die ökologisch und ökonomisch auszuschöpfenden Potentiale für den Baubestand zeigt Tabelle 1: zwischen „worst case“ und „best case“ – der inzwischen in der Altbausanierung angestrebt wird [1] – liegt der Faktor 7; dazwischen ist das Niedrigenergiehausniveau (Verbrauch 6–7 l/m<sup>2</sup>·a ≅ ca. 60–70 kWh/m<sup>2</sup>·a) angesiedelt.

**Tabelle 1.** Energie-, Emissions- und Energiekostenvergleich pro Jahr für eine 100 m<sup>2</sup>-Wohnung (Altbau)

	Unsaniertes Altbau	7-Liter-Haus	3-Liter-Haus
Energieverbrauch (l Heizöl pro Jahr)	2000	700	300
CO <sub>2</sub> -Emission (t/Jahr)	6	2,1	0,9
Heizkosten (DM/Jahr)	2000,-	700,-	300,-

Diesem Potential gegenüber muß man z. Zt. noch ein sehr ernüchterndes Bild des baulichen Ist-Zustands in Deutschland zeichnen:

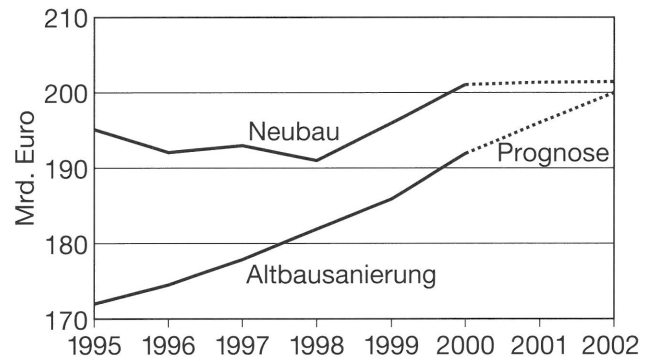
- während von den 300–400 000 *Neubauwohnungen* jährlich wohl nur wenige Tausend konsequent im Niedrigenergie-Standard, und weniger als 1000 in noch besserer Qualität erstellt werden
- bedürfen rund 24 Mio. Altbauwohnungen einer energetischen Verbesserung [2]

## 1.2 Wärmeschutz im Hochbau

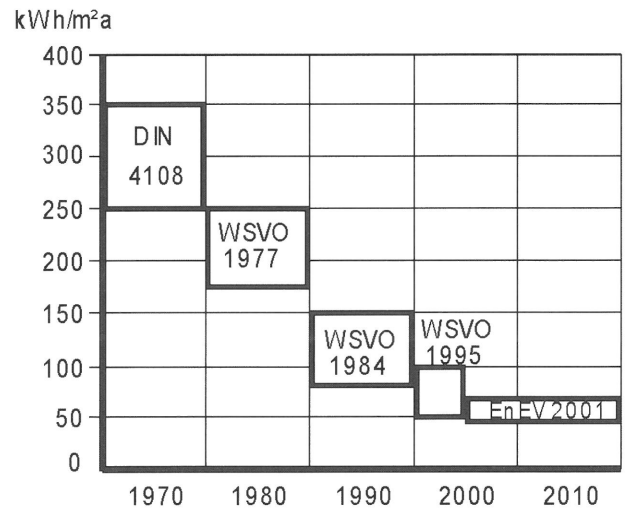
Mit einem Referentenentwurf (Stand: 29. 11. 2000) zur energetischen Modernisierung hat die Bundesregierung auf die oben geschilderte Problematik reagiert [3]. Eine neue Energieeinsparverordnung (EnEV) wird die derzeit geltende Wärmeschutzverordnung *und* Heizungsanlagenverordnung zu einer Verordnung zusammenfassen und das Anforderungsniveau im Neubau im Mittel um 30 % verschärfen. Neben der Optimierung der Gebäudehülle sind auch heizungs- und raumluftechnische Anlagen in die Planung einzubeziehen. Aus diesem Grund soll eine Bilanzgrenzenerweiterung vorgenommen werden, d. h. die Anforderungen werden nicht mehr über den primärenergetisch bewerteten *Heizwärmebedarf*, sondern über den primärenergetisch bewerteten *Heizenergiebedarf* formuliert. Bild 2 verdeutlicht die vom Gesetzgeber gewollte Entwicklung der (schrittweisen) Absenkung des Heizwärmebedarfes [4].

Die EnEV soll neue Einsparpotentiale bei größtmöglicher Entwurfsfreiheit für den Neubaubereich eröffnen: die Methode des Nachweisverfahrens der EnEV basiert weiterhin auf einem statischen Bilanzierungsmodell der Energieverluste und -gewinne, gestützt auf die kürzlich fertiggestellte Norm DIN EN 832 (Eine Übersicht aller zitierten Normen, außer Normentwürfen, findet sich am Ende des Beitrages.) in Verbindung mit den deutschen Umsetzungsnormen DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 [4]. Bild 3 verdeutlicht die gewünschte Absenkung von Heizwärme- und Heizenergiebedarf in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis (Außenfläche/Volumen).

Beim *Gebäudebestand* soll der Schwerpunkt der EnEV auf energetischen Verbesserungen liegen, die mit ohnehin geplanten Modernisierungsmaßnahmen *wirtschaftlich* durchgeführt



**Bild 1.** Wohnungsbau in Westeuropa 1995–2002 (Prognose)

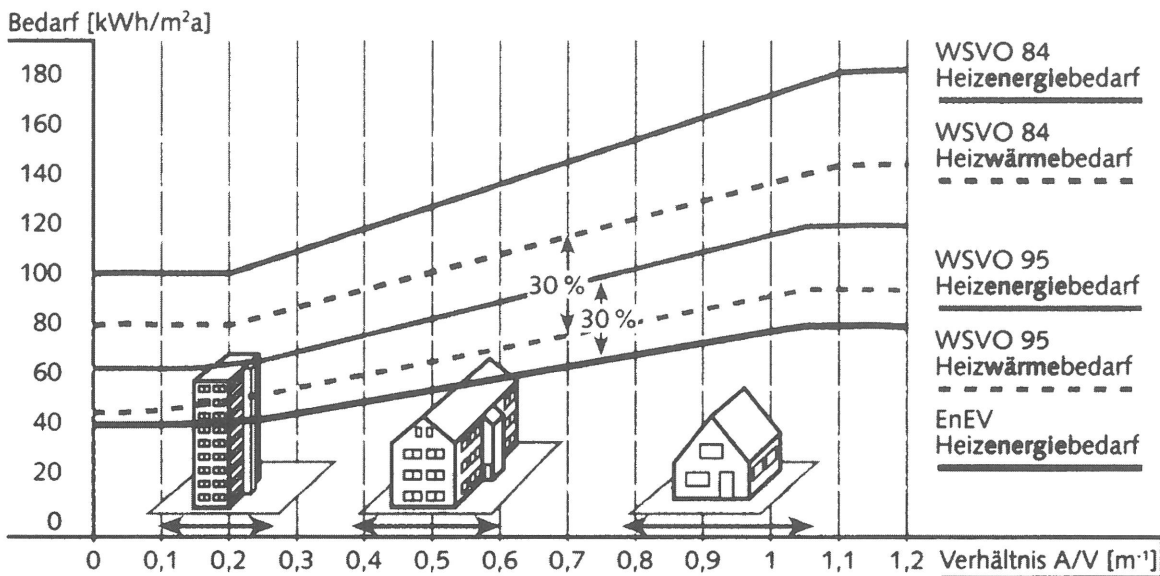


**Bild 2.** Entwicklung des maximal zulässigen Heizwärmebedarfes von Gebäuden (nach [3])

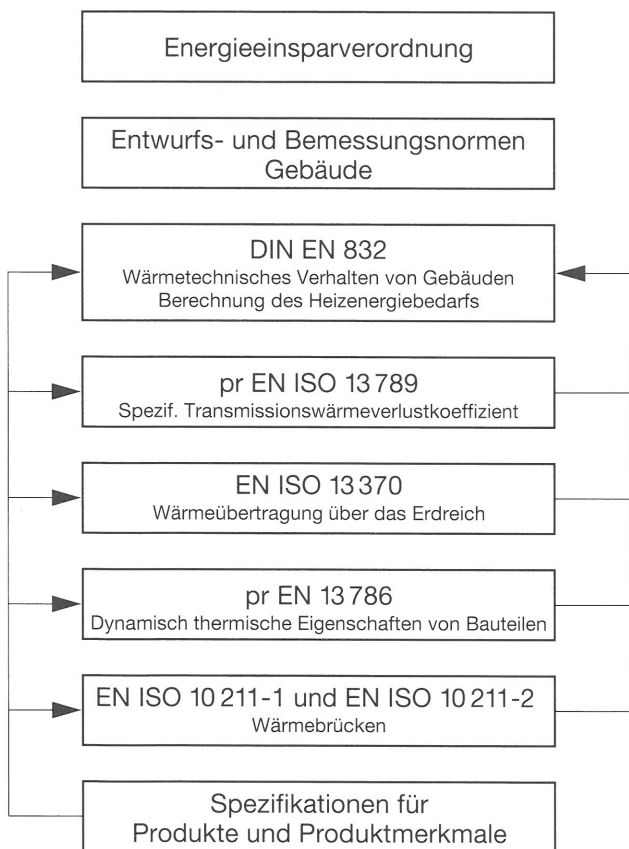
werden können. Eine *Nachrüstungsverpflichtung* ist vorgesehen für:

- den Ersatz der vor 1978 eingebauten Heizkessel plus nachträgliche Dämmung ungedämmter Rohrleitungen
- die Dämmung oberster Geschoßdecken unter nichtgenutzten Dachräumen

Neben dem winterlichen Wärmeschutz werden erstmalig auch für den sommerlichen Wärmeschutz zahlenmäßige Anforderungen gestellt, deren Einhaltung im Rahmen des öffentlichen Nachweises nachzuweisen ist. Dazu wird für den ungünstigsten Raum unter Berücksichtigung von Fensterfläche, -orientierung, Sonnenschutzmaßnahmen etc. ein Sonneneintragskennwert ermittelt und mit einer vorgegebenen Obergrenze verglichen. Diese darf – zumindest für Wohngebäude mit > 30 % Fensterflächenanteil – nicht überschritten werden.



**Bild 3.** Maximal zulässiger Heizwärme- und Heizenergiebedarf in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis (nach [4])



**Bild 4.** Zusammenhang zwischen der EnEV und stoffbezogenen Anforderungen (schematisch)

Begleitend zu den technischen Maßnahmen soll – für Neubauten obligatorisch, für den Bestand als Option – der Wärmebedarfsausweis zu einem *Energiebedarfsausweis* „Energiepaß“ weiterentwickelt werden; er soll für Bauherren, Käufer, und Verbraucher die Einhaltung der Anforderungen transparent machen und so helfen, die Verordnung (mit deren Inkrafttreten Anfang 2002 zu rechnen ist) konsequent umzusetzen.

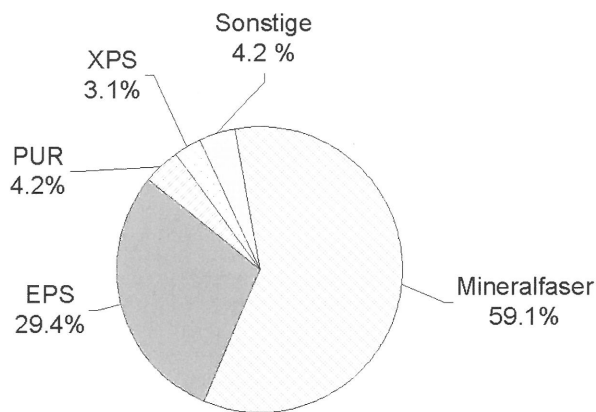
Den normativen Weg von der EnEV über anwendungsbezogene Anforderungen hin zu den Spezifikationen für einzusetzende Produkte verdeutlicht schematisch Bild 4.

## 2 Hartschaum-Kunststoffe für die Wärmedämmung

### 2.1 Marktübersicht

Zum Erreichen der o.g. Schutzziele bietet die herstellende Industrie dem Markt geeignete Dämmstoffe an; die Verteilung der Marktanteile der unterschiedlichen Dämmstofftypen zeigt Bild 5.

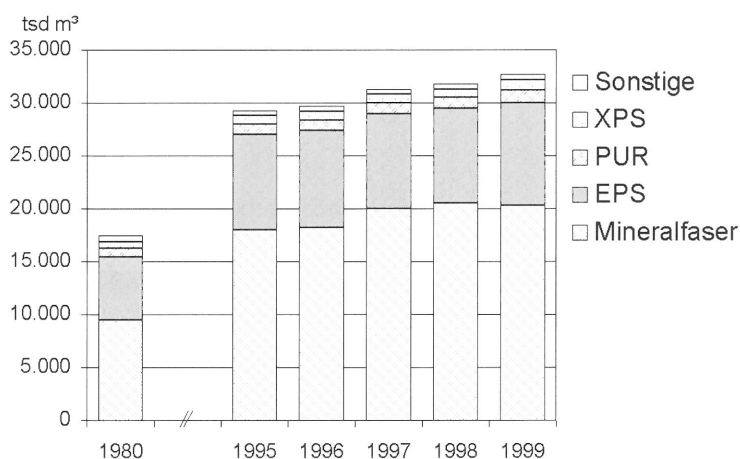
Danach ist expandiertes Polystyrol (EPS) nach den Mineralfaserdämmstoffen (Glas- und Steinwolle) der am zweithäufigsten verwendete Wärmedämmstoff in Deutschland – gefolgt von Polyurethan-Hartschaumstoffen (PUR) und extrudiertem Polystyrol (XPS). Bild 6 zeigt die Entwicklung des Dämmstoffmarktes in



**Bild 5.** Marktanteile der Dämmstoffe 1999 in Deutschland

Deutschland in den vergangenen 20 Jahren; deutlich wird, daß sich die relativen Marktanteile der einzelnen Dämmstoffarten kaum verschoben haben: jede Dämmstoffart hat sich in bestimmten Anwendungsbereichen „ihren Heimatmarkt“ geschaffen – basierend auf dem jeweiligen Preis-/Leistungsverhältnis. Welche „Leistung“ den Dämmstoffen abverlangt wird, zeigt ein Vergleich der Anforderungen an den Wärmeschutz für verschiedene Bauteile (Tabelle 2).

Aufgrund der empfohlenen großen Dämmschichtdicken ist die wärme- und feuchteschutztechnische Auslegung von Bauteilen besonders



**Bild 6.** Entwicklung des Dämmstoffmarktes in Deutschland

**Tabelle 2.** Mindestanforderungen (k-Wert<sup>\*)</sup> und Dämmstoffdicke) im Wärmeschutz

	WSchV 1995		EnEV-Entwurf 2001 <sup>**</sup> )		Bewährt und empfohlen	
	k-Wert <sup>*)</sup>	Dämmung	U-Wert <sup>*)</sup>	Dämmung	U-Wert <sup>*)</sup>	Dämmung
Dachschräge	0,3	14 cm	0,3	12–14 cm	0,25	16–18 cm
Dachboden	0,3	12 cm	0,3	10–12 cm	0,2	18–20 cm
Flachdach	0,3	12 cm	0,25	14–16 cm	0,2	18–20 cm
Wand (Außendämmung)	0,4	6–8 cm	0,35	8–10 cm	0,3	10–12 cm
Wand (Innendämmung)	0,5	4–6 cm	0,45	5–6 cm	0,5	4–6 cm
Kellerdecke	0,5	4–6 cm	0,4	6–8 cm	0,35	8–10 cm
Fenster	1,8	–	1,7	–	1,0–1,7	–

Hinweis: Dämmdicken bei WLГ 040

<sup>\*)</sup> Durch die europäische Normung ändern sich Begriffe und Bezeichnungen, so wird der k-Wert durch den U-Wert abgelöst.

<sup>\*\*)</sup> Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen (Gebäudebestand)

sorgfältig unter Zugrundelegung der Bemessungswerte gemäß DIN V 4108-4 durchzuführen; hier finden sich umfassende Tabellen für die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusions-Widerstandszahlen u. a. für Hartschaum-Kunststoffe.

## 2.2 Genormte Hartschaum-Kunststoffe

Folgende Hartschaum-Kunststoffe werden in ihren Eigenschaften und Anwendungen näher beschrieben:

### – *Expandierter Polystyrolpartikelschaum (EPS):*

Wird aus treibmittelhaltigem (C<sub>4</sub>/C<sub>5</sub>-Kohlenwasserstoffe) Polystyrolgranulat im ersten Arbeitsgang mit Wasserdampf (Satttdampf) als Energieträger bei ca. 100 °C zu losen PS-Schaumpartikeln aufgebläht; nach Zwischenlagerung werden in diskontinuierlichen (seltener: kontinuierlichen) Anlagen durch eine zweite Bedampfung Blöcke, Platten oder Formteile hergestellt.

### – *Extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS):*

Wird durch Aufschmelzen von Polystyrol in einem Extruder, Zugabe von Treibmittel (teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe oder Kohlendioxid) und Austrag durch eine Breitschlitzdüse hergestellt, die Platten werden nach Durchlaufen einer Kühlzone aus dem Schaumstoffstrang geschnitten; je nach Verwendungszweck können sie mit oder ohne Schäumhaut oder Deckflächen verwendet werden; eine Reihe von Konfektionierschritten (Besäumung etc.) ist oft üblich.

### – *Polyurethan-Hartschaum (PUR):*

Entsteht durch eine chemische Reaktion zweier Komponenten (Isocyanat- und Polyolkomponente); Treibmittel sind Kohlenwasserstoffe (C<sub>5</sub>), teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe und in geringen Mengen Kohlendioxid. Die Herstellung der Dämmstoffe geschieht entweder *kontinuierlich* nach dem Doppelbandverfahren oder über ausgeschäumte Blöcke, die zu Platten aufgeschnitten werden. Das Doppelbandverfahren erlaubt zudem die automatische Verklebung mit verschiedenen Deckschichten (Mineralvlies, Glasvlies, Papier-, Metall- oder Verbundfolien und Metallsandwichelemente [5]) zu einem festen Verbund.

### – *Polyurethan-Ortschaum:*

Wird „in situ“ auf der Baustelle über ein Spritz- oder ein Gießverfahren auf die zu dämmende Fläche appliziert, wo es aufschäumt und entsprechend der Auftragsmenge zu einer bestimmten Dämmdicke erhärtet; das Gießverfahren eignet sich insbesondere zur Dämmung von Hohlräumen.

### – *Harnstoff-Formaldehydharz:*

Gehört auch zur Klasse der „Ortschäume“ wobei durch Vermischen einer wäßrigen Harzlösung und einer durch Druckluft aufgeschäumten wäßrigen Tensidlösung und anschließenden (katalytischen) Aushärtung ein offenzelliger Schaum erzeugt wird. Transportable Maschineneinrichtungen mit entsprechenden Schlauchleitungen erlauben die Applikation in allen zu dämmenden Bereichen eines Bauwerkes.

### – *Phenolharz-Hartschaum (PF):*

Dies ist ein überwiegend geschlossenzelliger, harter Schaumstoff, der aus Phenolharzen durch Zugabe eines Treibmittels und Katalysators mit oder ohne Wärmezufuhr erzeugt wird; die Herstellung erfolgt überwiegend in einem kontinuierlichen Verfahren als Bandware und nur vereinzelt als Blöcke.

## 2.2.1 Nationales Regelwerk

Nach den bauaufsichtlichen Vorschriften in den Landesbauordnungen (LBO) dürfen Bauprodukte nur verwendet werden, wenn sie nach den Ergebnissen der werkseigenen Produktionskontrolle und der von der bauaufsichtlich anerkannten Überwachungsstelle durchgeführten Fremdüberwachung den Bestimmungen der in der Bauregelliste A Teil 1 bekannt gemachten technischen Regeln (geregelt Bauprodukte) oder einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (Z) entsprechen und auf Grund eines daraufhin erteilten Übereinstimmungszertifikates einer anerkannten Zertifizierungsstelle das Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) entweder selbst oder auf der Verpackungseinheit tragen. Bei den technischen Regeln handelt es sich im wesentlichen um DIN-Normen (Tabelle 3).

Überarbeitete Fassungen der DIN 18 164 Teil 1 und Teil 2, in die die neuen europäischen Prüfnormen eingearbeitet worden sind, erscheinen zum Ende des Jahres 2001. Die in den Normen definierten Anwendungstypen (Tabelle 4) schaf-



**Tabelle 3.** DIN-Normen für Kunststoff-Dämmstoffe\*)

DIN	Ausgabe	Titel
18 159	1991–12	Teil 1: Schaumkunststoffe als Ortschäume im Bauwesen; Polyurethan-Ortschaum für die Wärme- und Kälte-dämmung; Anwendung, Eigenschaften, Ausführung, Prüfung
	1978–06	Teil 2: Schaumkunststoffe als Ortschäume im Bauwesen; Harnstoff-Formaldehyd-Ortschaum für die Wärmedämmung; Anwendung, Eigenschaften, Ausführung, Prüfung
18 164	1992–08	Teil 1: Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung
	1991–03	Teil 2: Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Trittschalldämmung; Polystyrol-Partikelschaumstoffe

\*) Im vorliegenden Artikel wird auf Dämmstoffkombinationen (z. B. mit Holzwolle-Leichtbauplatten u. ä.) nicht eingegangen.

fen eine einfache – aber auch rigide – Zuordnung von Einsatzgebiet und Eigenschaft(en) eines Dämmstoffes.

### 2.2.2 Das neue europäische Regelwerk

Das Bauproduktengesetz vom 10. 08. 1992 setzt die Ende 1988 von der Europäischen Kommission erlassene Bauproduktenrichtlinie (BPR) in nationales (deutsches) Recht um und regelt das In-Verkehr-bringen von solchen Bauprodukten in Deutschland, für die es europäische technische Spezifikationen gibt.

Weiterhin wird aber die *Verwendung (Anwendung)* durch die Länderbauordnungen geregelt; dazu wurde im Dezember 1991 eine *Musterbauordnung (MBO)* beschlossen, die die Verwendung von Bauprodukten mit Hilfe bestimmter Bauregellisten „regelt“.

