

# **Dämmstoffe im Hochbau**

Informationen für Bauherren, Architekten und Ingenieure



# **Dämmstoffe im Hochbau**

Informationen für  
Bauherren,  
Architekten und  
Ingenieure



## Vorwort



Der Einsatz von Wärmedämmstoffen ist eine der wichtigsten Maßnahmen, um den Heizenergieverbrauch von Gebäuden zu reduzieren. Moderne Niedrigenergie- und Passivhäuser sind ohne wärme gedämmte Außenbauteile nicht denkbar.

Ebenso wichtig sind Dämmstoffe aber auch bei der Sanierung des Gebäudebestandes. Hier liegt das größte Potential zur Senkung des Heizenergieverbrauches. Viele ältere Gebäude weisen gegenüber neuen Gebäuden einen zwei- bis dreifach höheren, gegenüber heutigen Niedrigenergiehäusern sogar einen bis zu fünffach höheren Heizenergieverbrauch auf.

Wie wichtig Maßnahmen im Bestand sind, zeigt die Tatsache, daß etwa 90% der in Baden-Württemberg vorhandenen 4,5 Millionen Wohnungen vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung, also vor dem Jahr 1977 errichtet wurden. Durch die energetische Modernisierung von Wohngebäuden könnten allein in Baden-Württemberg jährlich rund 55 Milliarden Kilowattstunden Heizenergie eingespart werden.

Die Sanierung vorhandener Gebäude hat jedoch neben der Energieeinsparung noch einen weiteren, genauso wichtigen positiven Effekt. In der Modernisierung des Gebäudebestandes liegt nämlich ein Investitions-

volumen und Arbeitsbeschaffungspotential von enormem Ausmaß. Die notwendigen Investitionen für eine umfassende energetische Verbesserung des Gebäudebestandes werden allein für Baden-Württemberg auf mindestens 50 Mrd. DM geschätzt.

Um dieses Investitionspotential zu erschließen, hat die Landesregierung Baden-Württemberg das *Altbau-modernisierungsprogramm* auf den Weg gebracht, das aus zwei eng miteinander verzahnten Programmteilen besteht:

Aus dem *Energieeinsparprogramm Altbau* werden Haus- und Wohnungseigentümern äußerst zinsgünstige Darlehen für Energiesparmaßnahmen, z.B. für die Wärmedämmung der Gebäudehülle oder den Einbau moderner Heizungsanlagen zur Verfügung gestellt. Das *Impulsprogramm Altbau* dient der Information und Motivation von Eigentümern und Investoren sowie der Aus- und Fortbildung von Fachleuten.

Die vorliegende Broschüre informiert Bauherren, Architekten, Ingenieure und Handwerker über die Eigenschaften der wichtigsten Dämmstoffe und erläutert die baurechtlichen, bauphysikalischen, bautechnischen und ökologischen Anforderungen, die Dämmstoffe zu erfüllen haben.

Dr. Walter Döring, MdL  
Wirtschaftsminister und stellvertretender  
Ministerpräsident des Landes Baden-Württemberg



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Dämmstoffe im Hochbau .....	7
2.1	Rückblick.....	7
2.2	Systematik.....	9
2.3	Produkte und Anwendungen .....	10
2.4	Markt .....	12
2.5	Alternativen.....	13
3	Anforderungen an Dämmstoffe .....	14
3.1	Wärme- und Feuchteschutz.....	14
3.2	Schallschutz .....	16
3.3	Brandschutz.....	17
3.4	Gesundheits- und Umweltschutz.....	18
3.5	Langzeitverhalten, Dauerhaftigkeit.....	19
3.6	Nachweis der Verwendbarkeit.....	20
3.7	Anforderungen in technischen Regeln.....	22
4	Bewertung von Dämmstoffen .....	23
4.1	Informationen als Bewertungsgrundlage.....	23
4.2	Auswahl von Dämmstoffen .....	23
4.3	Kriterien .....	24
4.4	Bewertung.....	28
5	Literatur- und Bildverzeichnis.....	30





## 1 Einleitung

In der Bundesrepublik werden etwa 40% des Endenergieverbrauches für das Beheizen von Gebäuden benötigt. Angesichts der anthropogenen Einflüsse auf den Treibhauseffekt, hauptsächlich verursacht durch energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen, und angesichts knapper werdender energetischer Ressourcen, ist es ein Gebot der Zeit, den Heizenergieverbrauch der Gebäude zu reduzieren.

Ein guter Wärmeschutz hat aber nicht nur den Zweck, den Energieverbrauch eines Gebäudes zu begrenzen. Er hat auch Bedeutung für ein hygienisches Raumklima und somit für die Gesundheit der Bewohner. Des weiteren trägt der Wärmeschutz zum Schutz der Baukonstruktion vor klimabedingten Feuchtschäden bei.