**Tabelle 4.** Anwendungstypen von Hartschaum-Dämmstoffen

Produkte nach DIN	Typ	Anwendung
18 164 Teil 1	W	Dämmstoffe, die keiner Druckbelastung standhalten müssen; z. B. geeignet zum Einbau in Wände und belüftete Dächer
18 164 Teil 1	WD	Druckbelastete Dämmstoffe, z. B. unter druckverteilenden Böden (keine Trittschalleigenschaften) und in Dächern unter der Dachhaut
18 164 Teil 1	WS	Dämmstoffe mit erhöhter Belastbarkeit für Sondereinsatzgebiete, z. B. Parkdecks
18 164 Teil 2	T	Dämmstoffe für den Trittschallschutz, z. B. unter schwimmenden Estrichen
18 164 Teil 2	TK	Trittschalldämmstoffe mit geringerer Zusammendrückbarkeit, z. B. unter Fertigteil-estrichen

**Tabelle 5.** Entwürfe europäischer Produktnormen für Hartschaumdämmstoffe

prEN*)	Werkmäßig hergestellte Produkte aus:
13 163	expandiertem Polystyrol
13 164	Polystyrol-Extruderschaum
13 165	Polyurethan-Hartschaum
13 166	Phenolharz-Hartschaum
13 172	(Konformitätsverfahren)

\*) entspricht „Entwurf DIN EN“

Die von CEN (TC 88) bearbeiteten Produktnormen für Wärmedämmstoffe (Tabelle 5) liegen als Schlusssentwurf (prEN) vor und sind im Jahr 2001 zur Abstimmung („formal vote“) gelangt.

In der *Bauregelliste B* Teil 1 wird zukünftig in Abhängigkeit vom Verwendungszweck festgelegt, welche *Klassen* und *Leistungs-Stufen* (in den prENs definiert) von den Bauprodukten erfüllt sein müssen – d. h. neben das Ü-Zeichen (Bauregelliste A) tritt nach Bauregelliste B das



CE-Zeichen, wobei die *CE-Kennzeichnung* die für den jeweiligen Verwendungszweck festgelegten Klassen und Leistungsstufen enthalten muß (Bild 7) [6].



**Bild 7.** Nationale und europäische Kennzeichnung von Bauprodukten (nach [6])

Ergänzend dazu sei noch erwähnt, daß Bauprodukte – außer der Zulassung nach der BPR (im wesentlichen nach harmonisierten europäischen Normen) – auch mittels einer gesonderten „Europäischen Technischen Zulassung (ETA)“ im Markt Eingang finden können. Diese ETAs gelten jedoch nur für ein Produkt und für ein Herstellwerk, d. h. eine solche Zulassung erzeugt zusätzliche Kosten. Der Normenausschuß Bauwesen im DIN hat dazu folgende Kosten abgeschätzt:

- Eckwert *mit* Zulassungsleitlinien: 5–30 TDM
- Eckwert *ohne* Zulassungsleitlinien: 10–70 TDM.

Damit ist erkennbar, daß für Bauprodukte, zu denen *keine* harmonisierten Normen vorliegen, ein hoher finanzieller Zulassungsaufwand erforderlich ist.

**2.2.3 Eigenschaften**

In den oben zitierten nationalen Regelwerken (Tabelle 6) sind für die hier beschriebenen Hartschaum-Kunststoffe wärmeleitfähigkeitsrelevante Eigenschaften festgeschrieben.

Weitere anwendungsbezogene Produkteigenschaften sind in den Tabellen 7 und 8 zusammengestellt (nach [4]).

**Tabelle 6.** Bemessungswerte  $\lambda_R$  der Wärmeleitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeitsgruppen (markt-gängige Typen)

Bemessungswert $\lambda_R$ [W/m·K] Wärmeleitfähigkeitsgruppe	0,025 025	0,030 030	0,035 035	0,040 040
Polyurethan-Ortschaum			●	●
Harnstoff-Formaldehyd-Ortschaum			●	●
Polystyrol-Hartschaum – Partikelschaum			●	●
Polystyrol-Extruderschaum		●	●	●
Polyurethan-Hartschaum	●	●	●	●
Phenolharz-Hartschaum	(●)	●	●	●

- $\lambda_R$  nach DIN V 4108-4 (1998-10)
- (●)  $\lambda_R$  nach bauaufsichtlicher Zulassung

**Tabelle 7.** Richtwerte der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen  $\mu$  gemäß DIN V 4108-4 (1998-10) und Firmenangaben

Dämmstoff	Rohdichte [kg/m³]	$\mu$ -Wert Bereich
Polyurethan-Ortschaum	$\geq 37$	30/100 (50/150) <sup>*)</sup>
Harnstoff-Formaldehyd-Ortschaum	$\geq 10$	1/3
Polystyrol-Partikelschaum (EPS)	$\geq 15$ $\geq 20$ $\geq 30$	20/50 30/70 40/100
Polystyrol-Extruderschaum (XPS)	$\geq 25$	80/250
Phenolharz-Hartschaum (PF)	$\geq 30$	10/50 (10/100) <sup>*)</sup>
Polyurethan-Hartschaum (PUR)	$\geq 30$	30/100 (30/150) <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> = neueste Firmenangaben

**Tabelle 8.** Ausgewählte mechanische und thermische Dämmstoffeigenschaften

Dämmstoff	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	$\sigma_{10}^{*})$ [kPa]	Obere Temperatur- anwendungsgrenze (°C)	
			kurzzeitig	Langzeitbean- spruchung
Phenolharzschaum (PF)	35	100–250	250	110–130
	45	150–350		
Polystyrol-Partikelschaum (EPS)	15	70–120	100	80–85
	20	120–160		
	30	180–260		
Polystyrol-Extruderschaum (XPS)	30	300	< 120	75
	35	500		
	45	700		
Polyurethan-Hartschaum (PUR)	30	100–200	250	90 <sup>**)</sup>
	40	200–350		
Harnstoff-Formaldehydharz- Schaum	10	10	130–150	110–120

<sup>\*)</sup>  $\sigma_{10}$  = Druckbeanspruchung bei 10 % Stauchung

<sup>\*\*)</sup> mit Spezialprodukten sind höhere Temperaturen möglich

Die Anforderungen an das Brandverhalten von Dämmstoffen werden bundeslandspezifisch in den einzelnen Ausführungs- oder Durchführungsverordnungen zur Landesbauordnung geregelt [7], [8]. Nach DIN 4102 Teil 1 fallen Kunststoffdämmstoffe in die Baustoffklassen

B1 (schwerentflammbar)

B2 (normalentflammbar).

Die Klasse B3 (leichtentflammbar) ist im Bauwesen nicht zulässig. Tabelle 9 gibt einen Überblick.

Im Rahmen der europäischen Harmonisierung werden auch diese nationalen Baustoffklassen für das Brandverhalten in die sogenannten

**Tabelle 9.** Übliche Baustoffklassen für das Brandverhalten nach DIN 4102 für Hartschaum-Dämmstoffe

Produkt	B1	B2
Phenolharz-Hartschaum	X	X
Polystyrol-Partikelschaum	X	
Polystyrol-Extruderschaum	X	
Polyurethan-Hartschaum	X	X
Polyurethan-Ortschaum	X	X
Harnstoff-Formaldehydschaum	X	X

EURO-Klassen überführt werden müssen. Einen Überblick über zu erwartende Prüfnormen und Baustoffklassen gibt Tabelle 10 (nach [9], [10]).

#### 2.2.4 Qualitätssicherung und Güteschutz

Das bereits geschilderte Regelwerk schreibt zwecks bauaufsichtlicher Überwachung einen „Dualismus“ von Eigen- und Fremdüberwachung vor. Dieses hat sich seit Jahrzehnten in Deutschland bewährt. Dabei werden im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) vom Dämmstoffhersteller mehrmals täglich wesentliche Eigenschaften seiner Produkte überprüft. Die Fremdüberwachung durch eine anerkannte Überwachungsstelle „komplettiert“ die Qualitätssicherung durch zweimalige jährliche Inspektionen und Beurteilungen des Herstellwerkes und des betreffenden Dämmstoffes, durch die Auswertung der WPK, Probennahme und Produktprüfung gemäß technischer Regeln sowie Überprüfung der Kennzeichnung. Zusammenfassende Fremdüberwachungsberichte für den Hersteller und die zuständige Zertifizierungsstelle (meist bei der Überwachungsstelle angesiedelt) runden dieses „duale System“ ab. Angetrieben von eher marktpolitischen Überlegungen haben sich die Dämmstoffgruppen

**Tabelle 10.** Übersicht zu den Euroklassen und Prüfmethode zum Brandverhalten und mögliche Zuordnung zu deutschen Regelungen

Euro-klasse	Prüfmethode	Klasse nach DIN 4102-1	bauaufsichtliche Benennung
A1	DIN EN ISO 1182 (Nichtbrennbarkeitsprüfung) <i>und</i> DIN EN ISO 1716 (Bestimmung des spezifischen Brennwertes)	A1	nicht brennbar
A2	DIN EN ISO 1182 <i>oder</i> DIN EN ISO 1716 <i>und</i> DIN EN 13 823 (SBI-Test)	A2	
B	DIN EN 13 823 <i>und</i> DIN EN ISO 11 925-2 (Kleinbrennertest)	B1	schwer entflammbar
C	DIN EN 13 823 <i>und</i> DIN EN ISO 11 925-2 (andere Kriterien als Euroklasse B)		
D	DIN EN 13 823 (andere Kriterien als Euroklasse C) <i>und</i> DIN EN ISO 11 925-2 (andere Kriterien als Euroklasse C)	B2	normal entflammbar
E	DIN EN ISO 11 925-2		
F	keine	B3	leicht entflammbar

zusätzlich in Überwachungs- bzw. Güteschutzgemeinschaften zusammengeschlossen:

- Güteschutzgemeinschaft Hartschaum e.V. (GSH) für EPS- und PUR-Hartschaum, sowie PUR-Gieß- und Spritzschaum
- Überwachungsgemeinschaft Polyurethan-Hartschaum e.V. (ÜGPU) für PUR-Hartschaum

Für die Mitgliedsfirmen sind Vorgaben gemacht worden, nach denen nicht nur die bauaufsichtlich gestellten Anforderungen erfüllt werden müssen, sondern auch andere Kriterien an z. B. Etikettierung oder Kennzeichnung zu erfüllen sind. Werden die Anforderungen vom Hersteller erfüllt, erwirbt er das Recht, das Güte- bzw. Überwachungszeichen der betreffenden Gemeinschaft (zusätzlich zum Ü-Zeichen) zu führen und die Produkte entsprechend zu kennzeichnen. Unabhängig davon haben sich viele Firmen ein Qualitätsmanagement gemäß der DIN EN ISO 9000-Reihe gegeben. Die zukünftige europäische Harmonisierung wird die Bescheinigung der Konformität von Bauprodukten mit technischen Spezifikationen noch

mehr in die Verantwortung des Herstellers legen. Die verschiedenen Elemente der Kontrolle sowie die möglichen Systeme der Konformitätsbescheinigung und -kennzeichnung/-zertifizierung sind in Anhang III der BPR aufgeführt und sollen – im Detail genormt – mit der prEN 13172 zur Abstimmung in den Mitgliedsländern kommen.

### 2.3 Hartschaum-Kunststoffe mit allgemeiner bauaufsichtlicher Regelung

Bei wesentlicher Abweichung von den technischen Regeln – hier DIN 18 159 und 18 164 – verlangt die Bauregelliste A, Teil 1, den Verwendungsnachweis durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. Eine entsprechende Zulassung für Dämmstoffe wird ebenfalls verlangt, wenn es keine Technische Baubestimmung und keine allgemein anerkannte Regel der Technik gibt. Tabelle 11 führt zugelassene Dämmplatten ohne definierten Anwendungsbereich auf; Tabelle 12 listet PUR-Ortschaum-Zulassungen auf [11].

**Tabelle 11.** Hartschaum-Dämmstoffe (Platten) mit geltender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (nach [11])

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart	Roh-dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
AlgoPhen 040	Z-23.11-1184	AlgoStat Dämm-Systeme 29227 Celle	Polystyrol-Partikel-schaum (Blockware)	$\geq 13$	B1	0,040
Austrotherm TOP 30	Z-23.11-1277	Austrotherm GmbH 2754 Waldegg/ Wopfing Österreich	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	32–43	B1	Z = 0,05 <sup>1)</sup>
Austrotherm TOP 50						
Austrotherm TOP R						
Austrotherm TOP P						
Austrotherm XPS 30	Z-23.11-1285	Austrotherm GmbH 2754 Waldegg/opfing Österreich	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> und HFCKW 152a als Treibmittel	$\geq 37$	B1	Z = 0,20 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \geq 0,029$ W/(m·K)) Z = 0,30 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \geq 0,027$ W/(m·K))
Austrotherm XPS 50						
Austrotherm XPS R						
Austrotherm XPS P						
Celotex Double-R-MBC 2	Z-23.11-111	Celotex Ltd. UK-London W5 5PR Großbritannien	Polyurethan-Hart-schaum mit Glasfaser-zusatz und HFCKW b als Treibmittel und Deckschichten	$\geq 31$	B2	0,10 <sup>1) 3)</sup>
Celotex double R-GA 2000	Z-23.11-1082	Celotex Ltd. UK-London W5 5PR Großbritannien	Polyurethan-Hart-schaum mit Glasfaser-zusatz <sup>2)</sup> mit HFCKW 141b als Treibmittel	$\geq 26$	B2	Z = 0,20 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \geq 0,025$ W/(m·K)) Z = 0,30 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \geq 0,023$ W/(m·K))
Celotex double R-LG2						
Dagatec	Z-23.11-1193	Rolltec Heizsysteme GmbH 48282 Emsdetten	Phenolharz (PF)-Hart-schaum, beidseitig mit Glasvlies beschichtet	$\geq 40$	B2	Z = 0,030 <sup>1)</sup>

**Tabelle 11.** Hartschaum-Dämmstoffe (Platten) mit geltender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Ecopor 30	Z-23.11-1227	Superglass Dämmstoffe GmbH 61118 Bad Vilbel	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	$\geq 30$	B1	Z = 0,05 <sup>1)</sup>
Ecopor 25						
Eurothane-XTRA 1000 <sup>4)</sup>	Z-23.11-248	Eurothane Dämmstoffe 66450 Bexbach	Phenolharz-Hartschaum	$\geq 40$	B2	Z = 0,30 <sup>1)</sup>
Eurothane-XTRA 3000 <sup>5)</sup>						
Flachdachdämmung	Z-23.11-1138	Philippine GmbH & Co. Dämmstoffsysteme KG 44805 Bochum	Polystyrol-Partikelschaum (Blockware)	$\geq 17$	B1	0,040
Gematherm XOF 2	Z-23.11-1251	Sirap Gema International S. A. 7170 Manage Belgien	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	35–40	B1	Z = 0,10 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \geq 0,031$ W/(m·K)) Z = 0,20 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \leq 0,027$ W/(m·K))
Gematherm XOF 3						
Gematherm XOF 4						
Gematherm XOF R						
Gematherm XOF i						
Glascofoam XPSN	Z-23.11-1235	Poliglas GmbH 06188 Quais	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	36–42	B1	Z = 0,05 <sup>1)</sup>

Fußnoten siehe Seite 174

**Tabelle 11. Hartschaum-Dämmstoffe (Platten) mit geltender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (nach [11]) (Fortsetzung)**

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart	Roh-dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
HDS-Hartschaum WD	Z-23.11-1127	Heidelberger Dämm-systeme GmbH 69115 Heidelberg	Polystyrol-Partikel-schaum (Blockware)	17–19	B1	0,040
Jackodur PorClima H 35-300 Standard	Z-23.11-1220	Gefinex-Jackon GmbH 29416 Mechau	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit HFKW 134a/HFKW 152a als Treib-mittel	25–36	B1	Z = 0,25 <sup>1)</sup>
Jackodur ProClima H 35-200 Standard						
Ecoprim 955						
Jackodur CFR 35-300 Standard	Z-23.11-1239	Gefinex-Jackon GmbH 29416 Mechau	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit HFKW 152a als Treibmittel	35–40	B1	Z = 0,20 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \geq 0,029$ W/(m·K)) <sup>6)</sup> bzw. 0,31 W/(m·K) <sup>7)</sup> Z = 0,30 <sup>1)</sup> (für $\lambda_{10,g} \leq 0,027$ W/(m·K)) <sup>6)</sup> bzw. 0,031 W/(m·K) <sup>7)</sup> Z = 0,35 <sup>1)8)</sup>
Jackodur CFR 35-200 Standard						
Jackodur CFR 35-500 Standard						
Jackodur CFR 35-300 Gefiniert	Z-23.11-1061	Pfleiderer Dämmstofftechnik GmbH + Co. 92318 Neumarkt	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	37-50	B1	Z = 0,05 <sup>1)</sup>
Jackodur CFR 35-300 Feintoleranz						
Demodur CFR 35-300 Standard						
Pingo C SF	Z-23.11-1061	Pfleiderer Dämmstofftechnik GmbH + Co. 92318 Neumarkt	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	37-50	B1	Z = 0,05 <sup>1)</sup>
Pingo CG						
Pingo CR						

**Tabelle 11.** Hartschaum-Dämmstoffe (Platten) mit geltender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungs-gegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Polyfoam LJ 350 C	Z-23.11-1280	BASF Aktiengesellschaft, 67056 Ludwigshafen und N. V. Owens Corning S. A. International Building Material System 4600 Vise, Belgien	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	$\geq 30$	B1	$Z = 0,05^{1)}$
Polyfoam SE 350 C						
Polyfoam LJ 280 C						
Polyfoam SE 280 C						
Polyurethan-(PUR)-Hartschaum für Sandwichelemente <sup>2)</sup>	Z-23.1.2-290	DOW Deutschland Inc. 59227 Ahlen	Polyurethan (PUR)-Hartschaum <sup>3)</sup>	$\geq 45$	B2	$Z = 0,10^{1)}$ (für Breiten $\geq 900$ mm) $Z = 0,15^{1)}$ (für Breiten $< 900$ mm)
Roofmate-A	Z-23.11-288	DOW Deutschland Inc. 65824 Schwalbach	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	37–50	B1	$Z = 0,05^{1)}$
Perimate INS-A						
Perimate DI-A						
Floormate 200-A						
Floormate 500-A						
Floormate 700-A						
Wallmate WB-A						
Styrofoam IB-A						

Fußnoten siehe Seite 174



**Tabelle 11.** Hartschaum-Dämmstoffe (Platten) mit geltender allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Roofmate-X	Z-23.11-1295	DOW Deutschland Inc. 65824 Schwalbach	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit HFKW 134a als Treibmittel	$\geq 35$	B1	$Z = 0,15^{1)}$ (für $\lambda_{10,g} \geq 0,027$ W/(m·K)) $Z = 0,25^{1)}$ (für $\lambda_{10,g} \leq 0,024$ W/(m·K))
Fliformate 500-X					B1	
Perimate INS-X					B1	
Perimate DI-X					B2	
Styrofoam IB-X					B1	
Roxon Eco	Z-23.11-1151	Vaparoid AG CH-4657 Dulliken Schweiz	Polyurethan-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	$\geq 25$	B2	$Z = 0,05^{1)}$
Styrodur 2500 C	Z-23.1.2-287	BASF AG 67056 Ludwigshafen	extruder-geschäumter Polystyrol-Hartschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	30–45	B1	$Z = 0,05^{1)}$
Styrodur 2800 C						
Styrodur 3035 C						
Styrodur 4000 C						
Styrodur 5000 C						
UltraGard 100 <sup>4)</sup>	Z-23.1.2.213	Morgan Thermal Ceramics GmbH 65201 Wiesbaden	Phenolharz (PF)-Hartschaum	$\geq 40$	B2	$0,30^{1)}$
UltraGard 300 <sup>5)</sup>						

<sup>1)</sup> Zuschlagswert Z gemäß DIN 52 612-2 zur Berechnung des Rechenwertes

$\lambda_R$  der Wärmeleitfähigkeit

<sup>2)</sup> Sofern das Sandwich-Bauprodukt nicht in Liste C [49] enthalten ist, ist die Standsicherheit durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall gesondert nachzuweisen. Die Befestigung der PUR-Sandwichelemente ist nicht Gegenstand dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Der Bauherr bzw. die von ihm beauftragten, am Bau Beteiligten sind für die Standsicherheit der Sandwichelemente einschließlich ihrer Befestigung in eigener Fachkompetenz verantwortlich.

<sup>3)</sup> mit gasdiffusionsdichten Deckschichten

<sup>4)</sup> beidseitig mit ca. 0,2 mm dickem Glasvlies als Deckschicht

<sup>5)</sup> beidseitig mit ca. 0,3 mm dickem, mineralisiertem Glasvlies als Deckschicht

<sup>6)</sup> für Plattendicken von 20 mm bis 60 mm

<sup>7)</sup> für Plattendicken größer 60 mm bis 100 mm

<sup>8)</sup> für Plattendicken größer 100 mm bis 120 mm



**Tabelle 12.** PUR-Ortschäume mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (nach [11])

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Elastopor H 1612/4	Z-23.11-1039	Elastogran GmbH 49440 Lemförde	PUR-Ortschaum	$\geq 37$	B2	0,030
Nestaan SD 682/25	Z-23.11-1038	Nestaan Holland B.V. NL-4691 RZ Tholen Niederlande	PUR-Ortschaum	$\geq 35$	B2	0,030
Reactherm R 9222 D	Z-23.11-1178	Polymer Chemical Company BV NL-5281 PS Boxtel Niederlande	PUR-Ortschaum	$\geq 37$	B2	0,030
Resifoam AL 650/ Urestyl 10	Z-23.11-296	RESINA Chemie B.V. NL-9607 PS Foxhol Niederlande	PUR-Ortschaum	$\geq 37$	B2	0,030

## 2.4 Gesundheits- und Umweltaspekte

Je nach Zusammensetzung eines Dämmstoffes und der Art seiner Verwendung können Anforderungen im Hinblick auf den Gesundheits- und Umweltschutz gestellt werden; dieses wird durch die aus der LBO abgeleitete Bauregelliste A nicht abgedeckt, kann sich aber aus anderen Rechtsbereichen (Chemikaliengesetz, Gefahrstoffverordnung, Wasserhaushaltsgesetz) ergeben [6]. Die Bauaufsicht (DIBt) verlangt im Zulassungsverfahren die Hinterlegung der stofflichen Zusammensetzung. Dies verhindert, daß nicht gesetzeskonforme Substanzen in einen neu zuzulassenden Baustoff Eingang finden oder chemische Produktmodifikationen an einem zugelassenen Baustoff erfolgen.