Der Gesetzgeber hat in den letzten zwanzig Jahren die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz ständig erhöht. Zuletzt geschah dies durch die von der Bundesregierung am 16.8.94 verabschiedete *Wärmeschutzverordnung*, die für Neubauten eine Obergrenze für den Jahresheizwärmebedarf vorschreibt. Mit der *Energieeinsparverordnung (EnEV)*, die voraussichtlich im Jahr 2000 eingeführt wird, steigt das Anforderungsniveau an den baulichen Wärmeschutz weiter an. Außerdem werden in der *EnEV* die Bilanzgrenzen durch das Einbeziehen von Anlagentechnik und Warmwasserbedarf vom Heizwärmebedarf auf den Heizenergiebedarf erweitert.

Infolge der gestiegenen Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und ebenso durch zunehmende Ansprüche an den Schallschutz wuchs der Bedarf an Dämmstoffen (siehe Bild 2.4-1).

Mit dem wachsenden Bedarf hat sich auch die Vielfalt der auf dem Markt verfügbaren Dämmstoffe und Dämmprodukte erhöht. Auf der einen Seite wurden Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wieder entdeckt oder neu entwickelt, z.B. auf der Basis von Zellulose, Baumwolle, Schafwolle oder Stroh. Auf der anderen Seite wurden mit neuen Produkten neue Anwendungsbereiche erschlossen, z.B. mit Perimeterdämmungen oder Systemen für Umkehrdächer.

Diese Vielfalt und die Vielzahl der an ein Bauprodukt gestellten Anforderungen machen die Auswahl eines geeigneten Dämmstoffes nicht leicht.

Die vorliegende Broschüre soll Bauherren, Architekten und Ingenieure bei der Dämmstoffauswahl unterstützen. Die Broschüre beginnt mit einem Überblick über die verfügbaren Dämmstoffe und Dämmprodukte. Anschließend werden die baurechtlichen, bauphysikalischen, bautechnischen und ökologischen Anforderungen erläutert, die Dämmstoffe zu erfüllen haben. In einem weiteren Kapitel wird gezeigt, wie Dämmstoffe nach ganzheitlichen Gesichtspunkten ausgewählt und bewertet werden können. Im Anhang sind die wesentlichsten Eigenschaften der gebräuchlichsten Wärmedämmstoffe in Tabellenform aufgelistet.

## 2 Dämmstoffe im Hochbau

### 2.1 Rückblick

Die geringe Wärmeleitfähigkeit ruhender Luftschichten nutzt der Mensch seit Jahrtausenden in Form von Fellen, Wolle oder mehreren Bekleidungsschichten für den körperlichen Wärmeschutz.

Im baulichen Wärmeschutz ist die Anwendung des Prinzips der ruhenden Luft noch nicht so alt, obwohl der Schutz vor Kälte und Wind in unseren Breiten lebensnotwendig war. Unsere Vorfahren behielten sich zum Teil mit einfachsten baulichen Maßnahmen. Tacitus (55-120 n.Chr.) berichtet in seiner „Germania“: „Sie (die Germanen) schachten auch oft im Erdboden Gruben aus, bedecken sie mit reichlich Dung, als Zuflucht für den Winter und als Fruchtspeicher. Derartige Räume schwächen nämlich die Wirkung der strengen Kälte...“ [1].

Neben den erwähnten Grubenhäusern wurden seit der Bronzezeit, vor allem in waldreichen Gegenden, schilf- oder strohgedeckte Blockhäuser gebaut, die für die damaligen Verhältnisse bereits einen recht guten Wärmeschutz aufgewiesen haben müssen (Bild 2.1-1).

Verschalungen von Gebäuden aus Holz oder Schindeln und das zu Anfang dieses Jahrhunderts aufkommende zweischalige Mauerwerk (Bild 2.1-2) sind erste baukonstruktive Maßnahmen, bei denen ruhende Luftschichten bewußt für den baulichen Wärme- und Feuchteschutz erzeugt wurden. In den damals gültigen baurechtlichen Regelungen wurde der Wärmeschutz aber noch nicht besonders berücksichtigt. Bei den ab der Gründerzeit üblichen massiven Bauarten war ein gewisser Wärmeschutz meist durch die Dicke der Wände gewährleistet. Außerdem waren die Anforderungen an den Wohnkomfort aus heutiger Sicht geringer.

Impulse für den Einsatz von Dämmstoffen kamen zunächst aus dem Bereich des Kälteschutzes. Die Kühlhäuser, die mit der Entwicklung der Kältetechnik möglich wurden, mußten isoliert werden. Die ersten Dämmstoffe, die dafür zur Verfügung standen, waren Kork und Glaswolle. Ab 1914 wurde in Deutschland Vulkanfiber produziert, ein Kunststoff, der auch als Isoliermaterial eingesetzt wurde.