Auf der europäischen Ebene verlangt das von der BPR abgeleitete Grundlagendokument „Hygiene, Umwelt, Gesundheitsschutz“ den normativen Nachweis der gesundheitlichen Unbedenklichkeit der so spezifizierten Bauprodukte – insbesondere die Nichtgefährdung von Bewohnern durch:

- die Emission gefährlicher Gase
- das Wachstum von Mikroorganismen
- erhöhte radioaktive Emissionen

In der CEN-Produktnormung hat das dazu geführt, im *Annex ZA* der harmonisierten Normen

einen Hinweis zu verankern, der klar macht, daß neben der Behandlung spezifischer Aspekte in Bezug auf „gefährliche Substanzen“ in der entsprechenden Norm die Beachtung weiterer Anforderungen aus dem Grundlagendokument erforderlich werden kann. Dabei sind sowohl europäisches Gemeinschaftsrecht als auch nationale Gesetzes- und Verwaltungsvorschriften zu beachten. Die dämmstoffherstellende Industrie hat die Marktrelevanz der Aussagen über die gesundheitliche Unbedenklichkeit ihrer Produkte erkannt und erbringt auf diesem Gebiet wichtige Vorleistungen im Sinne der Fürsorgepflicht für die Käufer und Nutzer von Wärmedämmstoffen.

In Abschnitt 3 „Anwendungsbereiche“ wird auf die Gesamtenergiebilanzen eingegangen, d. h. auf den Vergleich ungenügender Dämmung im Vergleich zur gedämmten Konstruktion – inkl. Herstellungsenergie des Dämmstoffes –. Am Beispiel der Treibmittelsubstitution (-reduzierung) lassen sich die umweltrelevanten Anstrengungen der Industrie verdeutlichen [12].

Die Verwendung von FCKW für Schaumstoffe ist in der EU seit 1995 verboten; die deutsche FCKW-Halogen-Verbotsverordnung von 1991 ließ die Verwendung von HFCKW 22 als Treibmittel für die Dämmstoffherstellung am 31. 12. 1999 auslaufen. Die ökologische Relevanz des

**Tabelle 13.** Ökologische Kennwerte der verschiedenen Treibmittel

Kurzbezeichnung	Chemische Nomenklatur	ODP <sup>*)</sup>	GWP <sup>**)</sup>
FCKW 12	Dichlorfluormethan	1,0	7300
HFCKW 22	Monochlordifluormethan	0,05	1500
HFCKW 142 b	Monochlordifluorethan	0,06	1600
HFCKW 134a	Tetrafluorethan	0	1200
HFCKW 152a	Difluorethan	0	140
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid	0	1

<sup>\*)</sup> ODP ozone depletion potential

<sup>\*\*)</sup> GWP greenhouse warming potential

Austausches der FCKW bzw. HFCKW-Treibmittel gegen CO<sub>2</sub> bei XPS (und PUR) verdeutlicht die Gegenüberstellung Tabelle 13.

CO<sub>2</sub> schneidet in diesem Bewertungsraster am besten ab – zumal es vorhandenen Stoffkreisläufen entnommen wird und so bezüglich Umwelteffekte nicht „ökobilanziert“ werden muß. Ein wichtiges Arbeitsgebiet ist z. Zt. die Untersuchung der Effekte solcher Treibmittel-/Zellgasänderungen auf die Gebrauchseigenschaften der entsprechenden Dämmstoffe [13].

## 2.5 Produktweiterentwicklungen

Die Triebkräfte für die – meist evolutionäre – Weiterentwicklung der beschriebenen Hartschaum-Kunststoffe sind folgende:

- Die *Verbesserung der (Gesamt-)Ökobilanz* durch Senkung des Ressourcenverbrauches und der Emissionen bei der Dämmstoffherstellung oder durch Austausch umweltbelastender Zellgase/Treibmittel
- Ausweitung der gedämmten Gebäudeflächen; z. B. bis in den Fundamentbereich, einhergehend mit neuen Zulassungsanforderungen
- Größere Dämmstoffdicken durch steigende Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz

Diese Innovationskräfte haben in jüngster Zeit zu folgenden Produktneuvorstellungen geführt:

- EPS: Ausrüstung dieses Dämmstoffes in der Polystyrolmatrix mit Infrarotabsorbern und

–reflektoren, die das Durchdringen der Wärmestrahlung vermindern. Der Effekt ist, daß entweder bei gleicher Materialdicke eine deutlich höhere Wärmedämmung oder – bezogen auf die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes – mit fast halbiertem Rohstoffanteil dieselbe Dämmleistung erzielt wird wie bei Standard-EPS. Treibmittelarmer Rohstoffe komplettieren die Bemühungen, ökologisch verbesserte Produkte anzubieten.

- XPS: Die Entwicklung geht hier in Richtung des Ersatzes der (teil-)halogenierten Kohlenwasserstoff-Treibmittel durch Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>); dabei wird das CO<sub>2</sub> vorhandenen Stoffkreisläufen entnommen und agiert so „treibhausneutral“.
- PUR: Hier hat Pentan (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>), besonders in Deutschland, eine weite Verbreitung für die Herstellung von PUR-Hartschaumstoffen gefunden. Obwohl Pentan ein brennbares Treibmittel ist, wurde die Sicherheitstechnik bei den Herstanlagen so entwickelt, daß mögliche Probleme – sowohl bei der Herstellung als auch beim Eigenschaftsprofil des Hartschaumes – gelöst sind. Häufig werden die Treibmittel zusammen mit CO<sub>2</sub> verwendet (aus der Reaktion von Wasser mit dem Polyisocyanat), bedingt durch die geringe Polyol-Löslichkeit von Pentan. Ökonomische Überlegungen bei der Treibmittelwahl spielen eine weitere wichtige Rolle [8].

Tabelle 14 verdeutlicht den Effekt alternativer Treibmittel bezüglich Anforderungen und Prüfungen auf die wichtige Dämmstoffeigenschaft, die Wärmeleitfähigkeit (nach [4]).

**Tabelle 14.** Einfluß des Treibmittels auf den Zuschlagswert Z der Wärmeleitfähigkeit (nach [4])

Dämmstoff	Treibmittel	Zuschlagswert Z	Geschlossen-zelligkeit
Phenolharz-Hartschaum	Pentan	0,30	> 90 %
Polystyrol-Extruderschaum	HFCKW 142 b	0,10 für $\lambda_{10,g} \geq 0,031 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}^*$ 0,20 für $\lambda_{10,g} \leq 0,027 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	> 95 %
	CO <sub>2</sub>	0,05	
Polyurethan-Hartschaum – ohne gasdiffusionsdichte Deckschichten	Pentan oder HFCKW 141 b	0,20 für $\lambda_{10,g} \geq 0,025 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,30 für $\lambda_{10,g} \leq 0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	> 90 %
	CO <sub>2</sub>	0,10	–
– mit gasdiffusionsdichten Deckschichten	Pentan oder HFCKW 141 b	0,10	> 90 % > 95 % <sup>1)</sup>
Polyurethan-Ortschaum	CO <sub>2</sub>	$\lambda_R 0,035$ für $\lambda_{10,g} < 0,033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	> 85 %

<sup>\*</sup>) Zwischenwerte interpolieren

<sup>1)</sup> bei freiem Randflächenanteil < 15 % und einer Breite  $\geq 1000 \text{ mm}$

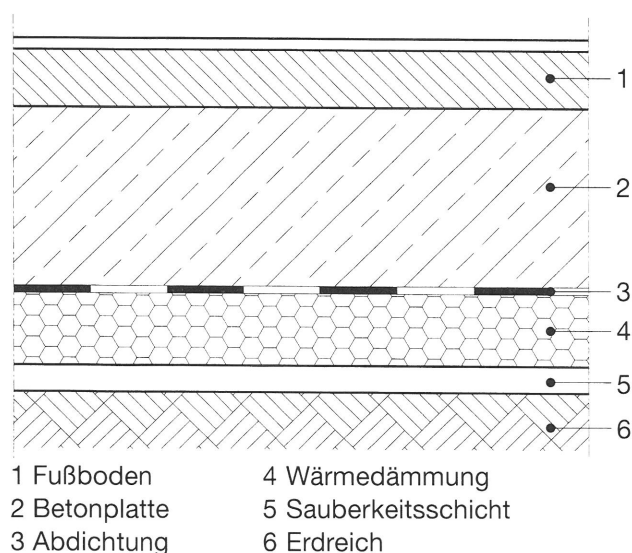
### 3 Anwendungsbereiche im Hochbau

#### 3.1 Erdberührte Bauteile

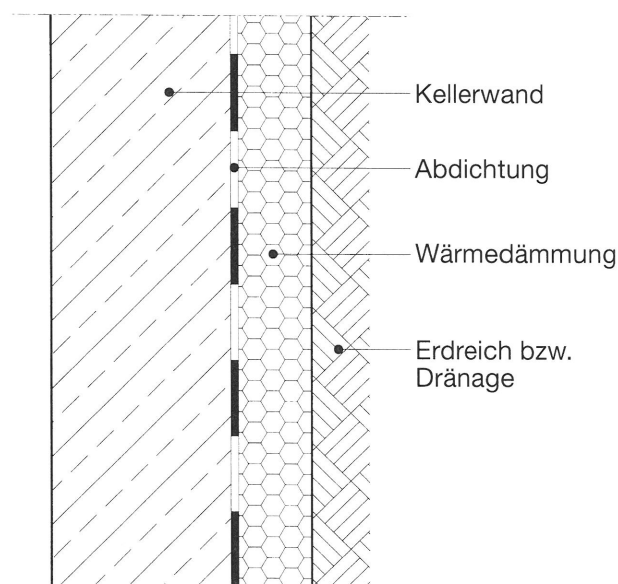
Hier finden Dämmstoffe außerhalb der Bauwerksabdichtung angrenzend an das Erdreich Verwendung (Bild 8 und 9). Für folgende Hartschaum-Kunststoffe ist die Brauchbarkeit durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erteilt [11]:

Anwendung im erdfeuchten Bereich (Dämmung gegen Erdreich unter unbelasteter Bodenplatte):

- extrudergeschäumte Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) mit Schäumhaut nach DIN 18 164-1, Typ WD oder WS
- expandierte Polystyrol-Hartschaumplatten (EPS) als Automatenware (nur für die Anwendung im Wandbereich auch als Block-



**Bild 8.** Perimeterdämmung unter dem Kellerfußboden (schematisch)



**Bild 9.** Perimeterdämmung im Wandbereich (schematisch)

ware) nach DIN 18 164–1, Typ WS mit einer Mindestrohddichte  $> 30 \text{ kg/m}^3$

- Polyurethan-Hartschaumplatten (PUR)

*Anwendung im drückenden Wasser* (Grundwasser):

- extrudergeschäumte Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) mit Schäumhaut

Für extrudergeschäumte Polystyrol-Hartschaumplatten mit dem Treibmittel HFCKW 142b liegen inzwischen so langjährige Erfahrungen vor, daß keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung mehr erforderlich ist und dieses Dämmsystem in DIN V 4108-4 (1998-10) – mit ergänzenden Bestimmungen zu DIN 4108-2 – *allgemein* geregelt werden konnte. XPS-Hartschaumplatten mit anderen Treibmitteln sind in Zulassungen geregelt.

Bei den Zulassungsprüfungen für die Perimeterdämmung müssen – neben den Anforderungen der Produktnorm DIN 18 164-1 – die Eigenschaften und Grenzwerte nach Tabelle 15 erfüllt werden.

Eine Übersicht (Stand: Juni 2000) über die vom DIBt, Berlin, zugelassenen Hartschaum-Dämmstoffprodukte liefern die Tabellen 16, 17 und 18 (nach [11]).

Zur Herstellung der in Tabelle 16 aufgeführten Dämmstoffe aus EPS haben die Rohstoffhersteller den Verarbeitern inzwischen spezielle Rohstoffe angeboten, die bei guter Partikelverschweißung eine geringe Wasseraufnahme bei den so hergestellten Dämmstoffteilen bewirken.

Neben der Bereitstellung geeigneter Wärmedämmstoffe hat die Industrie Anwendern eine Fülle von Anwendungshinweisen für dieses Bausegment gegeben [19].

Wie in Tabelle 15 aufgeführt, ist bei der Berechnung des U-Wertes der gesamten Wand- bzw. Fußbodenkonstruktion bei Verwendung von EPS- oder PUR-Hartschaumplatten der Wert um einen Zuschlag  $\Delta U = 0,04 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  zu erhöhen; dadurch findet das Langzeitverhalten (Wasseraufnahme, Druckbeanspruchung) Berücksichtigung.

Dämmstoffplatten, für die zusätzlich das Langzeitkriechverhalten unter Dauerlast über längere Zeiträume, verschiedene Druckspannungen und Dämmschichtdicken nachgewiesen sowie verschiedene Grenzwert- und Sicherheitsbeiwert-Betrachtungen durchgeführt wurden, können

auch als Wärmedämmung unter lastabtragenden Gründungsplatten zugelassen werden. Die Dämmstoffplatten müssen dann die entsprechenden Lasten der Gebäudekonstruktion aufnehmen. Erteilte allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen sind in Tabelle 19 aufgeführt.

## 3.2 Außenwände

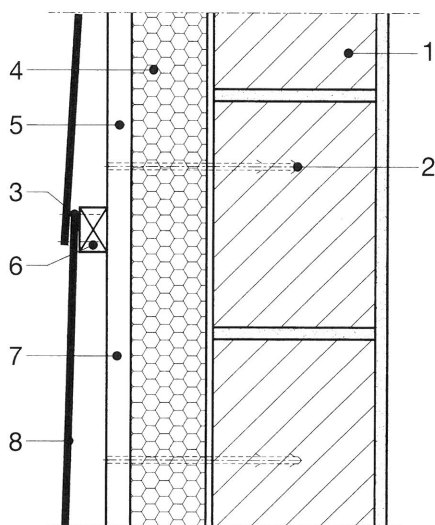
### 3.2.1 Außenliegende Wärmedämmung

#### Hinterlüftete Außenschale

Außenwandkonstruktionen mit hinterlüfteter Bekleidung erlauben die kostengünstige Anbringung von Dämmstoffen (Bild 10); mitgeltende Bestimmungen finden sich in DIN 18 515 „Fassadenbekleidungen aus Naturwerkstein, Betonwerkstein und keramischen Baustoffen, Richtlinien für die Ausführung“ und DIN 18 516 (01.90) „Außenwandbekleidungen, hinterlüftet, Teile 1, 3 und 4“ (vgl. auch [14]).

Fassadenunterkonstruktionen mit Dämmstoffdicken bis 120 mm sind zugelassen. Da der Dämmstoff nicht auf Druck belastet wird, eignet sich der Anwendungstyp W nach DIN 18 164-1 der Hartschaumdämmstoffe EPS, XPS oder PUR.

Wird allerdings die senkrechte Grundlattung *auf* die Wärmedämmschicht aufgelegt (gestützt), müssen Dämmstoffplatten zur Anwendung



- |                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| 1 Tragende Wandkonstruktion | 5 Grundlattung |
| 2 Verankerungsmittel        | 6 Traglattung  |
| 3 Verbindungsmittel         | 7 Luftschicht  |
| 4 Wärmedämmstoff            | 8 Bekleidung   |

**Bild 10.** Hinterlüftete Außenwandbekleidung (schematisch)

Tabelle 15. Anwendungsbereiche und Zulassungsanforderungen für die Perimeterdämmung

Zulassungsgegenstand	EPS-Hartschaum Platten	XPS-Hartschaum Platten	PUR-Hartschaum Platten
Ausprägung	PS-Partikelschaum – Automatenware – Blockware	XPS-Platten beidseitig mit Schäumhaut; Treibmittel: HFCKW 142 b (BRL) oder HFCKW 134a oder 152a oder CO <sub>2</sub> (ABZ)	PUR-Bandware beidseitig mit Mineral- vlies-/Glasvlies – Deckschichten Treibmittel: Pentan (BRL)
Anwendungsbe- reich	erdberührte Wände bis 3 m Tiefe; – bei wasserdurchlässigen Böden oder – bei bindigen oder geschichteten Böden mit Dränung nach DIN 4095 aber nicht bei ständig drückendem Wasser (Grund- wasser) und bei Kellerfußböden als statisch nicht tragende Bauteile	erdberührte Wände – bei wasserdurchlässigen oder bindig geschichte- ten Böden – bei ständig drückendem Wasser (Grundwasser) mit Auftriebssicherung und maximaler Ein- tauchtiefe von 3,5 m (ABZ) und – bei Kellerfußböden als statisch nicht tragende Bauteile sowie unter – lastverteilenden Gründungsplatten mit Stand- sicherheitsnachweis nach ABZ	erdberührte Wände bis 3 m Tiefe; – bei wasserdurchlässigen Böden oder – bei bindigen oder geschichteten Böden mit Dränung nach DIN 4095 aber nicht bei ständig drückendem Wasser (Grund- wasser) und bei Kellerfußböden als statisch nicht tragende Bauteile
Anforderungen	DIN 18 164-1, Typ WS; Rohdichte $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ Plattendicke: 50–120 mm $\sigma_{d,10\%} \geq 0,15 \text{ N/mm}^2$ Brandverhalten: B1 nach DIN 4102	DIN 18 164-1, Typ WD + WS nach Bauregelliste (BRL) oder ABZ Rohdichte $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ bis $\geq 45 \text{ kg/m}^3$ Plattendicke: 40–120 mm (–160 mm) $\sigma_{dB}$ oder $\sigma_{d,10\%} \geq 0,30 \text{ N/mm}^2$ bis $0,70 \text{ N/mm}^2$ Geschlossenzelligkeit nach DIN ISO 4590: $\geq 95$ Vol.-% Brandverhalten: B1 nach DIN 4102	DIN 18 164-1, Typ WD + WS Rohdichte $\geq 30 \text{ kg/m}^3$ (BRL) Plattendicke: 60–80–100 mm $\sigma_{dB}$ oder $\sigma_{d,10\%} \geq 0,15 \text{ N/mm}^2$ Geschlossenzelligkeit nach DIN ISO 4590: $\geq 90$ Vol.-% Brandverhalten: B2 nach DIN 4102
Bemessung und Ausführung	$\lambda_{R} = 0,035$ oder $0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $\Delta k$ -Zuschlag: $0,04 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ – Einlagige Verlegung – Bei lotrechten Verkehrslasten > $5 \text{ kN/m}^2$ mindestens 3 m Abstand von der Dämmung	$\lambda_{R} = 0,035$ oder $0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Einlagige Verlegung mit/ohne Kantenprofilierung, kein $\Delta k$ -Zuschlag; unter lastabtragenden Gründungsplatten (ABZ) – Standsicherheitsbemessung mit zulässigen Druckspannungen und – Wärmeschutzberechnung mit um 5 % reduzierter Nennstärke	$\lambda_{R} = 0,030 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $\Delta k$ -Zuschlag: $0,04 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ – Einlagige Verlegung – Bei lotrechten Verkehrslasten > $5 \text{ kN/m}^2$ mindestens 3 m Abstand von der Dämmung

**Table 16.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für expandierte Polystyrol-Hartschaumplatten (EPS) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [11])

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Gemadrain	Z-23.33-1268	Sirap Gema International S. A. 25028 Verolanuova Italien	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	$\geq 30$	B2	0,035 <sup>1)</sup>
Gemadrain – DF						
Götz EPS-Perimeterdämmung	Z-23.33-1283	Hartschaumtechnik Götz GmbH 72770 Reutlingen	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	$\geq 30$	B1	0,035 <sup>1)</sup>
Grebpor	Z-23.33-203	Gebr. Brohlburg 56626 Andernach	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Blockware)	$\geq 30$	B1	0,035 <sup>1)</sup>
Hirsch-Perimeterdämmplatte	Z-23.33-1240	Hirsch Dämmstoffe GmbH 9555 Glanegg 58 Österreich	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	30–36	B1	0,035 <sup>1)</sup>
Joma Perimeter-Dämmplatte	Z-23.33-1223	Joma Dämmstoffwerk GmbH 07554 Cretzschwitz	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Blockware)	30–35	B1	0,035 <sup>1)</sup>

**Tabelle 16.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für expandierte Polystyrol-Hartschaumplatten (EPS) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Peri-Top 200	Z-23.33-1118	Heidelberger Dämmsysteme GmbH 69115 Heidelberg	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	$\geq 30$	B1	0,035 <sup>1)</sup>
Montapaneel INS					B1	
ThermoDrain 200 WSD u. SD					B2	
Montapaneel DI u. DS					B1	
Perimeter- u. Sockel-dämmplatte 200					B1	
Peri-Top 250					B1	
ThermoDrain 250 WSD u. SD					B2	
Perimeter u. Sockel-dämmplatte					B1	
Primarosa					B1	
Rhinolith-Polystyrol-Hartschaumplatte PS 30 SE	Z-23.33-1207	Primanit Leichtbauplatten-Werk A-3332 Rosenau Österreich	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	$\geq 30$	B1	0,035 <sup>1)</sup>
Rygol-Perimeterdämmplatte	Z-23.33-1177	Rhinolith-Dämmstoffe GmbH 97343 Iphofen	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	30–35	B1	0,035 <sup>1)</sup>
	Z-23.33-1159	Rygol-Dämmstoffwerk Werner Rygol KG 93351 Painten	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	30–35		0,035 <sup>1)</sup>



**Tabelle 16.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für expandierte Polystyrol-Hartschaumplatten (EPS) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
SCHWENK Perimeter 'SA	Z-23.5-216	E. Schwenk Dämmtechnik GmbH & Co. KG 86899 Landsberg	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	35–40	B1	0,035 <sup>1)</sup>
SCHWENK Perimeter 'SB	Z-23.5-217	E. Schwenk Dämmtechnik GmbH & Co. KG 86899 Landsberg	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Blockware)	30–40	B1	0,035 <sup>1)</sup>
SCHWENK Sockel 'S'	Z-23.33-1257	E. Schwenk Dämmtechnik GmbH & Co. KG 86899 Landsberg	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	30–35	B1	0,035 <sup>1)</sup>
Steinodur PSN	Z-23.33-232	Steinbacher Dämmstoff Ges. m. b.H A-6383 Erpfendorf/ Tirol	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	30–40	B1	0,035 <sup>1)</sup>
STYROPOR PS 30 SE	Z-23.5-112	IVH Industrieverband Hartschaum e. V. 69123 Heidelberg	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Automatenware)	≥ 30	B1	0,035 <sup>1)</sup> oder <sup>2)</sup> 0,040 <sup>1)</sup>
WKI-Perimeter	Z-23.33-1201	wki isoliertechnik gmbH berlin 13088 Berlin	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) (Blockware)	30–40	B1	0,035 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> der Wärmedurchgangskoeffizient  $k$  des wärmedämmten Bauteils ist um den Zuschlag  $\Delta k = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  zu erhöhen

<sup>2)</sup> entsprechend der Einstufung in die jeweilige Wärmeleitfähigkeitsgruppe