# Dämmstoffe im Hochbau



Bild 2.1-1: Blockhaus aus der Bronzezeit

Der bauliche Wärmeschutz gewann an Bedeutung, als man begann, Wände, Decken und andere Teile der Gebäudehülle auf das statisch erforderliche Maß zu beschränken, bspw. im Notwohnungsbau nach dem ersten Weltkrieg. Andere Impulse ergaben sich aus den steigenden Ansprüchen an Feuchteschutz und Wohnkomfort (z.B. durch Badezimmer). In den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts erweiterte sich dementsprechend die Palette der verfügbaren Dämmstoffe. Auf dem Markt verbreitet waren Produkte aus Holzwolle, Kork und mineralischen Fasern (Glas, Stein, Schlacke). Der erste als Dämmstoff einsetzbare Kunstharzschäum wurde aus Melamin mit Formaldehyd hergestellt [1]. Parallel dazu wurden die tragenden Leichtbaustoffe entwickelt, z.B. Steine auf der Basis von Bims oder Schlacke.

Die Anfänge des Wärmeschutzes in der Forschung gehen ebenfalls auf die zwanziger Jahre zurück. Im Jahr 1924 untersuchte das *Forschungsheim für Wärmeschutz e.V.* Korkschat, Schaf- und Baumwolle, Flachsfasern, Sägemehl, Sisal und Getreidekornschalen auf ihre Eignung für Dämmzwecke. Die erste deutsche Monographie zum Thema „Wärme- und Schall-Schutz im Hochbau“ veröffentlichte *Leopold Sautter* 1932.

In der 1937 eingeführten *DIN 4106 Richtlinien für die Mauerdicken der Wohnungsbauten und statisch ähnlicher Bauten* wurden erstmalig im technischen Regelwerk die Anforderungen an Wanddicken nach Wärmedämmgebieten (Klimazonen) differenziert. Auf dieser Grundlage wurden Wärmeschutz-Bestimmungen für die Reichsbauordnung erarbeitet, die 1947 in einem Ergänzungsblatt zu den *Einheitlichen Technischen Baubestimmungen* veröffentlicht wurden. In der 1952 eingeführten *DIN 4108 Richtlinien für den Wärmeschutz im Hochbau* wurde erstmals Mindestanforderungen an den Wärmeschutz erhoben.

Wiederum ergaben sich Impulse für die Entwicklung neuer Dämmstoffe. Schaumglas und Kunstharzschäume wurden bereits in den vierziger Jahren entwickelt. Die erste Patentanmeldung für ein Wärmedämmverbund-

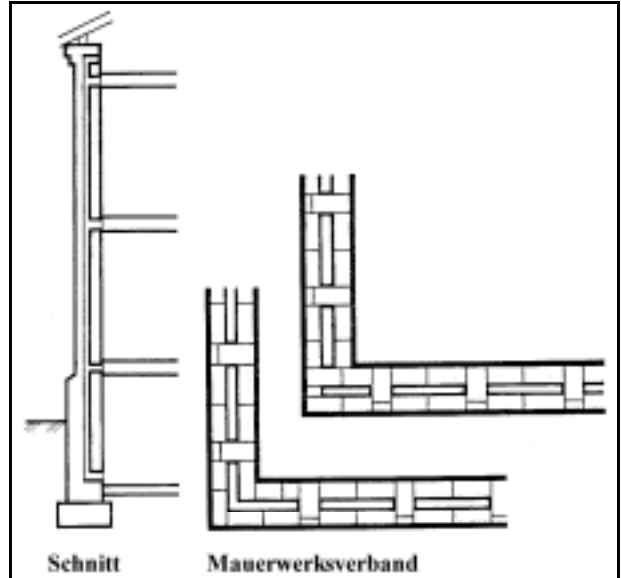


Bild 2.1-2: Zweischaliges Mauerwerk um 1900

system erfolgte Ende der fünfziger Jahre, die Markteinführung Anfang der sechziger Jahre.

Als Folge der Energiekrise in den siebziger Jahren wurde mit dem *Energieeinsparungsgesetz* die Rechtsgrundlage für staatliche Vorgaben zur rationellen Energieanwendung geschaffen. In der Folge wurden 1977 die *I. Wärmeschutzverordnung (WärmeschutzV)*, 1982 die *II. WärmeschutzV* erlassen. Die *WärmeschutzV* hatte zunächst das Ziel, die Transmissionswärmeverluste durch die Größe der Wärmedurchgangskoeffizienten ( $k$ -Werte) der Bauteile zu beeinflussen. In der aktuell gültigen *III. WärmeschutzV* vom 16.8.1994 [2], werden auch Lüftungsverluste sowie solare und interne Wärmegewinne bei der Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfes berücksichtigt.

Die aktuelle *WärmeschutzV* soll durch die bereits erwähnte *Energieeinsparverordnung (EnEV)* ersetzt und erweitert werden. Durch die *EnEV* erhöhen sich die Anforderungen für Neubauten um weitere 25-35% gegenüber dem jetzigen Anforderungsniveau (Bild 2.1-3).