**Tabelle 17.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [11])

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart	Roh-dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Austrotherm TOP 30	Z-23.33-1293	Austrotherm GmbH 2754 Waldegg/ Österreich	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 35	B1	0,035 oder <sup>2)</sup> 0,040
Austrotherm TOP 50						0,040
Ecopor 30	Z-23.33-1255	Superglass Dämmstoffe GmbH 61118 Bad Vilbel	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035 oder <sup>2)</sup> 0,040
Gematherm XOF 3	Z-23.33-1278	Sirap Gema International S. A. 25028 Verolanuova Italien	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> und HFCKW 134a als Treibmittel	35–43	B1	0,035 oder 0,040 <sup>1)</sup>
Gematherm XOF 4						
Gematherm XOF PH						
Glascofoam T-III	Z-23.33-234	Poliglas GmbH Industriepark Halle-Queis 06188 Queis	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035
Glascofoam T-IV				≥ 35		0,030
Glascofoam T-V				≥ 35		0,035
Glascofoam XPS N-III	Z-23.33-1264	Poliglas GmbH Industriepark Halle-Queis 06188 Queis	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	36–42	B1	0,035 <sup>3)</sup> oder 0,040 <sup>4)</sup>
Glascofoam XPS N-III-PS						
Glascofoam XPS N-V						

Fußnoten siehe Seite 186

**Tabelle 17.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
ISOFOAM-Xde3	Z-23.5-104.1	SIRAP GEMA INTERNATIONAL S. A. B-7170 Manage Belgien	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 32	B1	0,035/0,040 <sup>3)</sup>
ISOFOAM-Xde 4						
ISOFOAM-Xde Peri 030						
ISOFOAM-Xde PH						
Jackodur 35-300 Standard	Z-23.5-110	Gefinex-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 35	B1	0,035
Jackodur 35-500 Standard						
Jackodur 30-300 Standard						
Domodur 35-300 Standard						
Jackodur CFR 35-300	Z-23.33-1248	Gefinex-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 152a als Treibmittel	35–40	B1	0,035 oder <sup>2)</sup> 0,040 oder <sup>2)</sup> 0,045
Jackodur CFR 35-500						
Domodur CFR 35-300 Standard						
Jackodur ProClima H Ecoprim 955						
K-Foam	Z-23.33-241	Knauf Foam F-64170 Artix Frankreich	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,030 oder <sup>2)</sup> 0,035

**Tabelle 17.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [111]) (Fortsetzung)

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart	Roh-dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Perimate INS	Z-23.33-239	DOW Deutschland Inc. Vertrieb 65824 Schwalbach	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035
Perimate DI				B2	0,035	
Roofmate SP				≥ 35	B1	0,030
Roofmate				≥ 30		0,035
Floormate 500				≥ 35		0,035
Floormate 700				≥ 45		0,035
Polyfoam LJ 280 C	Z-23.33-1290	N. V. Owens Corning S. A. International Building Materials Systems 4600 Vise Belgien	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035 oder <sup>2)</sup> 0,040
Polyfoam SE 280 C						
Polyfoam LJ 350 C						
Polyfoam SE 350 C						
Pingo SF	Z-23.33-238	Pfleiderer Dämmstoff-technik International GmbH 92318 Neumarkt	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035
Pingo SX				≥ 35		0,030
Pingo SD						0,035
Pingo C SF	Z-23.33-1086	Pfleiderer Dämmstoff-technik GmbH+Co. 92318 Neumarkt	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 37	B1	0,035 oder <sup>2)</sup> 0,040
Rondopan	Z-23.33-220	Rondoplas 9-11 Hamaayan 58120 Holon Israel	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	32-38	B1	0,035

Fußnoten siehe Seite 186

**Tabelle 17.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Roofmate Avance A	Z-23.5-225	DOW Deutschland Inc. Vertrieb 65824 Schwalbach	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	38–50	B1	0,035 oder <sup>2)</sup> 0,040
Perimate Avance INS-A					B1	
Perimate Avance DI-A					B2	
Floormate Avance 500-A					B1	
Styrodur 3000	Z-23.5-101.1	BASF AG 67056 Ludwigshafen	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFC KW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,030 oder <sup>2)</sup> 0,035
Styrodur 3035				≥ 30		
Styrodur 4000				≥ 35		
Styrodur 5000				≥ 45		
Styrodur 2800 C	Z-23.5-223	BASF AG 67056 Ludwigshafen	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035 oder <sup>2)</sup> 0,040
Styrodur 3035 C				≥ 30		
Styrodur 4000 C				≥ 35		
Styrodur 5000 C				≥ 40		

<sup>1)</sup> bei Anordnung der Extruderschaumplatten in ständig oder langanhaltend drückendem Wasser

<sup>2)</sup> entsprechend der Einstufung in die jeweilige Wärmeleitfähigkeitsgruppe

<sup>3)</sup> bei Plattendicken ≤ 60 mm

<sup>4)</sup> bei Plattendicken > 60 mm

**Tabelle 18.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Polyurethan-Hartschaumplatten (PUR) für die Anwendung als Perimeterdämmung (nach [11])

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Bauder PUR	Z-23.33-1259	IVPU Industrieverband Polyurethan- Hartschaum e.V. Kriegerstr. 17 70191 Stuttgart	PUR- Hart- schaum- platten mit Pentan als Treib- mittel	$\geq 30$	B2	0,030 <sup>1)</sup>
LINITHERM						
ROXON-V						
Bachl-Peri-PUR Dämmplatte						
SELTHAAN PUR Perimeter- dämmplatte						
Thermopur						
puren Perimeter- dämmung Typ PD 030						

<sup>1)</sup> der Wärmedurchgangskoeffizient U des wärme gedämmten Bauteils ist um den Zuschlag  $\Delta U = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  zu erhöhen.

**Tabelle 19.** Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für XPS für die Anwendung unter lastabtragenden Gründungsplatten

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Roofmate SL-A	Z-23.34-1324	Dow Deutschland Inc. Vertrieb 65824 Schwalbach	extruderge- schäumter Polystyrol- Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel, Zellgas Luft	$\geq 37$	B1	0,035 oder <sup>1)</sup> 0,040
Perimate INS-A				$\geq 37$		
Floormate 500-A				$\geq 37$		
Floormate 700-A				$\geq 37$		
Styrodur 3035 CS	Z-23.34-1325	BASF Aktien- gesellschaft 67056 Ludwigs- hafen	extruderge- schäumter Polystyrol- Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel, Zellgas Luft	$\geq 30$	B1	0,035
Styrodur 4000 CS				$\geq 35$		0,040
Styrodur 5000 CS				$\geq 45$		0,045

<sup>1)</sup> entsprechend der Einstufung in die jeweilige Wärmeleitfähigkeitsgruppe

kommen, die mindestens dem Anwendungstyp WD nach DIN 18 164-1 entsprechen.

Die einschalige Unterkonstruktion mit der außenseitig angebrachten Wärmedämmschicht ist wasserdampfdiffusionstechnisch problemlos – auch bei Anwendung von Kunststoffdämmstoffen mit hohen Diffusionswiderstandszahlen, wie z. B. XPS, so daß gemäß DIN 4108-3 kein Nachweis des *Tauwasserausfalls* infolge Dampfdiffusion notwendig ist. In Bezug auf den *Schallschutz* richtet sich das bewertete Schalldämm-Maß  $R'_w$  gemäß DIN 4109 allein nach der flächenbezogenen Masse der tragenden Wand.

Bauaufsichtliche Anforderungen an den *Brand-schutz* ergeben sich aus den einschlägigen (landesspezifischen) Richtlinien für die Verwendung brennbarer Stoffe im Hochbau: bei Gebäuden mit zwei bzw. drei Vollgeschossen sollte die Dämmschicht der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102, bei Gebäuden mit mehr als zwei bzw. drei Vollgeschossen der Baustoffklasse B1 nach DIN 4102 angehören. Für Hochhäuser gelten Sonderregelungen.

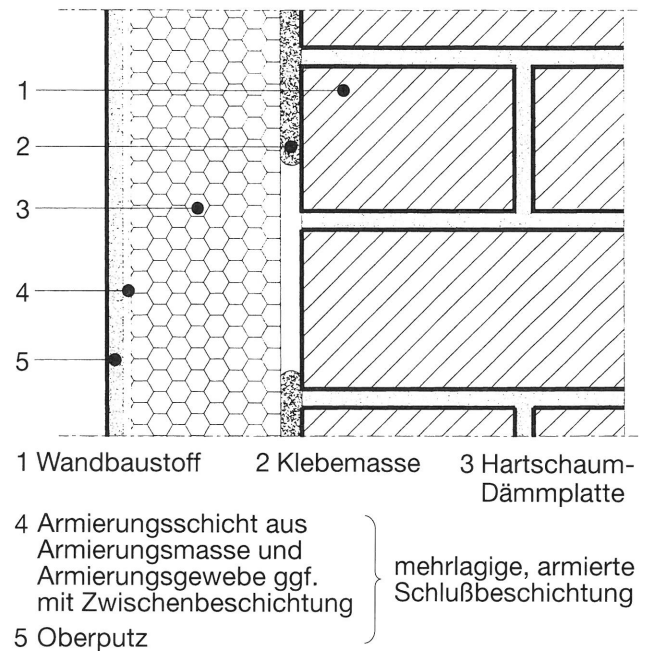
### Wärmedämm-Verbundsystem

Hierbei entsteht das „Verbundsystem“ durch

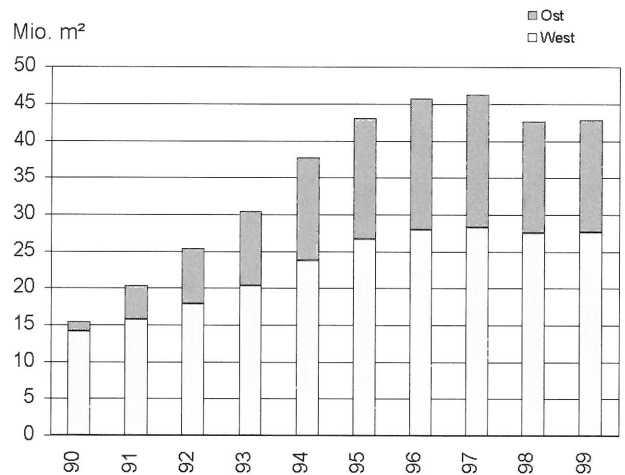
- Aufkleben des Dämmstoffs mit Klebmasse auf die Außenwand bzw. durch mechanische Befestigung mit Dübeln oder mit einem Schienensystem
- Aufbringen einer mehrlagigen armierten Putzschicht aus Armierungsschicht, Armierungsgewebe und Außenputz (Bild 11)

Entscheidend für den Systemgedanken ist, daß Klebmasse, Dämmstoff, Armierungsschicht, Armierungsgewebe und Schlußbeschichtung aufeinander abgestimmt sind. Der Markt bietet hier ausreichend erprobte und geprüfte Produkte an; damit ergibt sich eine Fülle von Materialkombinationen [15]. Den Erfolg dieses Dämmsystems zeigt eine Marktstatistik, nach der in Deutschland (Ost und West) seit 1990 mit stark zunehmender Tendenz im Alt- und Neubaubereich WDV-Systeme zum Einsatz kommen – mit z. Zt. ca. 40 Mio. m<sup>2</sup> „Dämmleistung“ pro Jahr (Bild 12).

Wachstumschancen für dieses System bietet einmal die zu erwartende Zunahme der Dämmschichtdicke, die 1999 statistisch nur bei 77,4 mm lag – sowie ein Impuls durch Produktinnovationen. Marktführer bei den Dämmstof-



**Bild 11.** Aufbau des Wärmedämmverbundsystems (schematisch)



**Bild 12.** Marktentwicklung Wärmedämmverbundsystem, Deutschland 1990–1999

fen sind die Hartschaumplatten aus EPS (ca. 87 %); an zweiter Stelle stehen Mineralfaser-Dämmstoffplatten/-Lamellen (ca. 13 %).

Die Systemvielfalt ergibt sich nicht primär aus der Verwendung unterschiedlicher Dämmstoffe, sondern aus der Kombinationsmöglichkeit von Befestigung, Armierung und Oberflächengestaltung (Tabelle 20).

Nach Festlegung der Materialkombination entscheiden dann die Untergrundbeschaffenheit der Außenfassade und die Gebäudehöhe über die zu wählende Art der Befestigung; hierbei sind verschiedene Arten möglich (Tabelle 21).

**Tabelle 20.** Übersicht über Materialkombinationen bei WDV-Systemen

	Materialien
Dämmstoff	Kunststoff-Hartschaum (vorwiegend EPS) oder Mineralwolle-Platten/-Lamellen
Armierungsschicht (Grundputz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– dispersionsgebunden, Dünnschicht</li> <li>– zementgebunden, Normalschicht</li> <li>– zementgebunden, Dickschicht</li> <li>– Sonderausführungen</li> </ul>
Schlußbeschichtung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Kunstharzputz, pastös</li> <li>– Siliconputz, pastös</li> <li>– Silikatputz, pastös</li> <li>– Silikatleichtputz, Trockenmörtel</li> <li>– Mineralputz, Trockenmörtel</li> <li>– Mineral-Leichtputz, Trockenmörtel</li> <li>– Edelkratzputz, Trockenmörtel</li> <li>– Flachverblender</li> </ul>

**Tabelle 21.** Befestigungsarten für WDV-Systeme

Befestigungsverfahren	Materialien
Klebeverfahren	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Dispersionskleber (Kunststoffdispersion), ohne Zusätze verarbeitbar</li> <li>– Dispersionskleber (vor Verarbeitung mit Zement zu versetzen)</li> <li>– Kleber in Pulverform (werksgemischt) zum Anteigen mit Wasser</li> </ul>
Klebeverfahren und Verdübelung	<p>Dübelvarianten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tellerdübel mit Kunststoff-Spreizstift</li> <li>– Tellerdübel mit Metall-Spreizstift</li> <li>– Tellerdübel für maschinelle Verarbeitung</li> <li>– je nach Anforderung: Dübellängen – und Verankerungstiefen – Auswahl</li> </ul>
Schienenbefestigung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Profilschienen (als Alternative zur Verklebung)</li> </ul>

Um wegen dieser Kombinationsvielfalt dem Planer und Handwerker die nötige System-sicherheit zu geben, unterliegen die WDV-Systeme einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung durch das DIBt. Bei der Verwendung von EPS werden z. Zt. vier „Zulassungstypen“ unterschieden:

- WDVS mit EPS als Dämmstoff und armier-tem Putzsystem, Befestigung durch Verklebung
- WDVS mit EPS als Dämmstoff und armier-tem Putzsystem, Befestigung durch Verklebung und Verdübelung
- WDVS mit EPS als Dämmstoff und kerami-scher Bekleidung, Befestigung durch Verklebung oder durch Verklebung und Verdübe-lung
- WDVS mit EPS als Dämmstoff und armierte Putzbeschichtung, Befestigung durch Halte-und Verbindungsleisten (schienenbefestigte Systeme).

Die sogenannte „Systemgeschlossenheit“ ergibt sich nicht nur durch die Zulassungsbedingungen des DIBt, sondern auch durch die Forderung, daß die Systemkomponenten von *einem* Systemlieferanten geliefert werden müssen.

Objektbezogen kommt hinzu, daß der Zustand des Untergrundes maßgeblich über den anzuwendenden Zulassungstyp entscheidet – und somit planungsrelevant ist. Um die technische Sicherheit dieses Dämmsystems zu gewährleisten, müssen – neben den zulassungsbedingten Untergrundanforderungen – in der Sanierung unbedingt die handwerklichen Erfahrungen zur Beurteilung genutzt werden [16].

Parallel zur bauaufsichtlichen Qualitätsanforde-rung hat sich die Industrie eigene abgestimmte Richtlinien gegeben [17]; den Vergleich der Anforderungen zur Standardproduktnorm DIN 18 164-1 verdeutlicht Tabelle 22.

Die „selbstverordneten“ Qualitätskriterien der Industrie haben mittlerweile in die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen Eingang gefun-den, wobei in den Bestimmungen auf die neuen europäischen Prüfverfahren verwiesen wird und entsprechende Anforderungen für relevante Eigenschaften festgelegt wurden, so auch an die dynamische Steifigkeit der EPS-Hartschaum-dämmplatte, um den Schallschutzforderungen noch besser gerecht zu werden (Tabelle 23).

**Tabelle 22.** Vergleich der Produkthanforderungen: EPS-Hartschaum nach DIN 18 164-1 und nach Industrie-Richtlinien für WDV-Systeme (nach [17])

Merkmale	DIN 18 164 Teil 1	WDV-Anforderungen
Rohstoffe	Regenerat zulässig	Frei von werksfremdem Regenerat
Rohdichte	Mittelwert bis max. 10 % Abweichung einzelner Platten nach unten, nach oben keine Beschränkung	PS 15 SE $\geq 15,0 \text{ kg/m}^3$ PS 20 SE $\geq 20,0 \leq 25,0 \text{ kg/m}^3$
Brandverhalten	min. normalentflammbar Baustoffklasse B2	schwerentflammbar Baustoffklasse B1
Querzugfestigkeit	keine Anforderung	bei angeklebten und/oder gedübelten Systemen $\geq 0,10 \text{ N/mm}^2$ bei Schienensystemen $\geq 0,15 \text{ N/mm}^2$
Irreversible Längenänderung	+ 1 % – 0,3 %	$\leq 0,15 \%$
Breiten- und Längentoleranz	$\pm 0,8 \%$ oder max. $\pm 10 \text{ mm}$	$< 0,2 \%$
Dickentoleranz	$\leq 50 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ $> 50 \text{ mm} + 3 \text{ mm} - 2 \text{ mm}$	$\pm 1 \text{ mm}$
Plattenebenheit	keine Anforderung	$\leq 3 \text{ mm/m}$
Rechtwinkligkeit	bei 500 mm Schenkellänge max. 3 mm	bei 500 mm Schenkellänge max. 1,0 mm

**Tabelle 23.** Anforderungen an EPS-Dämmplatten nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (Beispiel)

Merkmal	Bestimmung <sup>*)</sup> für das Bauprodukt	Prüfnorm
Anwendungstyp	W	DIN 18 164-1 (08-92)
Dicke	$\geq 200 \text{ mm}$	
Rohdichte $\rho$	$15 < \rho < 20 \text{ kg/m}^3$	DIN 18 164-1 (08-92)
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda_z \leq 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$	DIN 52 612-1 (09-79)
Dynamische Steifigkeit $s'$	$\leq 10 \text{ MN/m}^3$	DIN EN 29 052-1 (08-92)
Brandverhalten	Baustoffklasse B1	DIN 4102-1 (05-98)
Querzugfestigkeit	$\geq 80 \text{ kPa}$	DIN EN 1607 (01-97)
Scherfestigkeit und Schubmodul	$> 30 \text{ kPa}$ $> 300 \text{ kPa}$	DIN EN 12 090 (08-97)
Zusammensetzung	– hinterlegt –	(Forderung des DIBt)

<sup>\*)</sup> lt. Z-33.4-449 vom 27. 03. 2000, Firma Schwenk, Landsberg



### Europäisches Regelwerk

Der Vollständigkeit halber werden hier die europäischen Normungsbemühungen zum WDV-System (CEN/TC 88/WG 19) erwähnt; Tabelle 24 nennt bereits vorliegende Normentwürfe.

Während die Prüfnormen prEN 13 494 bis 13 498 sicherlich eine Grundlage für die Systemqualitätssicherung bilden können, ist unklar, ob die (nicht-EU-mandierten) *Spezifikationsnormen* prEN 13 499 bzw. prEN 13 500 Marktrelevanz erlangen werden, da möglicherweise das europäische Zulassungsverfahren (ETA) den Vorzug erhalten wird.

### Schallschutztechnische Anforderungen

Neben dem – zunehmend wichtiger werdenden – Wärmeschutz ist die Schalldämmung der Außenbauteile von *neuen* Gebäuden, aber auch bei der Altbausanierung von großer Bedeutung.

**Tabelle 24.** DIN EN-Entwürfe zur Normung von WDV-Systemen (Stand Juni 1999)

DIN EN-Entwurfs-Nr.	Normungsinhalt
13 494	Bestimmung der Haftzugfestigkeit zwischen Kleber und Wärmedämmstoff sowie zwischen Unterputz und Wärmedämmstoff
13 495	Bestimmung der Abreißfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) (Schaumblock-Verfahren)
13 496	Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Glasfasergewebe
13 497	Bestimmung der Schlagfestigkeit von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)
13 498	Bestimmung des Eindringwiderstandes von außenseitigen Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS)
13 499	Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol
13 500	Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle

Um die auf der DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ basierenden baurechtlich verbindlichen Anforderung zu erfüllen – und relevante Einflußfaktoren aufzudecken – hat die Industrie in Form von Eignungsprüfungen und Forschungsprogrammen in jüngster Zeit entsprechende Anstrengungen unternommen [18].

Massivwände mit Wärmedämm-Verbundsystem können in akustischer Hinsicht als zweischalige Bauteile betrachtet werden, wobei die Resonanzfrequenz  $f_o$  u. a. eine Funktion der dynamischen Steifigkeit  $s'$  ist. Die Lage der Resonanzfrequenz führt dann wiederum zu einer Verbesserung oder Verschlechterung des bewerteten Schalldämm-Maßes  $R'_w$  im Vergleich zur Massivwand ohne WDVS. Insofern macht es Sinn, durch Elastifizierung der EPS-Hartschaumplatte die Resonanzfrequenz in tiefere Frequenzen zu verlagern, um die Schalldämmwerte zu verbessern. Parallel dazu kann durch eine Erhöhung der flächenbezogenen Masse des Außenputzes das bewertete Schalldämm-Maß verbessert werden. In Tabelle 25 sind diese Effekte quantitativ zusammengefaßt.

Vereinfachend ist festzuhalten, daß eine Wand mit WDV-System im Vergleich zu einer einschaligen Außenwand bei gleicher Wanddicke

- einen ca. 20 % höheren Wärmedurchlaßwiderstand
- ca. 4 dB höhere Schalldämmwerte

in der Praxis erreicht.

### Ökobilanz von WDV-Systemen

Für die Bewertung von Bauprodukten gewinnt ein Bilanzierungsverfahren immer größere praktische (z. B. als Kriterium für die Produktauswahl) und strategische (Vorgabe der Richtung von Forschungsthemen) Bedeutung: die Ökobilanzierung; bezieht man wirtschaftliche Kriterien mit ein, spricht man auch von Ökoeffizienzbilanzen. Wie eingangs erwähnt, sollen Dämmstoffe/-systeme helfen, Schadstoffemissionen (u. a. CO<sub>2</sub>) durch Reduktion des Energiebedarfes zu vermeiden/verringern. Neben der *Verwendung/Anwendung* der hier beschriebenen Produkte muß darüber hinaus sichergestellt sein, daß bei der *Herstellung* (und ggf. Entsorgung) weniger Energie und weniger Schadstoff-Emissionen auftreten als während der Produktnutzungsphase eingespart werden; nur dann kann man von einer *positiven* Ökobilanz sprechen.

Gemäß DIN EN ISO 14040 wurden für ganz konkrete Fälle (z. B. Altbausanierung) für eine Nutzungsphase von 40 Jahren Ökobilanzen berechnet [15]. Die Studie kam zu dem Ergebnis, daß der Einsatz von WDV-Systemen sinnvoll ist, da in jedem der betrachteten Fälle

- die durch die Produktion des WDV-Systemes verbrauchte Energie sich in weniger als zwei Jahren „amortisierte“
- die verringerten Emissionen während der Nutzungsphase nach wenigen Jahren per Saldo zu einer Umweltentlastung führten.

Auch über die sinnvolle Richtung einer Produktverbesserung gibt die Ökobilanzierung Auskunft. So bilanzieren erwähnten EPS-Hartschaumplatten mit inkorporierten IR-Absorbern besser als „normales“ EPS in WDV-Systemen, da (für den betrachteten Fall und die festgelegten Systemgrenzen):

- der Stoffverbrauch bei besserer Dämmleistung reduziert ist
- der Energieverbrauch geringer ist.

Durch die Einbeziehung produktrelevanter Emissionen, möglicher Toxizität und des Risikopotentials bei gekoppelter Einbeziehung der Kosten läßt sich ein „ökoeffizientes“ Optimum zukünftiger Produktverbesserungsziele, im Vergleich zum Standardprodukt, ablesen [19].

### 3.2.2 Zweischaliges Mauerwerk

#### *Mit Wärmedämmung und Luftschicht*

Bei der Dämmung von zweischaligem Mauerwerk wird eine Dämmschicht zwischen eine tragende Innenschale (z. B. Hintermauerschale oder Betonwand) und eine nichttragende Außenschale (Verblend- oder Vormauerschale) eingebaut; der lichte Abstand der beiden Schalen

darf 15 cm nicht überschreiten. Bild 13 stellt die Ausführung mit zusätzlicher Luftschicht dar.

Nach DIN 1053-1 (02.90) sind die Dämmplatten an der Innenschale so zu befestigen, daß eine gleichmäßige Schichtdicke sichergestellt ist; die Hartschaum-Dämmplatten müssen so ausgebildet sein und so verlegt werden, daß ein Wasserdurchtritt an den Stoßstellen dauerhaft verhindert wird (z. B. durch Kantenprofilierung oder entsprechende mehrlagige Verlegung). Die beim Durchstechen der Drahtanker ggf. entstehenden Materialausbruchstellen sollen mit einer lösungsmittelfreien Dichtungsmasse verschlossen werden. Da keine Beanspruchung durch Druck oder Temperatur erfolgt, kommen Hartschaumdämmstoffe (EPS, XPS oder PUR) des *Anwendungstyps W* nach DIN 18164-1 zum Einsatz. Für den baulichen *Brandschutz* müssen die Dämmplatten, für sich geprüft, mindestens normalentflammbar (Baustoffklasse B2 nach DIN 4102), bei Hochhäusern mindestens schwerentflammbar (Baustoffklasse B1 nach DIN 4102) sein. Bei der Dämmung mit *Luftschicht* ist bei funktionsfähiger Belüftung gemäß DIN 1053 kein Tauwasser im Innern der Konstruktion zu erwarten, da der durch die Innenschale und die Dämmschicht hindurch diffundierende *Wasserdampf* in der Luftschicht nach außen abgeführt werden kann.

#### *Kerndämmung*

Hier muß die Dämmung den Hohlraum des zweischaligen Mauerwerks (Außenwände) *vollständig* ausfüllen (Bild 14). Tabelle 26 gibt einen Überblick über die zugelassenen Kunststoff-Dämmstoffe (nach [11]).

Zum Einsatz kommen weiterhin Kerndämm-Ortschäume nach DIN 18159-2; nach DIN 1053-1 muß ein solcher Harnstoff-Formaldehydharz-

**Tabelle 25.** Korrekturwerte für das Schalldämm-Maß  $R_w$  einer massiven Wand mit nachträglicher Aufbringung eines WDV-Systemes

Dämmstoff	Befestigung	Dämmstoffdicke [mm]	Außenputzflächenbezogene Masse	
			10 kg/m <sup>2</sup>	25 kg/m <sup>2</sup>
EPS-Hartschaum	geklebt	alle	-2 dB	-1 dB
	geklebt und gedübelt	alle	-3 dB	-3 dB
EPS-Hartschaum – elastifiziert	geklebt	100	+2 dB	+4 dB
	geklebt und gedübelt	100	0	+2 dB

Ortschaum beim Ausschäumen den Hohlraum zwischen Außen- und Innenschale vollständig ausfüllen; die Ausschäumung muß auf Dauer in ihrer Wirkung erhalten bleiben. Weitere Detailbestimmungen sind in der ETB-Richtlinie für UF-Ortschaum zu finden [29]. Tabelle 26 informiert auch über Einzelheiten von entsprechenden Zulassungsbescheiden (nach [29]).

Das zweischalige Mauerwerk mit Kerndämmung hat sich als sehr effektive Konstruktion, gerade in wind- und auch regenreichen Gebieten (starke Schlagregenbeanspruchung), bewährt und wird in die höchste Beanspruchungsgruppe III nach DIN 4108-3 eingestuft. Bei der hier beschriebenen Konstruktion *ohne* Luftschicht wird grundsätzlich auf der Innenseite der Außenschale *Tauwasser* anfallen. Die Tauwassermenge liegt bei den hier beschriebenen Systemen im erlaubten Größenbereich und gewährleistet somit eine sichere Rücktrocknung (notwendige Brandschutzerfordernisse an Dämmstoffe gibt Tabelle 26).

Die zweischalige Mauerwerkkonstruktion mit Kerndämmung bietet auch im Hinblick auf den *Schallschutz* optimale Werte. Das bewertete Schalldämm-Maß  $R'_w$  wird hierbei aus der Summe der flächenbezogenen Massen beider Schalen ermittelt. Für die zweischalige Ausführung darf auf den so ermittelten Wert folgender Zuschlag erhoben werden:

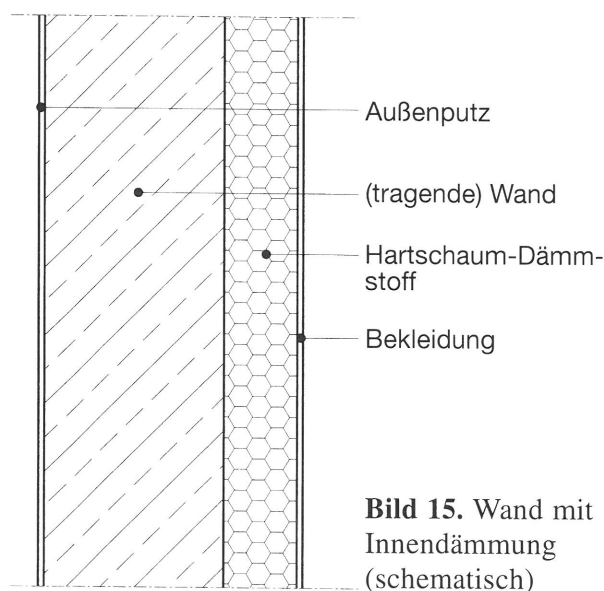
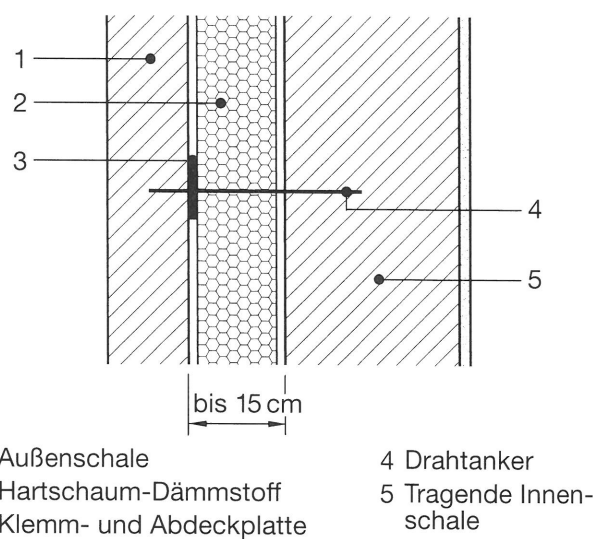
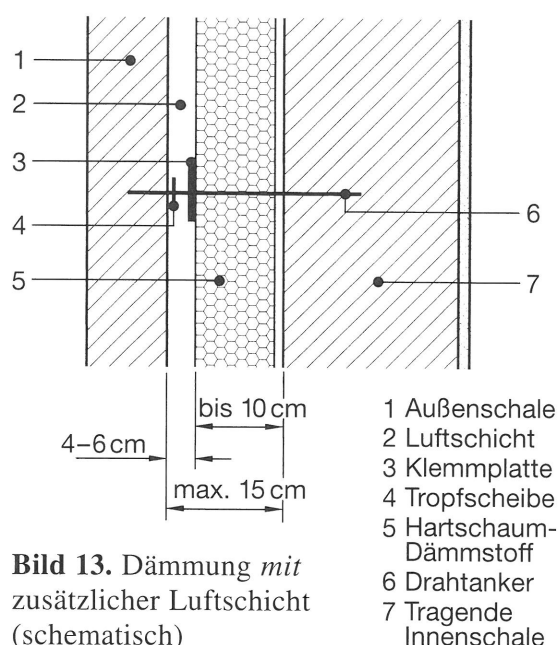
- 5 dB, wenn die flächenbezogene Masse der anschließenden Innenwände nicht mehr als 50 % der inneren Schale oder Außenwand beträgt
- 8 dB, wenn die flächenbezogene Masse der anschließenden Innenwände mehr als 50 % der inneren Schale der Außenwand beträgt.

Für zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht oder Wärmedämmstoffen im Schalenzwischenraum ist bei üblicher Ausführung ein bewertetes Schalldämm-Maß von 55 bis 66 dB erzielbar.

### 3.2.3 Innendämmung

Als „nachträgliche“ Maßnahme zum Wärmeschutz bietet sich – insbesondere bei der Altbausanierung bzw. bei der Sanierung von Gebäuden mit denkmalgeschützter Fassade – das Anbringen einer Innendämmung an (Bild 15).

Der Markt bietet zur raschen Problemlösung großflächige, geschoßhohe Verbundplatten an, bestehend aus dem Hartschaum-Dämmstoff



**Table 26.** Kunststoff-Dämmstoffe für die Kerndämmung (nach [11])

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Dämmplatte	Roh-dichte (Mittelwert) [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1 [26]	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Gematherm XOF 2	Z-23.12-1269	SIRAP GEMA INTERNATIONAL S. A., B-7170 Manage, Belgien	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> und HFKW 134a als Treibmittel	35–40	B1	0,035
Gematherm XOF 3						
Gematherm XOF 4						
Isofoam-Xde2	Z-23.12-134	SIRAP GEMA INTERNATIONAL S. A., B-7170 Manage, Belgien	extrudergeschäumte Polystyrol-Hartschaumplatte (XPS) mit HFKW 142b als Treibmittel	32–36	B1	0,035
Isofoam-Xde3						
Isofoam-Xde4						
Isofoam-Xde-Peri 030						
Jackodur 35-300 Standard	Z-23.2.2-162.1	Gefinex-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumte Polystyrol-Hartschaumplatte (XPS) mit HFKW 142b als Treibmittel	$\geq 35$	B1	0,035
Jackodur 30-300 Standard						
Jackodur 35-200 Standard						
Jackodur 35-300 Gefiniert						
Jackodur 35-300 Feintoleranz						
Domodur 35-300 Standard						
Domodur 35-300 Gefiniert						
Domodur 35-300 Feintoleranz						
Domodur 35-300 Gefiniert						
Domodur 35-300 Feintoleranz						
Domodur 35-300 Gefiniert						
Domodur 35-300 Feintoleranz						

Tabelle 26. Kunststoff-Dämmstoffe für die Kerndämmung (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Dämmplatte	Rohdichte (Mittelwert) [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1 [26]	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Jackodur CFR 35-300 Standard	Z-23.12-1245	Gefinex-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 152a als Treibmittel	35-40	B1	0,035 <sup>1)</sup> oder 0,040 <sup>2)</sup>
Jackodur CFR 35-200 Standard						
Jackodur ProClim H Ecoprim 955	Z-23.12-1225	Gefinex-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumte Polystyrol-Hartschaumplatte (XPS) mit HFCKW 134a und HFCKW 152a als Treibmittel	25-36	B1	0,035
Styrodur 2000	Z-23.12-1019	BASF Aktiengesellschaft, 67056 Ludwigshafen	extrudergeschäumte Polystyrol-Hartschaumplatte (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	25-60	B1	0,035
Styropor Polystyrol (PS)-Hartschaumplatte	Z-23.2.2-78	Industrieverband Hartschaum e. V. 69123 Heidelberg	expandierte Polystyrol-Hartschaumplatte (EPS)	$\geq 30$ (Typ WS)	B1	0,035
				$\geq 20$ (Typ WD) $\geq 15$ (Typ W)		0,040
Polyurethan (PUR)-Hartschaumplatte	Z-23.2.2-114.1	IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V. 70191 Stuttgart	Polyurethan-Hartschaumplatte	$\geq 30$	B1	0,030
					B2	0,030
					B1	0,035
				B2		0,035
AM-Montageschaum (thermoschaum)-Ortschaum	Z-23.2.3-27	Wilmsen Spritzschaum GmbH 45133 Essen	Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum (UF-Ortschaum)	$\geq 10$ (Probe aus verschäumtem Mauerwerk)	B2	0,040

<sup>1)</sup> bei Plattendicken  $\leq 60$  mm<sup>2)</sup> bei Plattendicken  $> 60$  mm

und einer Bekleidung, z. B. Gipskarton, Putz oder Holzwerkstoffplatten. Die Wandbefestigung geschieht mit einem Ansetzbinder oder einem Baukleber. Da in diesem Anwendungsfall keine Druckbelastung auftritt, kommen Dämmstoffe des Typs W nach DIN 18 164-1 zum Einsatz. Empfohlene Dämmschichtdicken liegen zwischen 6–10 cm. Gemäß Brandschutzanforderungen müssen die Platten der Baustoffklasse B2 (normalentflammbar) nach DIN 4102 entsprechen.

Neben den Vorteilen (nachträgliches Anbringen, rasches Erwärmen eines Raumes sowie örtliche oder raumweise Dämmung möglich) sind u. U. Nachteile in Kauf zu nehmen bzw. durch Beachten konstruktiver Details zu vermeiden:

- Heranführen der Dämmung bis an die Fensterrahmen
- zusätzliche Dämmung der Heizkörpernischen notwendig
- keine Innendämmung, falls in der Außenwand Wasserrohre verlegt sind (i. d. R. unzulässig)
- Vermeidung von Wärmebrücken bei Wand- und Deckenanschlüssen (z. B. durch zusätzliche Dämmung in den Übergangsbereichen).

Zum anderen sind insbesondere feuchtigkeits- und schallschutztechnische Aspekte zu beachten. Die DIN 4108-3 definiert die Bedingungen, unter denen die *Tauwasserbildung* in massiven Außenwänden mit Innendämmung unschädlich ist. Unter den dort genannten Klimabedingungen ist für Außenwände mit raumseitig angebrachter Wärmedämmschicht mit einer – einschließlich des Innenputzes – diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke

$s_{di} > 0,5$  m (bei saugfähigen Baustoffen) bzw.  
 $s_{di} > 1,0$  m (bei nicht saugfähigen Baustoffen und Holz)

und einem Außenputz (oder mit hinterlüfteter Bekleidung) *kein* rechnerischer Nachweis des Tauwasseranfalls infolge Dampfdiffusion erforderlich. Dabei darf der Wärmedurchlaßwiderstand der Innendämmung  $R = 1,0$  m<sup>2</sup>·K/W nicht überschreiten. Für davon abweichende Bauausführungen muß die Unbedenklichkeit einer unzulässigen Feuchtebelastung rechnerisch geführt werden.

*Schallschutztechnisch* kann eine Verschlechterung eintreten, wenn eine Außenwand zur Verbesserung des Wärmeschutzes auf der Innenseite mit einer *steifen*, mit Putz- oder Gips-

kartonplatten verkleideten Hartschaum-Dämmschicht versehen wird; die aus dem Resonanzeffekt resultierende Erhöhung der Schall-Längsleitung liegt im Mittel bei etwa 10 dB. Dadurch werden die schallschutztechnischen Anforderungen nach DIN 4109 nicht mehr erfüllt.

Beim Anbringen einer „Innen“-Dämmung sind nicht nur bauphysikalische Anforderungen zu beachten, sondern auch raumklimatische und hygienische Anforderungen für Wohlbefinden und gesundes Wohnen und Arbeiten einzuhalten, d. h. es sollten nur gesundheitlich unbedenkliche und geruchsarme Baumaterialien verwendet werden. Wie schon erwähnt, verlangt die EG-Bauproduktenrichtlinie eine Sorgfaltpflicht der Hersteller gegenüber Käufern und Nutzern von Bauprodukten, insbesondere beim Einsatz in Innenräumen. Da die europäischen Produktnormen (Entwürfe) hier (noch) nicht greifen, muß auf nationale Regelungen zurückgegriffen werden. Die deutsche Bauaufsicht sieht hier die Erstellung eines sogenannten „Bauproduktengesundheitsblattes“ vor; präventiv kann ein Hersteller – insbesondere vor der Markteinführung neuer Produkte – seine Produkte oder ggf. ganze Ausbausysteme vorab prüfen lassen [20]. Dabei werden in (bauaufsichtlich anerkannten) Prüflaboratorien, neben chemisch-analytischen Bestimmungen gasförmiger Emissionen in einer Prüfkammer nach EN 13 419-1, auch humanolfaktorische Untersuchungen durchgeführt. Schwieriger gestaltet sich anschließend die *Bewertung* der Analyseergebnisse. Neben nationalen Grenz- und Richtwerten werden Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und europäische Richtwerte zur Beurteilung hinzugezogen. Hier besteht noch internationaler Handlungsbedarf.

### 3.3 Decken

#### 3.3.1 Wohnungstrenndecken

Die Anforderungen an Wohnungstrenndecken – im wesentlichen Erfüllung des baulichen Schallschutzes – werden von elastifiziertem Polystyrolhartschaum, in Verbindung mit einem schwimmenden Estrich, erfüllt (Bild 16).

Zur Aufnahme des schwimmenden Estrichs muß der tragende Untergrund die Ebenheitstoleranzen nach DIN 18 202 erfüllen. Die zugehörige Stoffnorm DIN 18 164-2 „Dämmstoffe für



die Trittschalldämmung aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum“ vom März 1991 wurde überarbeitet (vorliegende Neufassung: Nov. 2000) und soll im Jahr 2001 erscheinen. Die neue Norm sieht jetzt zwei Anwendungstypen vor (Tabelle 27).

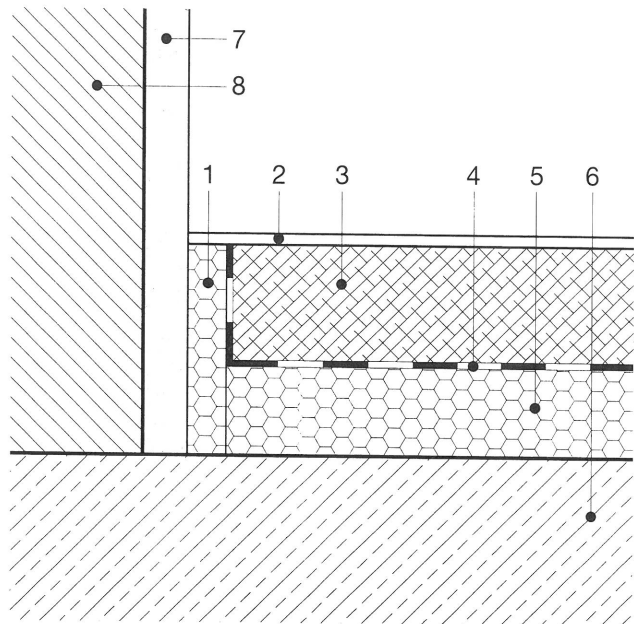
Wesentliche weitere Änderungen, im Vergleich zur Fassung von 1991, sind:

- Einarbeitung geltender europäischer Prüfnormen
- Einführung der Zusammendrückbarkeit  $c$  ( $c = d_L - d_B$ ) zur Festlegung der Estrichdicken nach DIN 18 560-2
- Erweiterung der Steifigkeitsgruppen nach oben und unten (50, 40 und 7)
- Aufnahme der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035
- Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes  $R$  aus Wärmeleitfähigkeit und Dicke  $d_L$
- Angabe der Verkehrslast, für die das Produkt vorgesehen ist, in der Kennzeichnung.