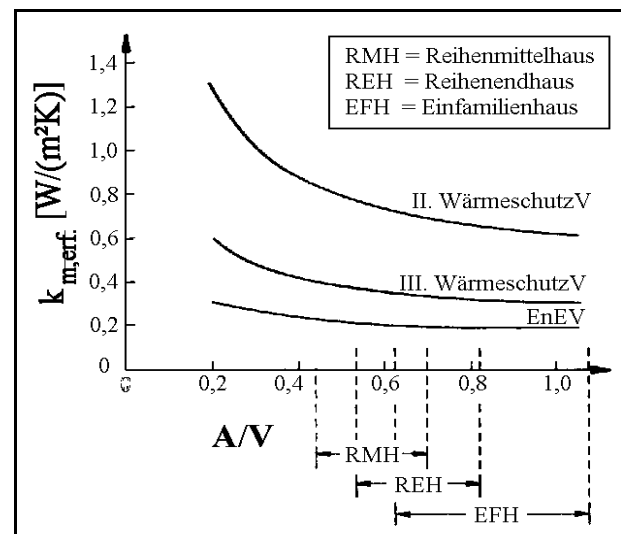


Bild 2.1-3: Anforderungen an  $k_{m,erf}$

## 2.2 Systematik

Dämmstoffe sind Stoffe, die aufgrund ihrer Struktur in hohem Maß wärme- und schalldämmend wirken. Nach *DIN 4108-2* (siehe Kap 3.1) gilt eine Schicht als Wärmedämmschicht, wenn ihr Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R \leq 0,1 \text{ W/(mK)}$  ist.

In Bezug auf die Rohstoffbasis sind anorganische (mineralische) und organische Dämmstoffe zu unterscheiden. Bei den organischen Dämmstoffen kann man zusätzlich die aus Erdöl hergestellten Kunststoffe und Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen vonein-

ander abgrenzen (Bild 2.2-1). Im allgemeinen Sprachgebrauch werden letztere häufig als natürliche oder ökologische Dämmstoffe bezeichnet.

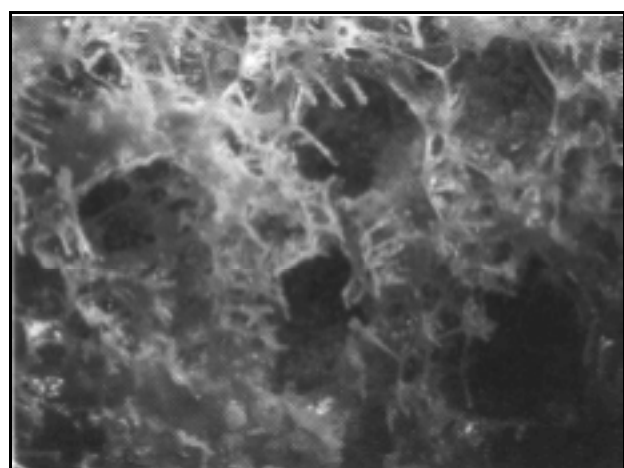
Nach ihrer Struktur können Faserdämmstoffe und geschäumte Dämmstoffe unterschieden werden. Bei ersteren bilden Fasern eine Art Haufwerk, in dem Luft eingeschlossen ist (Bild 2.2-2). Geschäumte Dämmstoffe bestehen aus einer festen Matrix, die luft- oder gasgefüllten Poren umschließt (Bild 2.2-3).



**Bild 2.2-1:** Systematik der Dämmstoffe nach ihrer Rohstoffbasis



**Bild 2.2-2:** Schafwoll-Fasern



**Bild 2.2-3:** Gipschaum-Struktur

## 2.3 Produkte und Anwendungen

Übliche Lieferformen von Dämmstoffen sind Platten, Matten, Filze und Zöpfe. Zum Ausfüllen von Hohlräumen wird Ortschaum oder lose Ware in Säcken angeboten. Für die Ummantelung von Rohren gibt es Schalen und Schläuche. Dämmstoffe kommen im Verbund mit Papier, Pappe, Glasvlies, Kunststoff oder Metallfolien sowie mineralischen Wandbaustoffen, z.B. Gipskartonplatten, Betonsteinen oder Ziegeln auf den Markt. Für unterschiedliche Anwendungsorte und -zwecke werden den jeweiligen Anforderungen entsprechende Produkte angeboten (Bilder 2.3-1 und 2.3-2, Tab. 2.3-1).

Anwendungen für Schall- und Brandschutzzwecke sind Trittschalldämmungen von Fußböden, Akustikplatten für die Schallabsorption und Brandschutzverkleidungen.