Die wichtigste anwendungsbezogene Eigenschaft – neben der Dickenminderung unter Langzeitbelastung – ist das ausreichende Federungsvermögen der EPS-Platten und -Bahnen; es wird gekennzeichnet durch die dynamische Steifigkeit  $s'$  und ist – auch in der Eigenüberwachung – nach DIN EN 29 052-1 zu bestimmen. Bei Verkehrslasten von mehr als 5,0 kPa ist  $s'$ , in Anlehnung an die o. g. Norm, unter einer

**Tabelle 27.** Anwendungstypen für Trittschalldämmstoffe nach DIN 18 164-2 (Entwurf Nov. 2000)

Anwendungstyp	Verwendung im Bauwerk
T	Trittschalldämmstoffe für Decken mit Anforderungen an den Luft- und Trittschallschutz nach DIN 4109; z. B. unter schwimmenden Estrichen nach DIN 18 560-2
TK	Trittschalldämmstoffe für Decken mit Anforderungen an den Luft- und Trittschallschutz nach DIN 4109, z. B. unter schwimmenden Estrichen nach DIN 18 560-2, geeignet für Verwendungen mit geringerer Zusammendrückbarkeit (z. B. unter Fertigteilestrichen) oder für höhere Verkehrslasten



- 1 Randdämmstreifen
- 2 Bodenbelag
- 3 schwimmender Estrich
- 4 Abdeckung (Folie)
- 5 EPS-Trittschalldämmplatte
- 6 Rohdecke
- 7 Verputz
- 8 Mauerwerk

**Bild 16.** Trittschalldämmung auf einer Massivdecke (schematisch)

Belastung entsprechend der Verkehrslast zuzüglich Estrichgewicht zu bestimmen. Um dem Planer oder Entscheider Hilfestellung bei der praxisgerechten Produktauswahl und sicheren Anwendung zu geben, hat die EPS-Industrie sogenannte Systemvarianten definiert, die fünf Nenndicken mit drei Steifigkeitsgruppen (10, 15 und 20) für die Trittschalldämmplatten umfassen [14]. Mit diesen „Vorgaben“ werden in Merkblättern dann sogenannte Regelaufbauten auf Stahlbetondecken mit entsprechenden Trittschalldämmwerten beschrieben:

- bewerteter Norm-Trittschallpegel  $L'_{n,w}$  :  
 $L'_{n,w} \leq 51$  dB bis  $\leq 45$  dB (je nach Aufbau)
- Trittschallschutzmaß  $TSM$ :  
 $TSM \geq 12$  dB bis  $\geq 18$  dB
- Trittschallverbesserungsmaß  $\Delta L_{w,R}$  ( $VM_R$ )  
 $\Delta L_{w,R} : 28$  dB bis  $34$  dB
- bewertetes Schalldämmmaß  $R'_{w,R}$   
 $R'_{w,R} : 56$  dB bzw.  $57$  dB

Die erforderliche Luft- und Trittschalldämmung zum Schutz gegen Schallübertragung aus einem fremden Wohn- oder Arbeitsbereich ( $R'_{w}$ -Wert und  $L'_{n,w}$  bzw.  $TSM$ -Wert) legt DIN 4109 fest; Korrekturwerte  $K_T$  für verschiedene räumliche Zuordnungen „besonders lauter Räume“ zu schutzbedürftigen Räumen sind dem Beiblatt 1



dieser Norm zu entnehmen. In DIN EN 12 354 (09-2000): „Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen“ sind Rechenmodelle auf der Grundlage von Meßdaten für die Trittschalldämmung und für die direkte Übertragung oder die Flankenübertragung durch die beteiligten Bauteile festgelegt.

Insbesondere beim nachträglichen Einbau von Trittschalldämmplatten aus (elastifiziertem) EPS ist darauf zu achten, daß keine Schallbrücken zu angrenzenden Wänden und Decken entstehen; Lagerhölzer für *Holzfußböden* dürfen daher nicht befestigt werden; sie erfordern eine elastische Unterlage.

### 3.3.2 Kellerdecken und Böden

Besondere wärmeschutztechnische Anforderungen werden an Böden bzw. Decken gestellt, die

1. Räume gegen die Außenluft abgrenzen
2. an unbeheizte Räume grenzen
3. an das Erdreich grenzen; Bild 17 (nach [21]).

Für die ersten beiden Fälle schreibt die noch gültige Wärmeschutzverordnung von 1995 maximale Wärmedurchgangskoeffizienten ( $U$ -Werte heute, damals  $k$ -Werte) vor (kleine Wohngebäude mit vereinfachtem Nachweisverfahren) (Tabelle 28).

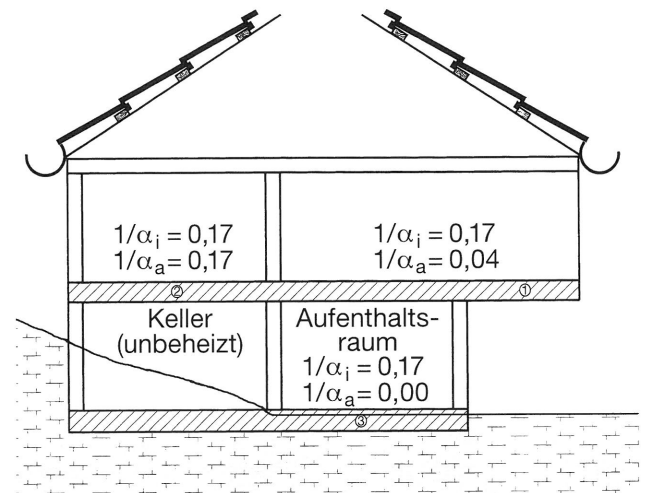
Zur Erfüllung dieser Mindestanforderungen und unter Berücksichtigung der Vermeidung waagerechter Schallübertragung bietet sich für *Kellerdecken* eine *unterseitige* Dämmung an (Anwendungstyp W nach DIN 18 164-1), kombiniert mit einer Trittschalldämmung auf der Deckenoberseite (Typ TK nach DIN 18 164-2); diese

**Tabelle 28.** Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten bei Decken/Böden nach WSchVO 1995

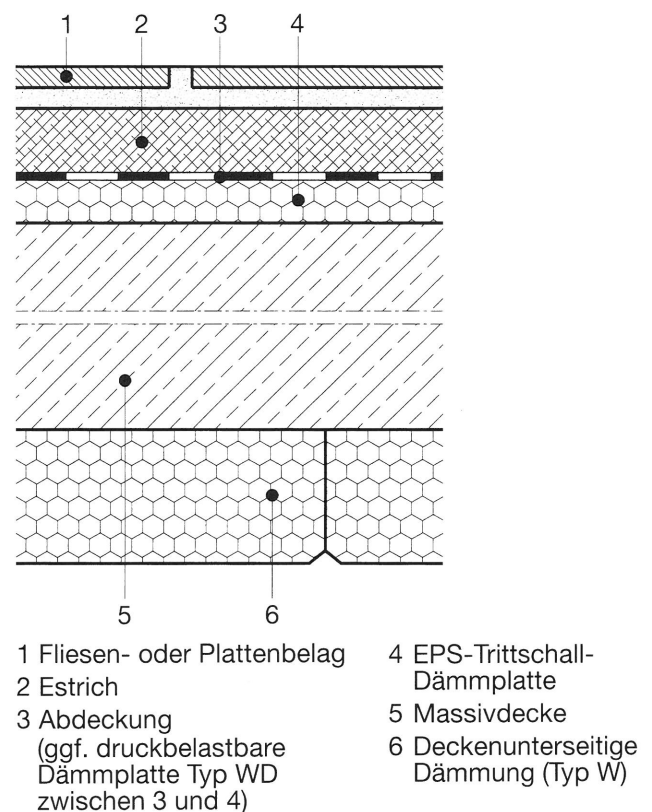
Bauteil (Beispiele)	maximaler $U$ -Wert $W/(m^2 \cdot K)$	
	Neubau	Altbau (bei Erneuerung/ Ersatz des Bauteils)
Fall 1 – Dach –	$k_D \leq 0,22$	$k_D \leq 0,30$
Fall 2 – erdberührte Bauteile –	$k_G \leq 0,35$	$k_G \leq 0,50$

kann – zwischen Trittschalldämmplatte und schwimmenden Estrich – mit einer druckbelasteten Hartschaum-Dämmplatte des Anwendungstyps WD (DIN 18 164-1) kombiniert werden (Bild 18).

Aufgrund der hohen Temperaturdifferenz zwischen Wohn- und Kellerbereich während der Heizperiode macht es auch Sinn, eine Ausführung



**Bild 17.** Wärmeübergangswiderstände für Fußböden (Decken), (schematisch)



**Bild 18.** Wärme- und schallgedämmte Kellerdecke (schematisch)

ung mit Heizestrich und Warmwasser-Fußbodenheizung zu wählen. Die Dämmstoffdicken (Typ W bzw. WD) richten sich nach dem erforderlichen  $U$ -Wert und der Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) des gewählten Dämmstoffes (Hartschaumdämmplatten nach DIN 18 164-1); die Dämmstoffdicken liegen zwischen ca. 60 bis ca. 180 mm, bei Wahl der (üblichen) WLG von 030, 035 und 040. Damit lassen sich die genannten Anwendungsfälle 1 bis 3 problemlos abdecken, insbesondere auch Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen (oberste Geschoßdecke). Bei diesem Anwendungsfall steht nur der bauliche Wärmeschutz im Vordergrund, so daß ausreichende Dämmmaßnahmen ergriffen werden können, die sich in diesem Fall rasch amortisieren: eine Dämmdicke von 160 mm liefert einen  $U$ -Wert von  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  statt des geforderten von  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (120 mm Dämmdicke, Anwendungstyp W mit WLG 040).

### 3.4 Dach

#### 3.4.1 Geneigtes Dach

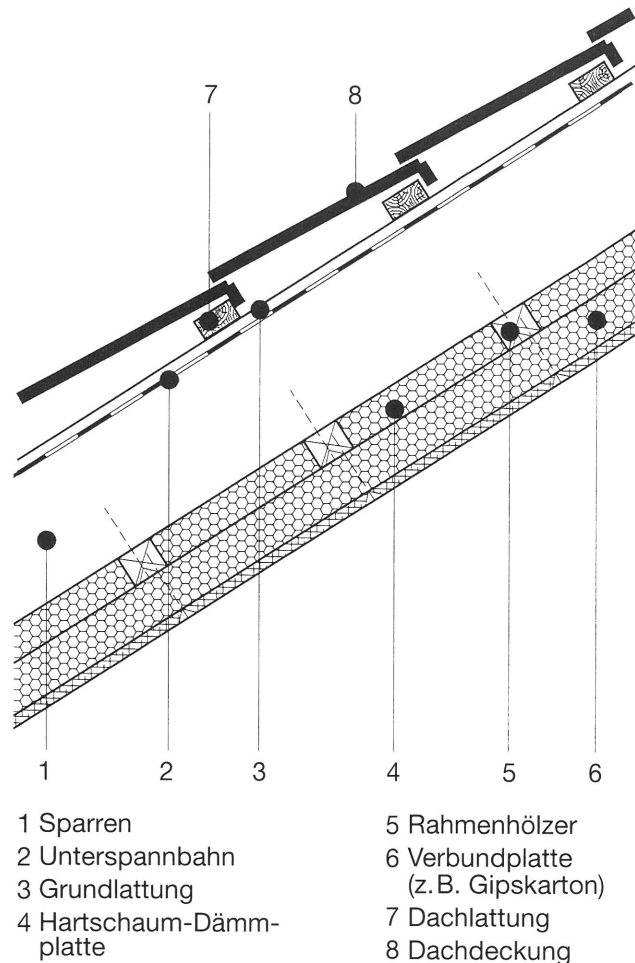
Für die Anordnung der Wärmedämmschicht gibt es bei geneigten Dächern drei Möglichkeiten:

1. Dämmung unter den Sparren
2. Dämmung zwischen den Sparren
3. Dämmung über den Sparren

bzw. Kombinationen dieser Ausführungsformen.

Bild 19 zeigt den (prinzipiellen) Aufbau einer Hartschaum-Dämmung *unter den Sparren*.

Diese Art der Dämmung eignet sich vor allem für das nachträgliche Dämmen des Daches in Alt- und Neubauten. Angewendet werden Hartschaumdämmstoffe des Typs W nach DIN 18 164-1. Üblicherweise kommen Dämmstoffe mit einer Dicke von mindestens 80 mm zum Einsatz (WLG 040). Werden Produkte mit einer niedrigeren WLG von 035 oder 030 eingesetzt, kann – insbesondere zur Ausweitung der Nutzung des bewohnbaren Raumes – die Dämmstoffdicke entsprechend verringert werden. Ein Vorteil dieser Konstruktion ist die gute Hinterlüftung, so daß damit auch ein gewisser sommerlicher Wärmeschutz gewährleistet ist.



**Bild 19.** Wärmedämmung unter den Sparren mit Verbundplatten (schematisch)

Obwohl marktanteilmäßig eine Domäne der Mineralfaserdämmstoffe, finden Hartschaumdämmstoffe auch in der *Zwischensparrendämmung* Anwendung. Bild 20 zeigt einen entsprechenden Horizontalschnitt dafür. Sinnvoll ist es auch, die Kombination der Zwischen- und Untersparrendämmung für den erhöhten Wärmeschutz zu nutzen.

Im Gegensatz zur durchgehenden Wärmedämmung unter den Sparren wird der effektive  $U$ -Wert bei einer Zwischensparrendämmung – je nach Anteil der Sparren an der gesamten Dachfläche – aufgrund der Wärmebrückeneffekte der Sparren gegenüber dem ungestörten Gefach erhöht. Die vergleichsweise Zunahme der Dämmdicke beträgt dann 20 mm und mehr (Rechenverfahren nach DIN EN ISO 6946). Die Feuchteschutzfunktion sollte zur Vermeidung von Tauwasserbildung aufgrund von Dampfdiffusion durch Beachtung der Lüftungsanforderungen und der Dampfsperrewerte für raumseitige Dampfsperren und Unterspannbah-

nen nach DIN 4108 sowie den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks sichergestellt werden (vgl. Bild 20). Dämmschichten in belüfteten zweischaligen Dachkonstruktionen müssen mindestens aus normal- oder schwerentflammbareren Dämmstoffen der Baustoffklasse B2 oder B1 nach DIN 4102 bestehen; EPS-, XPS- und PUR-Dämmplatten nach DIN 18 164-1 erfüllen diese Anforderungen.

Bei der Wärmedämmung des Daches über der Tragkonstruktion wird der Hartschaumdämmstoff druckbelastet, so daß die Anwendungstypen WD (oder WD+WS) nach DIN 18 164-1 eingesetzt werden müssen (Tabelle 29).

Für den konstruktiven Aufbau haben die Dämmstoffhersteller eine Reihe Auflegesysteme entwickelt (Bild 21), welche als „Dachmantelsystem“ „Thermodach“ oder „Aufsparrendämmsystem“ am Markt angeboten werden.

Wie einige dieser Namen signalisieren, wird das gesamte Dach durch die Wärmedämmung vollflächig „eingehüllt“ und damit auch die Konstruktion vor hohen oder tiefen Temperaturen – ob Sommer oder Winter – geschützt. Gleichzeitig werden Wärmebrücken durch nichtgedämmte Sparren vermieden. Die Konturlattung sichert parallel dazu die notwendige Hinterlüftung der Dacheindeckung. Je nach Wärmeleitfähigkeitsgruppe erfüllen Dämmschichtdicken von > 100 mm die Forderungen. Durch die Vordeckung auf die Schalung und die darüberliegende Bitumendachbahn, wie in Bild 21 skizziert, wird auch der bauphysikalisch notwendige Feuchteschutz (sowohl gegen Niederschlag als auch gegen Tauwasser infolge Dampfdiffusion) sichergestellt. Details sind in den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks niedergelegt.

Um allen Anforderungen an ein solches Auflegesystem gerecht zu werden, bieten die Hersteller *Dämmelemente* an, die über die Anforderungen der DIN 18 164-1 hinausgehen – insbesondere was die geometrische Ausbildung der Elemente anbetrifft (Platten mit Nut und Feder und Feuchtigkeitsschragen; Formteile aus EPS mit speziell strukturierter Oberfläche, z. B. auch speziellen Traufelementen). Verlegeanleitungen für jedes Detail eines Daches – Traufe, Ortgangabdeckung, Firstausbildung, Anschluß an Dachflächenfenster usw.) „komplettieren“ das Angebot. Für die Regelaufbauten der *Systeme* sind die erforderlichen Nachweise erbracht worden. Am Beispiel einer PUR-Hart-

schaum-Dämmung auf den Sparren soll die Gesamtenergiebilanzbetrachtung zeigen, daß mit einer solchen zusätzlichen Dämm-Maßnahme (in Abhängigkeit von der Lebensdauer des Dachsystems) eine signifikante Energieeinsparung möglich ist (Tabelle 30 und Bild 22) [22].

Für die anderen Hartschaumdämmstoffe nach DIN 18 164-1 ist eine ähnliche „ökologische Bilanzierung“ zu erwarten, da auch sie Erdöl-derivate sind. Unter der Annahme zukünftig weiter steigender Primärenergiekosten und der hier betrachteten Lebensdauer lohnt es sich ökologisch und ökonomisch, bei einer Altbau-Dachsanierung zusätzliche Dämm-Maßnahmen zu treffen.

### 3.4.2 Flachdach

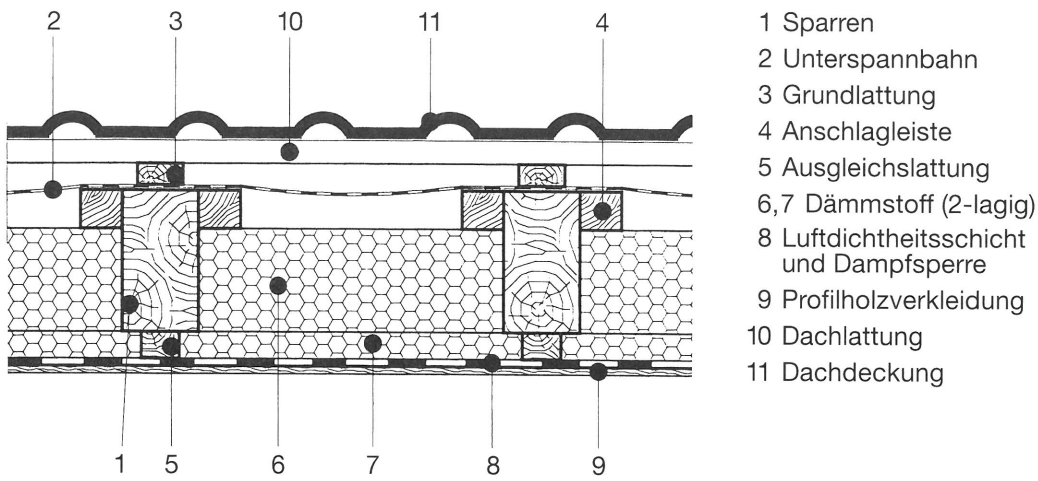
Speziell die Flachdachkonstruktion gehört zu den am höchsten beanspruchten Gebäudeteilen; folgende (mögliche) Schadensursachen müssen – auf Dauer – vermieden werden:

- Spannungen in der Dachhaut durch häufige Temperaturwechsel oder plötzliche Temperaturschocks
- mechanische Schäden an der Dachhaut (z. B. durch Begeher, bei Wartungs- und Reparaturarbeiten)
- schnelles Altern und Verspröden der Dachhaut durch UV-Strahlung
- Feuchtigkeit bzw. Tauwasserbildung durch Wasserdampfdiffusion in der Dachkonstruktion.

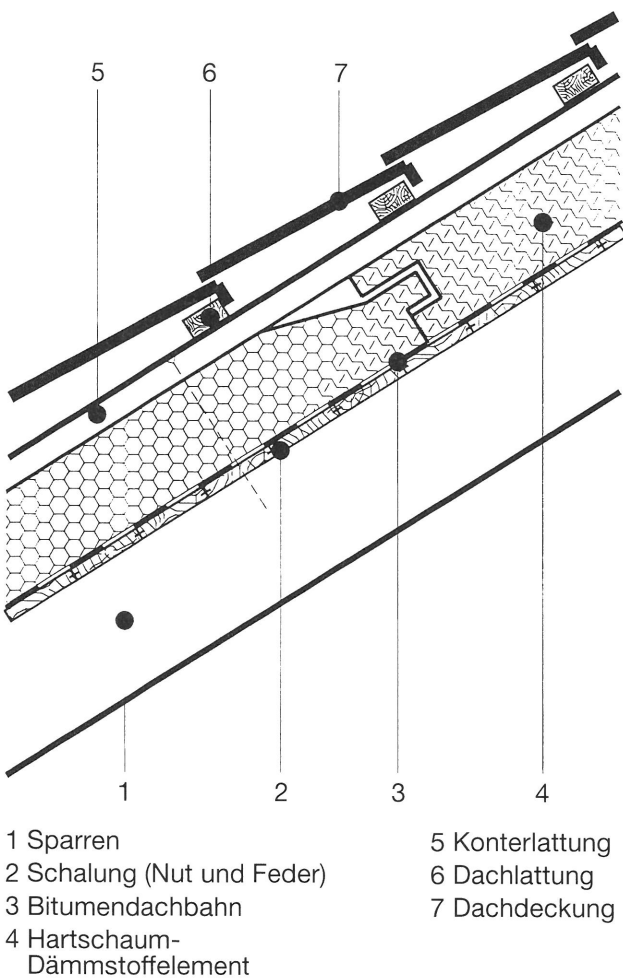
Kommen noch nutzungsbedingte Belastungen hinzu (Nutzung als Terrasse, begrünte oder befahrene Dächer), so hat der Planer entsprechende Anforderungen an die Flachdachkonstruktion bzw. den Wärmedämmstoff zu berücksichtigen (z. B. bei der Druckfestigkeit).

Für die gängigen Flachdachkonstruktionen läßt sich – je nach Dämmstoff – eine Übersicht erstellen (Tabelle 31).

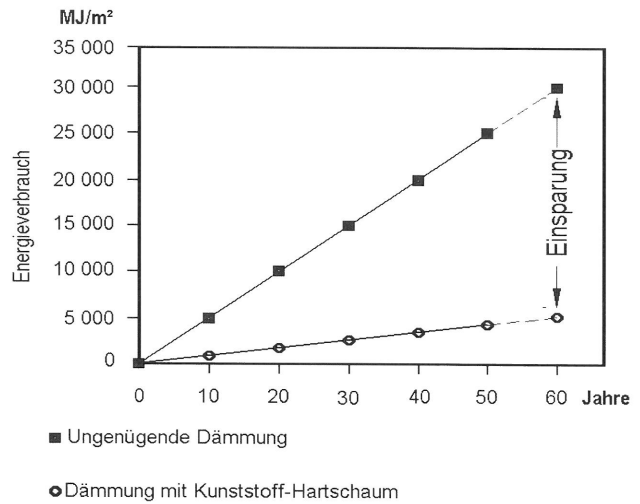
Für einschalige nicht belüftete Flachdächer bietet die Industrie komplette Gefälledach-Systeme an. Das erforderliche Gefälle wird durch das Dämmelement selbst gebildet; dabei kommen unkaschierte sowie oberseitig oder beidseitig schon im Werk kaschierte Dachdämmelemente aus EPS- oder PUR-Hartschaum der Anwendungstypen WD und/oder WS zum Einsatz (Bild 23).



**Bild 20.** Wärmedämmung zwischen den Sparren (Horizontalschnitt, schematisch)



**Bild 21.** Hartschaum-Dämmstoff-Auflegesystem über den Sparren (schematisch)



**Bild 22.** Primärenergieverbrauch der gedämmten und ungedämmten Konstruktion (Beispiel nach Tabelle 29) als Funktion der Zeit

**Tabelle 29.** Wärmeschutztechnische Kennwerte für Aufsparrendämmsysteme im Steildach nach DIN V 4108-4

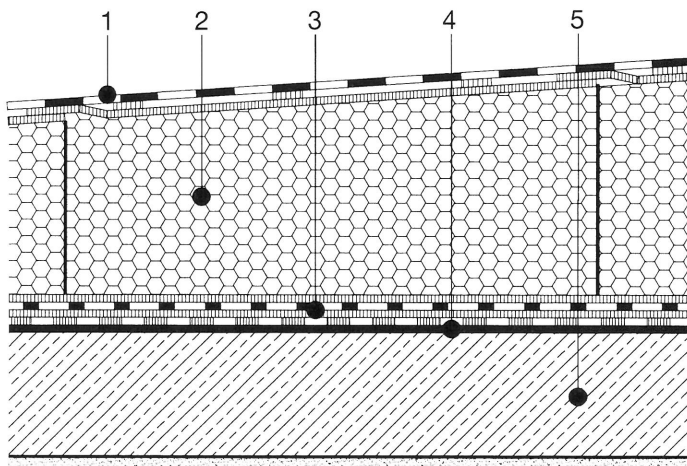
Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeitsgruppe				Mindestrohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]			
	025	030	035	040	≥ 15	≥ 20	≥ 25	≥ 30
EPS			X			X		
				X				X
XPS		X					(X) <sup>*)</sup>	
PUR	X	X						(X) <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> Die in Klammern angegebenen Werte der Rohdichte dienen nur zur Ermittlung der flächenbezogenen Masse.

**Tabelle 30.** Transmissionswärmeverluste eines Steindaches vor und nach der Sanierung (nach [22])

Annahmen		
Gebäude	Wohnhaus	
Standort	Deutschland	
Gradtagszahl	3.500 K · d	
Dach mit vorhandener Dämmung	$k = 1,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
Zusätzliche Dämmung	PUR-Hartschaum (32 kg/m <sup>3</sup> ) mit 50 µm Alu-Deckschicht, auf den Sparren verlegt; $\lambda_R = 0,025 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ; Dicke (6 cm) entsprechend den Anforderungen der WSV0 1995	
Berechnung des Transmissionswärmeverlustes		
	Dach mit ungenügender Dämmung (unter den Sparren)	Dach mit zusätzlicher PUR-Hartschaum-Dämmung auf den Sparren
Dachfläche	1 m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>
Dicke der zusätzlichen Dämmung	–	60 mm
$U$ -Wert	1,38 W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,30 W/(m <sup>2</sup> ·K) <sup>a)</sup>
Reduktionsfaktor für Dächer	0,8	0,8
Transmissionswärmeverlust	93 kWh/a = 334 MJ/a	20,4 kWh/a = 73 MJ/a
$Q_T = 0,024 \times 3500 \times 1 \times 0,8 \times U$		

<sup>a)</sup> Forderung laut WSV0 1995, Anlage 3 für  $k_D$  bei Altbauten



- 1 Dachabdichtung
- 2 EPS-Gefälledachelement mit werksseitiger Kaschierung
- 3 Ausgleichsschicht und Dampfsperre
- 4 Voranstrich
- 5 Unterkonstruktion

**Bild 23.** Aufbau eines Gefälledaches (schematisch)

**Tabelle 31.** Anwendungstypen für das Flachdach nach DIN 18 164-1 bzw. DIN 18 159-1

Dämmstoff	Flachdach (ein- oder zweischalig)	Umkehrdach	Parkdeck
nach DIN 18 164-1			
EPS	WD	–	WD + WS
XPS	WD	WD + WS + Zusatz- forderung <sup>*)</sup>	WD + WS
PUR	WD	–	WD + WS
PF	WD	–	–
nach DIN 18 159-1	Zulassung Dachspritzschaum		
PUR-Ortschaum			

<sup>\*)</sup>Nach DIN V 4108-4: Druckfestigkeit bzw. Druckspannung bei 10 % Stauchung > 300 kPa; Wasseraufnahme in der Prüfung nach DIN EN 12 088 im Temperaturgefälle 50 °C zu 1 °C: unter 3,0 % Volumenanteil. Die Dämmplatten sind mit Kantenprofilierung auszubilden.

Damit wird sichergestellt, daß nicht nur die mechanischen Anforderungen (Druckspannung bei 10 % Stauchung bzw. Druckfestigkeit  $\geq 100$  kPa), sondern auch die thermischen Anforderungen (Formbeständigkeit bei 80 °C) mindestens erfüllt werden. Die Dämmelemente werden dann so zugeschnitten, daß ein Gefälle in der Fläche von 2 % sichergestellt ist; dazu muß ein dachspezifischer Verlegeplan errechnet und objektbezogen mit Positionsnummern mitgeliefert werden. Für Grate und Kehlen werden spezielle Formelemente zugeschnitten. Die Abdichtung erfolgt über Bitumen-Dach- und Dichtungsbahnen oder über Kunststoff-/Kautschuk-Dach- und Dichtungsbahnen. Bei der Ausführung sind die Flachdachrichtlinien – herausgegeben vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e.V. und der Bundesfachabteilung Bauwerksabdichtung im Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. – zu beachten. Um den erforderlichen Wärmeschutz sicherzustellen, darf am tiefsten Punkt eine Dämmstoffdicke von 80 mm nicht unterschritten; als Enddicke sollten 300 mm nicht überschritten werden. Beim rechnerischen Nachweis des Wärmeschutzes (*U*-Wert-Berechnung) ist der Gesamtaufbau zu berücksichtigen (detaillierte Berechnungen: nach DIN EN ISO 6946).

Ist das Flachdach gleichzeitig einer besonderen Nutzung und damit Belastung ausgesetzt (Parkdach, Terrasse), so wird bei der Festlegung des Dämmstoffes über die Auswahl der Rohdichte das Erreichen der Mindestwerte von Druckspannung bzw. Druckfestigkeit sichergestellt; bei nicht ausreichenden – beschränkten – Aufbau-

höhen muß nach DIN 18 164-1 bzw. DIN 4108 ein Hartschaumdämmstoff mit möglichst niedriger Wärmeleitfähigkeit (z. B. PUR WL 025) gewählt werden (Bild 24).

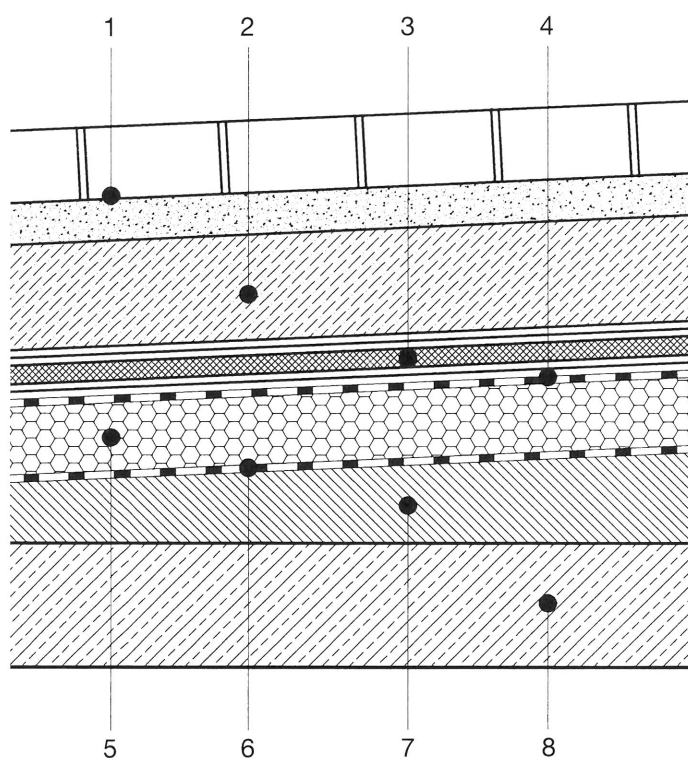
Wird ein Flachdach als *zweischalige Konstruktion* ausgebildet, so richtet sich die Wahl des Dämmstoffes nach der Ausbildung der oberen Schale: für belüftete Dächer eignen sich Wärmedämmplatten des Anwendungstyps W, wird die Balkenlage zur Vermeidung von Wärmebrücken direkt auf dem Dämmstoff verlegt, so sind die druckbelastbaren Anwendungstypen WD bzw. WD + WS zu verwenden.

Wie bereits ausgeführt, muß die Dachkonstruktion – extremen – Anforderungen langfristig standhalten. Eine mittlerweile bewährte Variante bietet hierzu das „*Umkehrdach*“: während beim herkömmlichen Dach die Dachabdichtung *oberhalb* der Wärmedämmung liegt, hat das Umkehrdach eine *umgekehrte* Schichtenfolge (Bild 25).

Da die Hartschaumdämmplatten hier außerhalb der regenschützenden Dachhaut liegen, ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Wärmedämmsystems Umkehrdach (UK-Dach) oder die Beachtung der DIN 4108-2 und 4108-4 erforderlich.

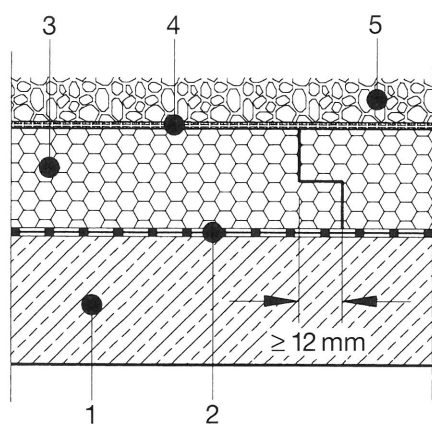
An die XPS-Wärmedämmplatten vom Anwendungstyp WS werden durch die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung über DIN 18 164-1 hinausgehende Anforderungen gestellt (vgl. Tabelle 31 – Fußnote). Zur Lagesicherung gegenüber Windsog sind auf den Wärmedämmplatten Auflasten, z. B. Kies, aufzubringen; derselbe





- 1 Fahrbahnbelag im Splittbett
- 2 Druckverteilungsplatte
- 3 Trenn-, Gleit- und Schutzschicht
- 4 Abdichtung
- 5 Hartschaum-Dämmstoff
- 6 Dampfsperre
- 7 Gefälleestrich
- 8 tragende Unterkonstruktion

**Bild 24.** Schematischer Aufbau eines Parkdecks



- 1 Betondecke
- 2 Dachabdichtung
- 3 extrudierter Polystyrol-Hartschaum
- 4 ggf. Rieselschutz
- 5 Kiesschüttung (Ø 16/32 mm)

**Bild 25.** Aufbau eines Umkehrdachs mit Auflast bzw. Schutzschicht aus Kiesschüttung (schematisch)

Effekt wird durch eine schon werkmäßig aufgebraute (kunststoffmodifizierte) Mörtelschicht erzielt („Wärmedämmverbundplatten“). Die so abgedeckten UK-Wärmedämmsysteme gelten als widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme nach DIN 4102-7.

Eine Zusammenstellung der zugelassenen Polystyrol-Hartschaumplatten – mit unterschiedlichen Treibmitteln – liefert Tabelle 32.

Neben der in Bild 24 skizzierten Schichtenfolge bietet ein Aufbau Vorteile, bei dem die Dachabdichtung *innerhalb* der Dämmschicht liegt

(„Duodach“); dadurch wird der  $\Delta U$ -Wert vermindert und die notwendige Auflast kann reduziert werden. Die Dachhaut wird beidseitig vor mechanischen Verletzungen geschützt. Dabei sollte der Wärmedurchlaßwiderstand der Bauteilschichten unterhalb der Dachhaut höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlaßwiderstandes betragen, um den Tauwasserausfall zu minimieren.

Wird Polyurethan-Ortschaum nach DIN 18 159-1 außerhalb der Feuchtigkeitssperre angeordnet, so bedarf dies einer allgemeinen bauaufsicht-



**Tabelle 32.** Polystyrol-Hartschaumplatten mit Zulassung für das Wärmedämmsystem Umkehrdach (nach [11])

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart	Roh-dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Austrotherm TOP 30	Z-23.31-1292	Austrotherm GmbH 2754 Waldegg/ Wopfing Österreich	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 35	B1	0,035 <sup>1)</sup> oder 0,040 <sup>1)</sup>
Austrotherm TOP 50						0,040
Ecopor 30	Z-23.31-1256	Superglass Dämmstoffe GmbH 61118 Bad Vilbel	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035 <sup>1)</sup> oder 0,040 <sup>1)</sup>
Gematherm XOF 3	Z-23.31-1279	Sirap Gema International S. A. 7170 Manage Belgien	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> und HFKW 134a als Treib- mittel	35–43	B1	0,035
Gematherm XOF 4						
Glascofoam T-III	Z-23.31-233	Poliglas GmbH Industriepark Halle-Queis 06188 Queis	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035
Glascofoam T-IV				≥ 35		0,030
Glascofoam T-V				≥ 35		0,035
Glascofoam XPS N-III	Z-23.31-1263	Poliglas GmbH 06188 Queis	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	36–42	B1	0,035 <sup>2)</sup> oder 0,040 <sup>3)</sup>
Glascofoam XPS N-III-PZ						
Glascofoam XPS N-V						
ISOFOAM-Xde3	Z-23.4-103.1	Sirap Gema International S. A. B-7170 Manage Belgien	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 32	B1	0,035
ISOFOAM-Xde4						
ISOFOAM-Xde-Peri 030						0,030
ISOFOAM-Xde PH						0,035

Fußnoten siehe Seite 207

**Tabelle 32.** Polystyrol-Hartschaumplatten mit Zulassung für das Wärmedämmsystem Umkehrdach (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Jackodur 35-300 Standard	Z-23.4-109	Gefinix-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 35	B1	0,035
Jackodur 35-500 Standard				≥ 38		
Jackodur 30-300 Standard				≥ 35		
Domodur 35-300 Standard				≥ 35		
Jackodur CFR 35-300	Z-23.31-1247	Gefinix-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 152a als Treibmittel	35-40	B1	0,035 <sup>1)</sup> oder 0,040 <sup>1)</sup> oder 0,045 <sup>1)</sup>
Jackodur CFR 35-500						
Domodur CFR 35-300 Standard						
Jackodur Pro Klima H Ecoprim 955	Z-23.31-1233	Gefinix-Jackon GmbH 29416 Mechau	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 134a und HFCKW 152a als Treibmittel	25-36	B1	0,035
K-Foam	Z-23.31-240	Knauf Foam F-64170 Artix Frankreich	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,030 oder 0,035 <sup>1)</sup>
Pingo SF	Z-23.31-237	Pfleiderer Dämmstoff-technik International GmbH + Co. 92318 Neumarkt	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b und HFCKW 22 als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035
Pingo SX				≥ 35		
Pingo SD						
Pingo C SF	Z-23.31-1087	Pfleiderer Dämmstoff-technik GmbH + Co. 92318 Neumarkt	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 37	B1	0,035 oder 0,040 <sup>1)</sup>

Tabelle 32. Polystyrol-Hartschaumplatten mit Zulassung für das Wärmedämmsystem Umkehrdach (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
Polyfoam LJ 350C	Z-23.31-1289	N. V. Owens Corning S. A. International Building Material Systems 4600 Vise Belgien	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035 <sup>1)</sup> oder 0,040 <sup>1)</sup>
Roofmate	Z-23.4-102.1	DOW Deutschland Inc. Vertrieb 65824 Schwalbach	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit HFCKW 142b als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035
Roofmate SP				≥ 35		
Floormate 500				≥ 45		
Floormate 700				≥ 45		
Roofmate Avance A	Z-23.4-224	DOW Deutschland Inc. Vertrieb 65824 Schwalbach	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	38–50	B1	0,035 oder 0,040 <sup>1)</sup>
Floormate Avance 500 -A				38–50		
Schwenk Perimeter SA	Z-23.31-1202	E. Schwenk Dämmtechnik GmbH & Co. KG. 86899 Landsberg	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS) Automatenware	35–40	B1	0,070
Styrodur 3035 C	Z-23.4-222	BASF AG 67056 Ludwigshafen	extrudergeschäumter Polystyrol-Hartschaum (XPS) mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel	≥ 30	B1	0,035 oder 0,040 <sup>1)</sup>
Styrodur 4000 C				≥ 35		
Styrodur 5000 C				≥ 40		

<sup>1)</sup> entsprechend der Einstufung in die jeweilige Wärmeleitfähigkeitsgruppe

<sup>2)</sup> bei Plattendicken ≤ 60 mm

<sup>3)</sup> bei Plattendicken > 60 mm

Tabelle 33. Zugelassene Dachspritzschaumsysteme (nach [11])

Zulassungs- gegenstand	Zulassungs- nummer	Antragsteller	Stoffart		Roh- dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1 mit und ohne Schutzanstrich	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
			Schutzanstrich <sup>1)</sup>				
Baymer DS-3	Z-23.32-212	Lackfa Isolierstoff GmbH + Co. 25462 Rellingen	PUR-Ortschaum mit HFCKW 141b und CO <sub>2</sub> als Treibmittel		60 ± 10	B2	0,030
			KE 7762, titan oder Silicon RC-Coating KE 8874 oder Disboroo PU-Dachschicht				
Elastopor H 1612/1	Z-23.3-211	Elastogran GmbH 49440 Lemförde	PUR-Ortschaum mit HFCKW 141b und CO <sub>2</sub> als Treibmittel		60 ± 10	B2	0,030
			Aquadlett W 6950 oder Plattophen F 2397 oder Decothane sp oder Sealchek RPU oder Deitermann Fle- xoplast UV oder DW oder PU oder Conipur 250 oder Disporoo 413 PU-Dach- schicht oder Deitermann Flexoplast R oder Deiter- mann Flexoplast ESF				
Lamolitan B2-S5-50/60-0	Z-23.32-219	Lackfa Isolierstoff GmbH + Co. 25462 Rellingen	PUR-Ortschaum mit HFCKW 141b und CO <sub>2</sub> als Treibmittel		60 ± 10	B2	0,030
			Reflexlack PU 31 D oder Hydrolan-Flexoplast UV				

Tabelle 33. Zugelassene Dachspritzschaumsysteme (nach [11]) (Fortsetzung)

Zulassungs-gegenstand	Zulassungs-nummer	Antragsteller	Stoffart		Roh-dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1 mit und ohne Schutzanstrich	Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ [W/(m·K)]
			Schutzanstrich <sup>1)</sup>				
Resifoam AL 673/Urestyl 10	Z-23.32-218	Resina Chemie B. V. 9607 Foxhol Niederlande	PUR-Ortschaum mit HFCKW 141b und CO <sub>2</sub> als Treibmittel		65 ± 10	B2	0,035
			Decothane sp PSD oder Conipur 250 oder Sealcheck RPU oder GE Silicones SCM 3300				
Wipur 60212	Z-23.3-115	F. Willich Dämmstoff Isoliersysteme GmbH + Co. 44379 Dortmund	PUR-Ortschaum mit CO <sub>2</sub> als Treibmittel		65 ± 10	B2	0,035
			Conipur-1-K Beschichtung 250				

<sup>1)</sup> Der Oberflächenschutz des PUR-Dachspritzschaumsystems kann auch aus einer mindestens 5 cm dicken Kiesschüttung (Korngruppe 16/32 mm) bestehen.

Tabelle 34. Expandierter Polystyrol-Hartschaum mit Zulassung für Dachbegrünungssysteme (nach [11])

Zulassungsgegenstand	Zulassungsnummer	Antragsteller	Stoffart	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Brandverhalten Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Rechenwerte des Wärmedurchlaßwiderstandes 1/λ [m <sup>2</sup> ·K/W]
DAKU FSD 20	Z-23.31-1206	DAKU GmbH 55129 Mainz-Hechtsheim	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)	20–50	B1	0,55 <sup>1)</sup>
DAKU FSD 30						oder 0,50 <sup>2)</sup>
Floratherm 65 WD	Z-23.31-1204	ZinCO GmbH 72669 Unterensingen	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)	25–35	B1	0,60 <sup>1)</sup>
Floratherm 100 WD						oder 0,55 <sup>2)</sup>
Floratherm 120 WD						0,70
Floratherm 140 WD						0,95
Floratherm 180 WD						1,60
Multiplatte WS 40 54/30	Z-23.31-1242	Hartschaumtechnik Götz GmbH 72770 Reutlingen	expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS)	25–35	B1	1,50
Multiplatte WSD 60 64/30						1,10
Multiplatte DWS 80 84/30						0,55
Multiplatte DWS 100 104/30						0,70
Multiplatte DWS 120 124/30						1,00
Multiplatte WSD 60 64/45						1,30
Multiplatte DWS 80 84/45						1,70
Multiplatte DWS 100 104/45						0,55
Multiplatte DWS 120 124/45						0,85
Multiplatte DWS 80 84/60						1,20
Multiplatte DWS 100 104/60						1,50
Multiplatte DWS 120 124/60						0,65
						0,95
						1,30

1) EPS mit  $\lambda_R = 0,035$  (W/(m·K))2) EPS mit  $\lambda_R = 0,040$  (W/(m·K))

lichen Zulassung; es sind einmal zusätzliche Anforderungen an die Eigenschaft des PUR-Hartschaumes, zum anderen Bestimmungen für die Anwendung und Ausführung der UV-Schutzschicht (Beschichtung) zu beachten. Eine Übersicht der zugelassenen Dachspritzschaumsysteme liefert Tabelle 33.

Eine interessante Variante bietet die Ausbildung des UK-Daches als *Gründach*. Hier liegen langjährige Erfahrungen zur richtigen Auswahl des Systems (insbesondere der Substratschichten) vor. Zum Einsatz kommen hier, in Verbindung mit UK-Dach-zugelassenen Hartschaumdämmstoffen (vgl. Tabelle 32 und 33), auch profilierte Platten als Dränelemente aus EPS-Hartschaum nach DIN 18 164-1; diese dürfen bei der Festlegung des Wärmeschutzes entsprechend berücksichtigt werden (Tabelle 34). Dachelemente, wie Sickerplatten aus EPS, werden u. a. auch aus (bis zu 100 %) recyceltem EPS hergestellt, um den Stoffkreislauf von einer z. B. kurzlebigen Verpackung über ein langlebiges funktionales Formteil für den Baubereich zu schließen.

Eine „Sonderform“ des Flachdaches sind die (*Industrie-)*Leichtdächer, die als einschalige, wärmegeämmte Stahltrapezprofiltdächer ausgeführt werden. Der konstruktive Aufbau sollte so erfolgen, daß neben den üblichen Beanspruchungen einer Dachoberfläche die bauphysikalischen und – wegen der Bewegungen der leichten Unterkonstruktion mit großen Spannweiten – die mechanischen Anforderungen erfüllt werden. Dazu werden die Funktionsschichten – insbesondere gegen Abheben durch Windkräfte und durch das Fehlen einer Auflast – entweder verklebt oder mechanisch befestigt (Bild 26 und 27).