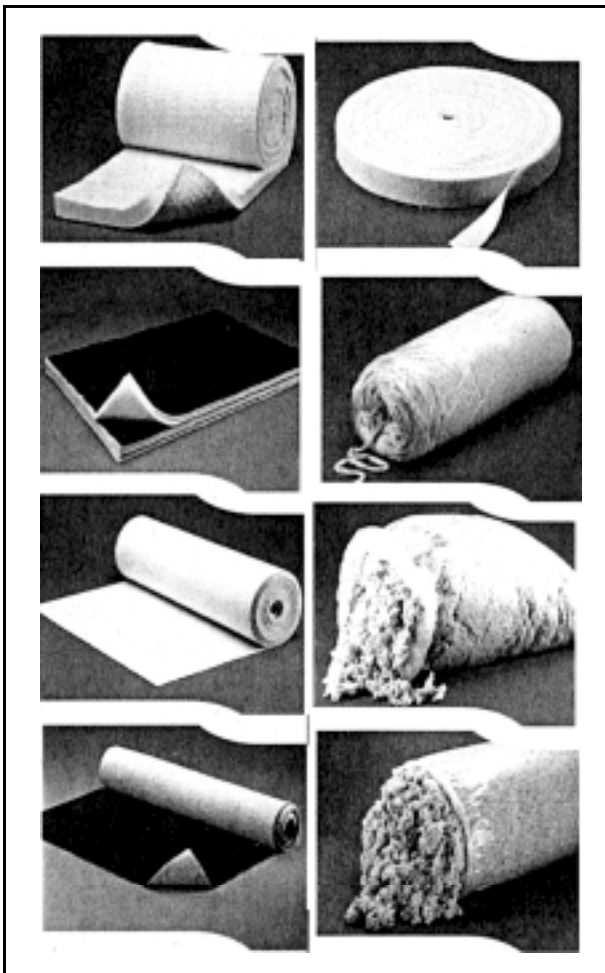


Bild 2.3-1: Beispiele für Lieferformen von Dämmprodukten

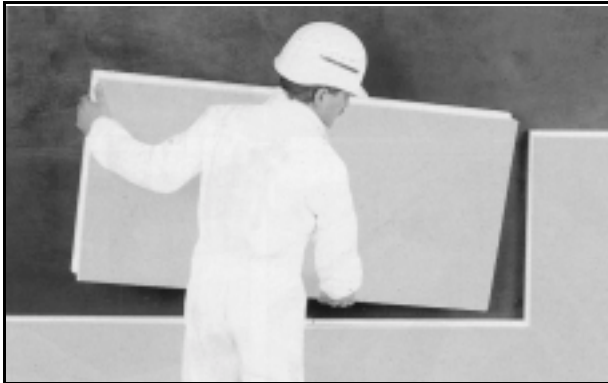
Aus den einzelnen Anwendungen ergeben sich differenzierte Anforderungen an die Produkte, z.B. in Hinblick auf Wärmeleitfähigkeit, Brandverhalten, Formbeständigkeit oder Wasseraufnahme.

Einige Dämmstoffe sind, entsprechend ihrer jeweiligen Eigenschaften, nur für bestimmte Anwendungen geeignet.

Zur Kennzeichnung möglicher Anwendungsbereiche werden Typkurzzeichen verwendet, die in den jeweiligen Produktnormen erläutert sind und auch in den bauaufsichtlichen Zulassungen verwendet werden (Tab. 2.3-3). Ortschaumstoffen und losen Schüttungen werden keine Typkurzzeichen zugeordnet.

Anwendungsbereiche		spezielle Produkte
	erdberührte Bauteile	Perimeter- und Bodenplatten-dämmungen
	Außenwände	Wärmedämmverbundsysteme, Wärmedämmputze, Kerndämmungen, Dämmungen hinterlüfteter Fassaden
	Flachdächer	Systeme für Umkehrdächer, Flachdachdämmungen mit Gefälle, Sickenfüller für Trapezbleche
	Steildächer	Dämmungen auf, zwischen oder unter den Sparren
	Geschoßdecken	Dämmungen auf nicht begehbaren Decken, Dämmungen für abgehängte Decken, Dämmungen von Holzbalkendecken
	Innenwände	Dämmungen in leichten Trennwänden
	spezielle Bauteile	Dämmungen von Fugen, Rohrleitungen, Rolläden, Schornsteinen...

Tab. 2.3-1: Produkte für die Wärmedämmung



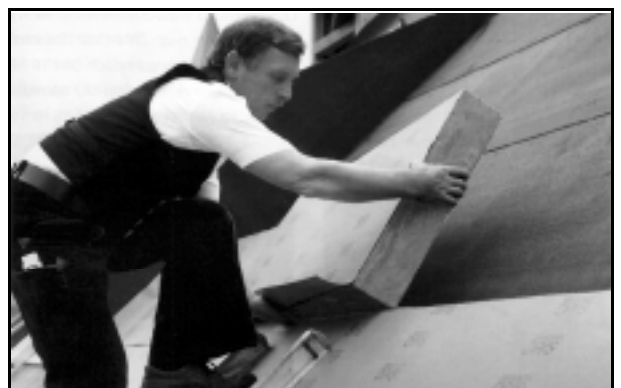
Erdberührte Bauteile



Außenwände



Flachdächer



Steildächer außen



Steildächer innen



Fußböden



Innenwände



spezielle Bauteile (z.B. Rohre)