Die Dimensionierung der Dämmstoffdicke richtet sich nach der WLG des verwendeten Kunststoff-Hartschaumes (üblich ist 040 oder 035) und den Innentemperaturen des Gebäudes gemäß DIN 4108; für Neukonstruktionen sollten deshalb die Schichtdicken mindestens 110 mm (WLG 035) bzw. mindestens 125 mm (WLG 040) – Anwendungstyp WD oder WD + WS nach DIN 18 164 – betragen.

Für das Brandverhalten wird im eingebauten Zustand – im Verbund mit anderen Materialien – die Baustoffklasse B2 (normalentflammbar) nach DIN 4102-1 gefordert. Werden erhöhte Anforderungen nach DIN 18 234-1 an das Brandverhalten gestellt, so können Brandschutzverbundelemente, z. B. EPS-Hartschaum-

platten mit Holzwolleleichtbauplatten oder PF-Harz-Hartschaum, zum Einsatz kommen.

Für Sanierungen oder zur Verbesserung des Wärmeschutzes von Massiv- oder Leichtdächern bietet die Industrie Lösungen an, bei denen UK-Dach-zugelassene Hartschaum-Dämmstoffe, z. B. XPS, auf das (alte) Warmdach aufgelegt („Plusdach“) werden; dazu muß vorher nur die alte Auflast entfernt werden. Sie wird nach der Plattenverlegung wieder aufgebracht (Bild 28). Kann aus statischen Gründen keine Kiesschüttung zur Lagesicherung aufgebracht werden, können die erwähnten Leichtdachelemente (Dämmstoff mit werkseitig aufgebracht diffusionsoffener Leichtmörtelschicht) eingesetzt werden.

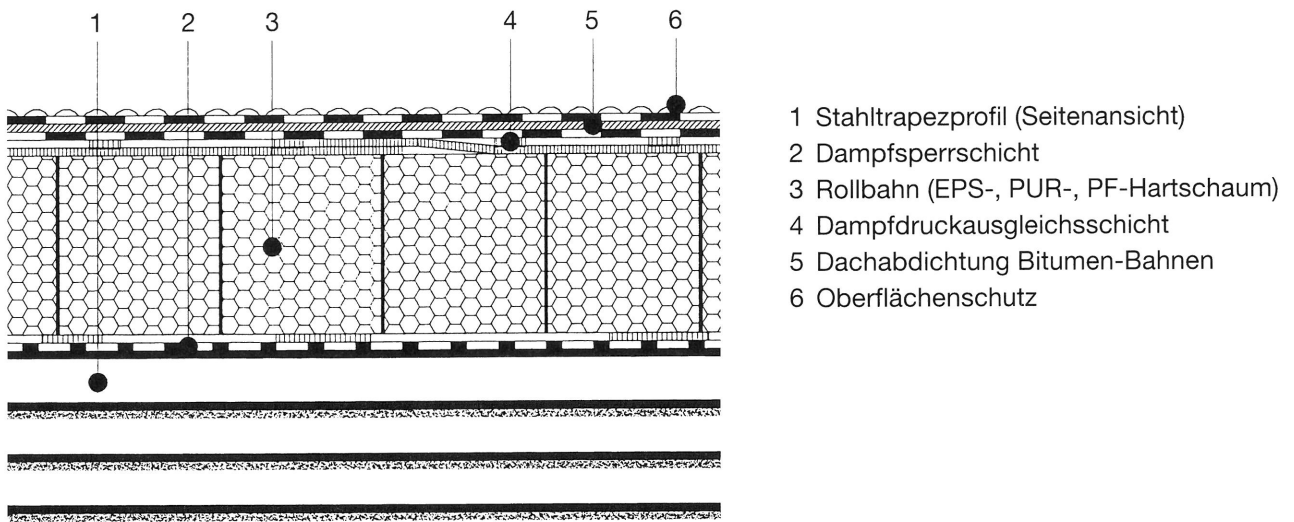
Mit Zunahme des baulichen Wärmeschutzes spielen einzelne – geometrisch, konstruktiv oder stofflich bedingte – *Wärmebrücken* eine immer größere Rolle; sie zu vermeiden verringert insbesondere die Gefahr der Tauwasserbildung und des Schimmelpilzbefalls bzw. reduziert das Risiko der Bauteilschädigung. Wärmebrücken erhöhen natürlich den Heizenergieverbrauch, da die entstehenden Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes erheblich sein können.

Ausführungsbeispiele und Planungshilfen zur Vermeidung von Wärmebrücken – insbesondere die Ausbildung der Anschlußbereiche zwischen den einzelnen Bauteilen – liefert das Beiblatt 2 der DIN 4108 „Wärmebrücken“ (Stand August 1998). Dieses Beiblatt ist relevant für alle hier beschriebenen Anwendungsfälle „vom Keller bis zum Dach“. Die Dämmstoffindustrie bietet über die Norm hinausgehende Lösungen an, besonders um Wärmebrücken zu vermeiden, so z. B. für solche Problembereiche wie in Außenwände eingebundene Decken, auskragenden Balkonplatten, Rolladenkästen, Heizkörpernischen, und ähnliche Schwachstellen des Wärmeschutzes.

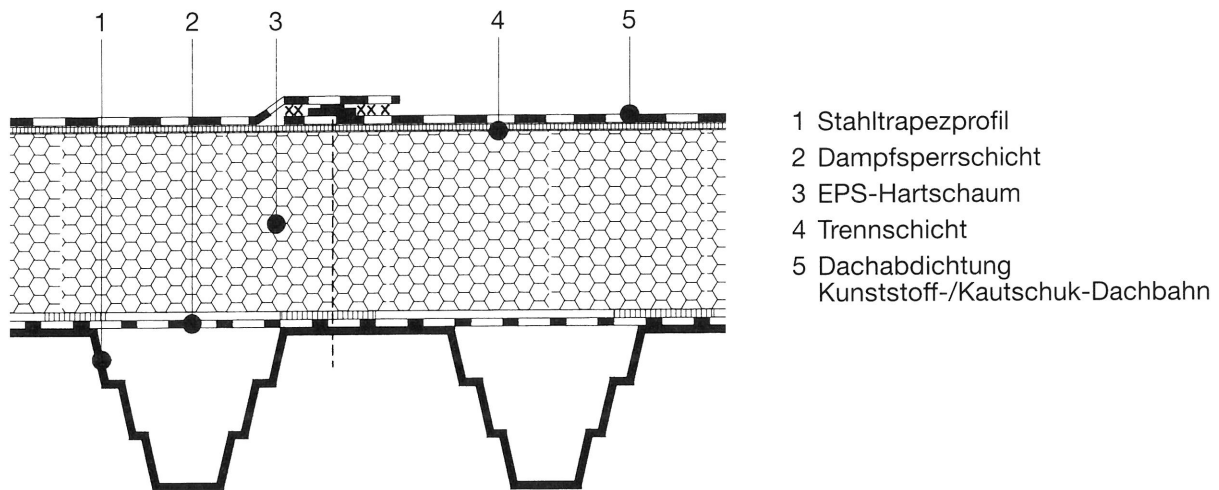
### 3.5 Sonderanwendung: Rohrdämmstoffe für Heizungsanlagen

Die neue EnEV verlangt neben der Optimierung der Gebäudehülle auch, heizungs- und raumlufttechnische Anlagen mit in die Planung einzubeziehen. Auf der Basis der (alten) Heizanlagenverordnung (HeizAnV) von 1994 verlangt der Gesetzgeber in der EnEV die Begrenzung der Wärmeabgabe von Wärmeverteilungs- und

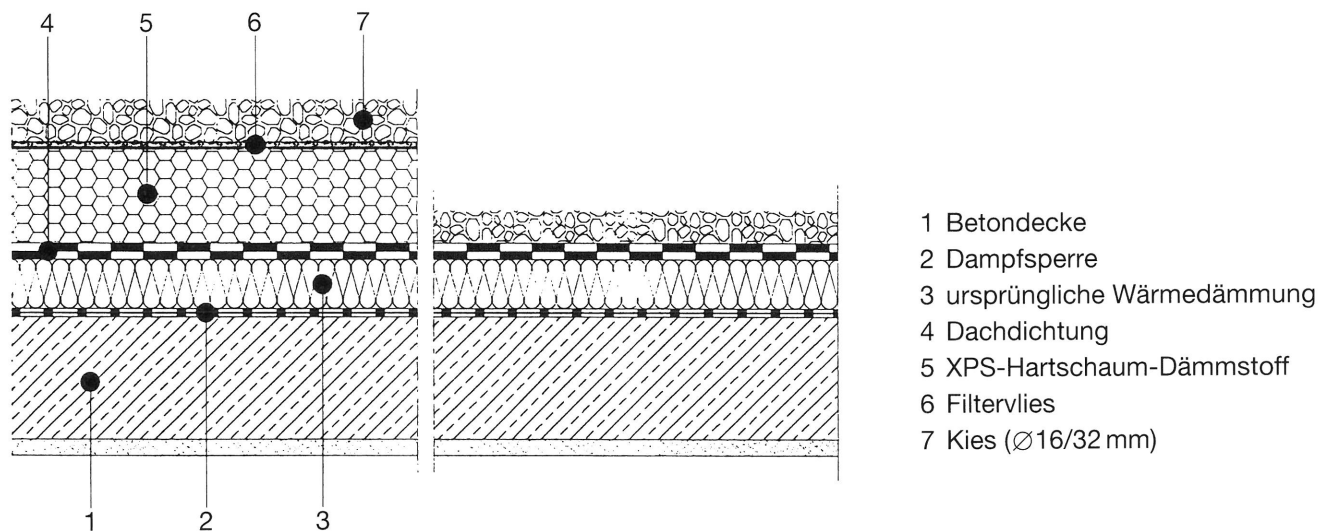




**Bild 26.** Aufbau eines (Industrie-)Leichtdaches, Klebeverfahren (schematisch)



**Bild 27.** Aufbau eines (Industrie-)Leichtdaches, lose Verlegung mit mechanischer Befestigung (schematisch)



**Bild 28.** Sanierung (schematisch) eines Warmdaches (rechts) durch zusätzliche Wärmedämmung

Warmwasserleitungen sowie Armaturen durch entsprechende Wärmedämmung. Je nach Art der Leitungen bzw. Armaturen, deren Lage und insbesondere dem Durchmesser wird eine Mindestdicke der Dämmschicht – bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  – gefordert.

Seit 1995 werden bauaufsichtliche Zulassungen für Rohrdämmstoffe nach der HeizAnIV erteilt; folgende Eigenschaften werden beim Nachweis der Verwendbarkeit geprüft:

- Die Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52 613 bei 40 °C Mitteltemperatur am Prüfrohr mit den unterschiedlichen Dämmschichtdicken entsprechend den Rohrleitungs-Innendurchmessern
- Die Abmessungen der Rohrdämmstoffe, deren Rohdichte und Dämmschichtdicke
- Das Brandverhalten entsprechend der Baustoffklasse B1 nach DIN 4102
- Die Zellgaszusammensetzung bei geschlossenzelligen Schaumkunststoffen (falls das Zellgas nicht Luft ist) je nach Herstellungsart und Treibmittel.

Auf der Grundlage der Meßwerte der Wärmeleitfähigkeit wird der Rechenwert nach der HeizAnIV festgesetzt und im Bundesanzeiger veröffentlicht [23].

Tabelle 35 gibt eine Übersicht über die Mindestdicke der Dämmschicht, die im Wesentlichen als Funktion des Innendurchmessers der zu dämmenden Leitung oder Armatur festgelegt wurde [24].

Soweit sich Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4 der Tabelle 35 in beheizten Räumen oder in Bauteilen zwischen beheizten Räumen eines Nutzers befinden und ihre Wärmeabgabe durch freiliegende Absperreinrichtungen beeinflusst werden kann, werden keine Anforderungen an die Mindestdicke der Dämmschicht gestellt. Dies gilt auch für Warmwasserleitungen in Wohnungen bis zu einem Innendurchmesser von 22 mm, die weder in den Zirkulationskreislauf einbezogen noch mit elektrischer Begleitheizung ausgestattet sind.

Bei Materialien mit anderen Wärmeleitfähigkeiten als  $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  sind die Mindestdicken der Dämmschichten entsprechend umzurechnen. Für die Umrechnung und die Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials sind die in den Regeln der Technik enthaltenen Rechenverfahren und -werte zu verwenden.

Gebräuchliche Dämmmaterialien auf Kunststoffbasis sind Polyethylen und synthetischer Kautschuk (Dämmschläuche); aber auch die Hartschaum-Dämmstoffe (PUR, XPS, EPS,

**Tabelle 35.** Anforderungen zur Begrenzung der Wärmeabgabe von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen (nach [24])

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteilern	$\frac{1}{2}$ der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach Inkrafttreten dieser Verordnung in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	$\frac{1}{2}$ der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm

**Tabelle 36.** Europäische Prüfnormentwürfe für Wärmedämmstoffe für die Haustechnik und betriebstechnische Anlagen (vorwiegend werkmäßig vorgeformte Rohrdämmstoffe)

Norm Entwurf	Titel
prEN 13 467	Bestimmung der Maße, der Rechtwinkligkeit und der Linearität von vorgeformten Rohrdämmstoffen
prEN 13 468	Bestimmung des Gehalts von wasserlöslichen Chlorid-, Fluorid-, Silikat- und Natrium-Ionen und des pH-Wertes
prEN 13 469	Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von vorgeformten Rohrdämmstoffen
prEN 13 470	Bestimmung der Rohdichte von vorgeformten Rohrdämmstoffen
prEN 13 471	Bestimmung des Wärmeausdehnungskoeffizienten
prEN 13 472	Bestimmung der Wasseraufnahme bei kurzzeitigem teilweisen Eintauchen von vorgeformten Rohrdämmstoffen

Phenolharz und Melamin) werden für dieses Marktsegment als Halbzeug oder Fertigteil meist mit Außendeckschichten und einer inneren Kaschierung angeboten.

National werden für diese Materialien Übereinstimmungszertifikate aufgrund bauaufsichtlicher Zulassungen erteilt. Auf europäischer Ebene wurden bisher (im CEN/TC 88 „Wärmedämmstoffe“) Entwürfe für Prüfnormen (Tabelle 36) soweit fertiggestellt, daß sie den Mitgliedsstaaten zur Abstimmung vorgelegt werden können.

## 4 Literatur

### 4.1 Normenhinweise

**DIN 1053-1**, Ausgabe: 1996-11, Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung  
**DIN 4102-1**, Ausgabe: 1998-05, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen  
**DIN 4102-7**, Ausgabe: 1998-07, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 7: Bedachungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen  
**DIN 4108-1**, Ausgabe: 1981-08, Wärmeschutz im Hochbau; Größen und Einheiten  
**DIN 4108-2**, Ausgabe: 2001-03, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz  
**DIN 4108-3**, Ausgabe: 1981-08, Wärmeschutz im Hochbau; Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung

(Vornorm) **DIN V 4108-4**, Ausgabe: 1998-10, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte

(Vornorm) **DIN V 4108-6**, Ausgabe: 2000-11, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs

**DIN 4108 Beiblatt 2**, Ausgabe: 1998-08, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele

**DIN 4109**, Ausgabe: 1989-11, Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise

**DIN 4701-1**, Ausgabe: 1983-03, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden; Grundlagen der Berechnung

(Vornorm) **DIN V 4701-10**, Ausgabe: 2001-02, Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung

**DIN 18 159-1**, Ausgabe: 1991-12, Schaumkunststoffe als Ortschäume im Bauwesen; Polyurethan-Ortschaum für die Wärme- und Kälte-dämmung; Anwendung, Eigenschaften, Ausführung, Prüfung

**DIN 18 159-2**, Ausgabe: 1978-06, Schaumkunststoffe als Ortschäume im Bauwesen; Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum für die Wärmedämmung, Anwendung, Eigenschaften, Ausführung, Prüfung

**DIN 18 164-1**, Ausgabe: 1992-08, Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung

**DIN 18 164-2**, Ausgabe: 1991-03, Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen;

Dämmstoffe für die Trittschalldämmung; Polystyrol-Partikelschaumstoffe

**DIN 18 202**, Ausgabe: 1997-04, Toleranzen im Hochbau – Bauwerke

**DIN 18 234-1**, Ausgabe: 1992-08, Baulicher Brandschutz im Industriebau; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für Dächer; Einschlagige Dächer mit Abdichtungen bei Brandbeanspruchung von unten; Geschlossene Dachfläche

**DIN 18 515-1**, Ausgabe: 1998-08, Außenwandbekleidungen – Teil 1: Angemörtelte Fliesen oder Platten; Grundsätze für Planung und Ausführung

**DIN 18 516-1**, Ausgabe: 1999-12, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze

**DIN 18 516-3**, Ausgabe: 1999-12, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 3: Naturwerkstein; Anforderungen, Bemessung

**DIN 18 516-4**, Ausgabe: 1990-02, Außenwandbekleidungen, hinterlüftet; Einscheiben-Sicherheitsglas; Anforderungen, Bemessung, Prüfung

**DIN 18 560-2**, Ausgabe: 1992-05, Estriche im Bauwesen; Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten

**DIN EN 832**, Ausgabe: 1998-12, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude; Deutsche Fassung EN 832:1998

**DIN EN 12 354-2**, Ausgabe: 2000-09, Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen; Deutsche Fassung EN 12 354-2:2000

**DIN EN 29 052-1**, Ausgabe: 1992-08, Akustik; Bestimmung der dynamischen Steifigkeit; Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden; Deutsche Fassung EN 29 052-1:1991

(Norm-Entwurf) **DIN EN ISO 1182**, Ausgabe: 1998-09, Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Nichtbrennbarkeitsprüfung (ISO/DIS 1182:1998); Deutsche Fassung prEN ISO 1182:1998

(Norm-Entwurf) **DIN EN ISO 1716**, Ausgabe: 1998-09, Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Bestimmung des spezifischen Brennwertes (ISO/DIS 1716:1998); Deutsche Fassung prEN ISO 1716:1998

**DIN EN ISO 6946**, Ausgabe: 1996-11, Bauteile – Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

(Norm-Entwurf) **DIN EN 13 823**, Ausgabe: 2000-09, Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung

durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen; Deutsche Fassung prEN 13823

(Norm-Entwurf) **DIN EN ISO 11 925-2**, Ausgabe: 1998-09, Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten – Teil 2: Entzündbarkeit bei direkter Flammeneinwirkung (ISO/DIS 11 925-2:1998); Deutsche Fassung prEN ISO 11 925-2:1998

## 4.2 Literaturhinweise

- [1] Planer-Forum: Wärmeschutz & Heiztechnik im Neubau und im Baubestand, 2. Auflage Februar 2000; BAUCOM Verlag für Marketing und Kommunikation
- [2] Pfäffinger, J.: Das 6-Liter-Haus im Bestand ist im Brunnkviertel Standard, Energieeffizientes Bauen 4 (2000), S. 20–23
- [3] Haupt, W.: Energieeinsparverordnung und Energiepaß, Bauphysik 22 (2000), S. 405–406
- [4] Feldhusen, G.: Dämmstoffe für den baulichen Wärmeschutz, GDI-Publikation (Stand 1999)
- [5] Koschade, R.: Die Sandwichbauweise, Berlin: Ernst & Sohn, 2000
- [6] Eschenfelder, D.: Gebrauchstauglichkeit von Bauprodukten in Gebäuden, Der Prüflingenieur 10 (2000), S. 55–72
- [7] Anlage zur Dämmpraxis 1.211 des Industrieverbandes Hartschaum e.V., Heidelberg
- [8] Güteschutzgemeinschaft Hartschaum e.V., Frankfurt, Informationsschrift 05.10 (August 1998)
- [9] Becker, W.: Bestimmungen zum Brandverhalten und zur Feuerwiderstandsfähigkeit, DIN-Mitteilungen 78 (1999), S. 631–634
- [10] Rohr, U.: Europäische Brandprüfungen, Iso-liertechnik 4 (1999), S. 18–35
- [11] Bender, U.: Wärmedämmstoffe und Wärmedämmsysteme mit Zulassung, Mauerwerk-Kalender 2001, Verlag Ernst & Sohn, S. 101–165
- [12] Boy, E.: Umweltfreundlich Schäumen, Kunststoffe, 87 (1997), S. 718–720
- [13] Albrecht, W.: Cellgas Composition – An Important Factor in the Evaluation of Longterm Thermal Conductivity in Closed-cell Foamed Plastics, Cellular Polymers, 19 (2000), S. 319–331
- [14] Dämmpraxis, Schriftenreihe des Industrieverbandes Hartschaum e.V., Heidelberg (05/1988 und folgende)
- [15] Technische Systeminformationen des Fachverbandes Wärmedämmverbundsysteme e.V., Baden-Baden

- [16] Schäfer, H. G.; Keßler, D.: Zum Standsicherheitsnachweis von Wärmedämmverbundsystemen; 2. IBK-Jubiläums-Bau-Kongress 1997
- [17] Industrieverband Hartschaum e.V., Heidelberg, und Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V., Qualitäts-Richtlinien für Styropor-Fassaden-Dämmplatten bei Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS), Januar 1997
- [18] Scharte, N. K. K.: Luftdämmung von Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystemen, Deutsche Bauzeitschrift 7 (1996) S. 173–177
- [19] Hohwiller, F.: Neopor<sup>®</sup>, eine neue EPS-Generation, Particle Foam 2000, VDI-Tagung 10./11. Mai 2000, S. 169–177, VDI-Gesellschaft Kunststofftechnik
- [20] Schmid, W.: Den Innenraumschadstoffen auf der Spur, HausTech 12 (1999) S. 32–33
- [21] Konstruktionsblatt 7, Fußböden, des Industrieverbandes Polyurethan-Hartschaum e.V., Stuttgart (1997)
- [22] Ökobilanz von PUR-Hartschaum-Wärmedämmstoffen, IVP-618 des Industrieverbandes Polyurethan-Hartschaum e.V., Stuttgart
- [23] Heiße, D.: Verfahren zur Festsetzung von Rechenwerten der Wärmeleitfähigkeit für Wärmedämmungen von Rohrleitungen nach Heiz-AnIV, Isolierung 2 (1985) S. 20–21
- [24] Zehendner, H.: Wärmeleitfähigkeit von Rohrdämmstoffen für Heizungsanlagen, Bauphysik 23 (2001), S. 25–32