**Bild 2.3-2:** Anwendungsbereiche von Dämmprodukten

# Dämmstoffe im Hochbau

Typkurzzeichen	Verwendung im Bauwerk	DIN-Normen
W	Wärmedämmstoffe nicht druckbelastbar, z.B. für Wände, Decken und belüftete Dächer	DIN 1101; DIN 18164-1; DIN 18165-1
WL	Wärmedämmstoffe nicht druckbelastbar, z.B. für Dämmung zwischen Sparren- und Balkenlagen	DIN 18165-1
WD	Wärmedämmstoffe, z.B. in Wänden und belüfteten Dächern, auch druckbelastet, z.B. unter druckverteilenden Böden (ohne Trittschallanforderungen) und in unbelüfteten Dächern unter der Dachhaut; nach DIN 1101 auch zum Anbetonieren als verlorene Schalung	DIN 1101; DIN 18161-1; DIN 18164-1; DIN 18165-1
WS	Wärmedämmstoffe mit erhöhter Belastbarkeit für Sondereinsatzgebiete, z.B. Parkdecks	DIN 1101; DIN 18164-1
WDS	Wärmedämmstoffe, druckbelastet, mit besonderer Druckfestigkeit, für Sondereinsatzgebiete, z.B. Industrieböden; nach DIN 18174 auch wie WD einsetzbar	DIN 18161-1; DIN 18174
WDH	Wärmedämmstoffe mit erhöhter Druckbelastbarkeit unter druckverteilenden Böden, z.B. Parkdecks für Lkw, Feuerwehrfahrzeuge	DIN 18174
WV	Wärmedämmstoffe beanspruchbar auf Abreißfestigkeit (Querzugfestigkeit), z.B. für Fassaden mit mineralischem Putz (nach DIN 1101); beanspruchbar auf Abreiß- und Scherbeanspruchung, z.B. für angesetzte Vorsatzschalen ohne Unterkonstruktion (nach DIN 18165-1)	DIN 1101; DIN 18165-1
WV-s	Wärmedämmstoffe wie vor, die auch für angesetzte schalldämmende Vorsatzschalen verwendet werden können. Die dynamische Steifigkeit $s'$ ist anzugeben.	DIN 18165-1
-w	Zusätzliche Verwendung der Typen W, WL, WD und WV zur Hohlraumdämpfung in zweischaligen Trennwänden, für Vorsatzschalen mit Unterkonstruktion oder für Schallschutzzwecke (der Strömungswiderstand $\Sigma$ muß $\geq 5 \text{ kNs/m}^4$ sein)	DIN 18165-1
WB	Wärmedämmstoffe beanspruchbar auf Biegung, z.B. zur Bekleidung von windbelasteten Fachwerk- und Ständerkonstruktionen	DIN 1101
T	Trittschalldämmstoffe, z.B. unter schwimmenden Estrichen nach DIN 18560-2	DIN 18165-2
TK	Trittschalldämmstoffe für Decken mit Anforderungen an den Luft- und Trittschallschutz nach DIN 4109, z.B. für Estriche nach DIN 18560-2; auch geeignet für Verwendung mit geforderter geringerer Zusammendrückbarkeit z.B. unter Fertigteilestrichen.	DIN 18164-2; DIN 18165-2

Tab. 2.3-2: Typkurzzeichen

## 2.4 Markt

Die Produktion an Dämmstoffen in Deutschland verzeichnete in den neunziger Jahren große Zuwächse und liegt zur Zeit bei etwa 33 Mio. m<sup>3</sup>/a (Bild 2.4-1; Quelle: Gesamtverband Dämmstoffindustrie e.V.; zu züglich 5%, die in dieser Statistik nicht erfaßt sind).

Marktführer sind die Mineralfaserdämmstoffe mit einem Marktanteil von 58%, gefolgt von den Hartschaumstoffen, die auf 36% Marktanteile kommen (Bild 2.4-2).

Die Marktanteile der Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen lagen 1996 bei etwa 5% des Gesamtvolumens, wobei hier die Zellulosefaserdämmstoffe marktführend sind (Tab. 2.4-1).

Bei den Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) haben EPS-Hartschäume einen Marktanteil von 88%, Mineralfaserdämmstoffe von 11% und die übrigen Dämmstoffe (hauptsächlich Kork) von 1%.

Wie sich der Dämmstoffmarkt in Zukunft entwickeln wird, ist nicht zuletzt von den politischen Rahmenbedingungen abhängig, z.B. davon, wie die energetische Modernisierung von Altbauten gefördert wird. Eine weitere Steigerung des Bedarfs ist aber wahrscheinlich.

In [3] wird das Potential an verbesserungswürdigen oder verbesserungsfähigen Gebäudehüllflächen im Altbaubestand mit 2,7 Mrd. m<sup>2</sup> beziffert.

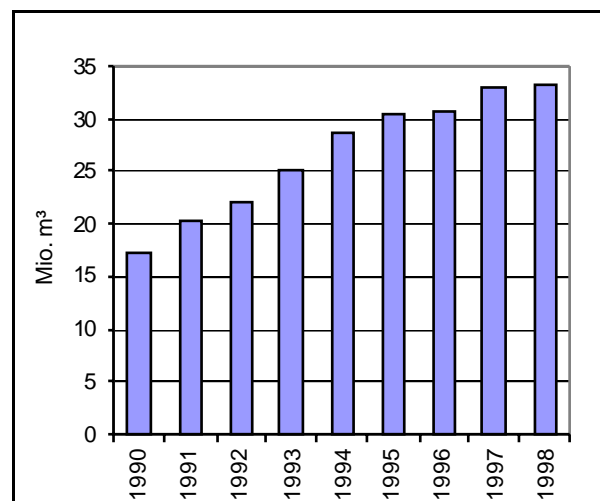
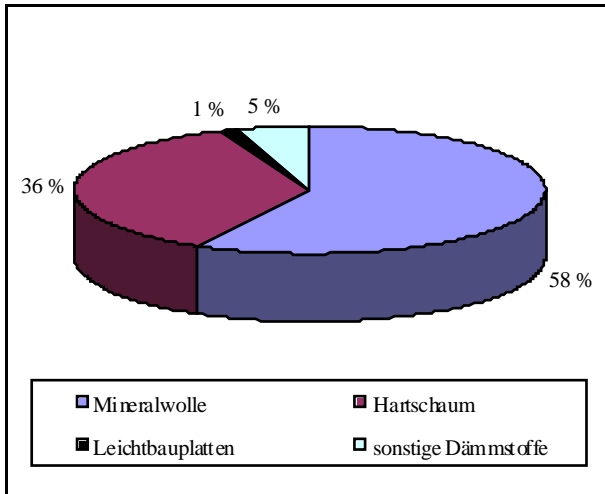


Bild 2.4-1: Dämmstoffproduktion in Deutschland



**Bild 2.4-2:** Marktanteile verschiedener Dämmstoffe

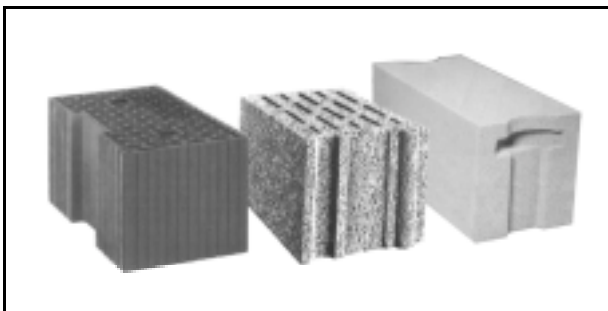
Dämmstoff	Marktanteile bei 30 Mio. m <sup>3</sup> Dämmstoffe pro Jahr
Zellulose	2,0-3,0%
Kork	0,5%
Baumwolle	< 0,5%
Flachs, Hanf	< 0,5%
Schafwolle	< 0,5%
Restholz	< 0,1%
Schilf, Stroh, Kokos etc.	< 0,1%

**Tab. 2.4-1:** Geschätzte Marktanteile von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen [4]

## 2.5 Alternativen

Für die Wärmedämmung von Außenwänden existieren eine Anzahl von Produkten, die ähnliche Eigenschaften wie Dämmstoffe aufweisen, die aber im Sinne der Definition nach *DIN 4108-2* (Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R \leq 0,1 \text{ W/(mK)}$ ) nicht als Dämmstoffe bezeichnet werden.

Mit einschaligen Wänden aus **porosierten Leichtziegeln, Leichtbeton** oder **Porenbeton** (Bild 2.5-1) lassen sich die heutigen Anforderungen an den Wärmeschutz auch ohne Dämmstoffe erfüllen. Porenbeton und neuartige wärmeschutztechnisch optimierte Ziegel erreichen  $\lambda_R$ -Werte von  $0,12 \text{ W/(mK)}$  bzw.  $0,11 \text{ W/(mK)}$ . In Verbindung mit Leicht- oder Dünnbettmörtel ergeben sich für 36,5 cm starke Wände k-Werte (siehe Kap. 3.1) von  $0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  bzw.  $0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .



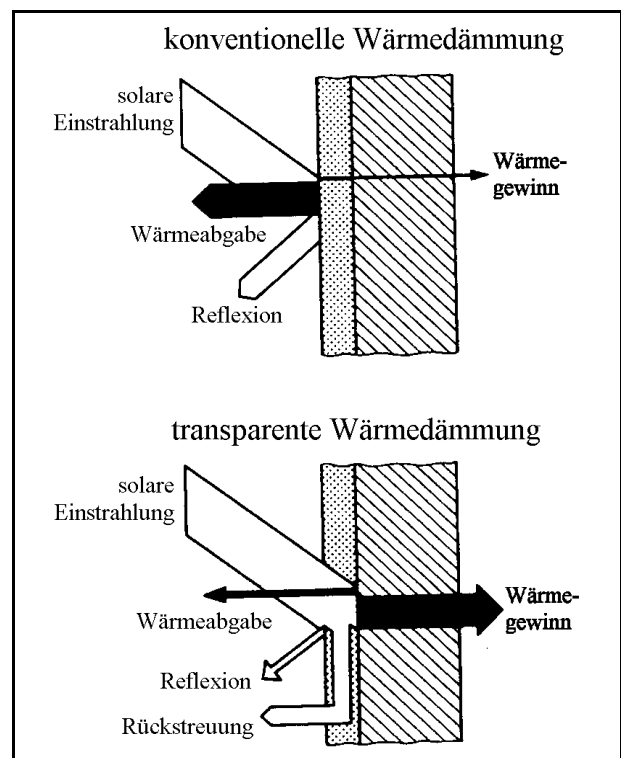
**Bild 2.5-1:** Mauersteine mit hoher Wärmedämmung

**Holz** weist mit einem  $\lambda_R$ -Wert von etwa  $0,13 \text{ W/(mK)}$  ebenfalls eine relativ geringe Wärmeleitfähigkeit auf.

**Transparente Wärmedämmungen (TWD)** werden gleichzeitig zur Wärmedämmung und zur Wärmegegewinnung eingesetzt (Bild 2.5-2). Eine TWD besteht üblicherweise aus transparenten Kapillarplatten (z.B. aus Plexiglas oder Polycarbonat), durch die Sonnenstrahlen hindurchdringen können. An der geschwärzten Oberfläche der hinter der TWD liegenden Wand werden die Strahlen in Wärme umgewandelt. Diese kann wegen

der dämmenden Eigenschaften der TWD nur zu einem geringen Teil wieder nach außen entweichen.

Dadurch erwärmt sich die Wand und ein großer Teil der gewonnenen Wärme wird nach innen abgestrahlt. In Abhängigkeit von Ausrichtung, Wandaufbau und Dimensionierung sind mit TWD Energiegewinne von  $100\text{-}200 \text{ kWh je m}^2$  und Heizperiode erreichbar. Im Sommer sind Maßnahmen zum Schutz vor Überhitzung erforderlich (z.B. Rollos). Einer weiten Verbreitung der TWD stehen bisher die relativ hohen Investitionskosten entgegen.



**Bild 2.5-2:** Funktionsprinzip der Transparenten Wärmedämmung

## 3 Anforderungen an Dämmstoffe

### 3.1 Wärme- und Feuchteschutz

Die öffentlich-rechtlichen Anforderungen an den Wärme- und Feuchteschutz von Gebäuden verfolgen die Ziele:

- ein behagliches und hygienisches Raumklima im Interesse der Gesundheit der Menschen zu schaffen, die sich in den Gebäuden aufhalten,
- die Baukonstruktion vor klimabedingten Feuchteinwirkungen und deren Folgeschäden zu schützen,
- den Heizenergieverbrauch aus volkswirtschaftlichen und ökologischen Gründen zu begrenzen.

§ 14 der *Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO)* enthält dazu folgende Forderungen:

- (2) Bauliche Anlagen sind so zu errichten, daß ein ihrer Nutzung entsprechender Wärme- und Schallschutz vorhanden ist.
- (3) Gebäude, die nach ihrer Zweckbestimmung beheizt oder gekühlt werden müssen, sind so zu errichten, daß der Energiebedarf für das Heizen oder Kühlen so sparsam und umweltschonend wie möglich gedeckt wird.

Detailliertere Anforderungen werden nicht in der *LBO*, sondern in den technischen Baubestimmungen gestellt.

In der Norm *DIN 4108 - Wärmeschutz im Hochbau* (siehe Kasten), die als technische Baubestimmung nach § 3 Abs. 3 *LBO* eingeführt ist, sind die Anforderungen an den **Mindestwärmeschutz** von Bauteilen festgelegt. Die in *DIN 4108-2*, Tab.1 festgelegten Mindestwerte des Wärmeschutzes sind für alle Bauteile einzuhalten, die das Bauwerk gegen die Außenluft oder gegen Gebäudeteile mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen abgrenzen. Dadurch sind die Anforderungen an den Wärmeschutz im Winter definiert. Zusätzlich enthält die *DIN 4108-2* Empfehlungen für den **Wärmeschutz im Sommer**, mit dem Ziel, auch bei hohen Außentemperaturen ein behagliches Raumklima in Gebäuden zu erreichen.

Durch Anforderungen an den klimabedingten **Feuchteschutz** (*DIN 4108-3*) sollen Schäden an Baukonstruktionen infolge Tauwasser und Schlagregen vermieden werden.

Die **Wärmeschutzverordnung (WärmeschutzV)** stellt über den in *DIN 4108-2* geforderten Mindestwärmeschutz hinausgehenden Anforderungen an zu errichtende Gebäude mit normalen Innentemperaturen, zu errichtende Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen und bauliche Änderungen bestehender Gebäude.

Bei Gebäuden mit normalen Innentemperaturen ist nachzuweisen, daß der vorhandene volumenbezogene Jahres-Heizwärmebedarf *vorh. Q<sub>H</sub>*  $\leq$  *zul. Q<sub>H</sub>* ist. Der vorhandene Jahres-Heizwärmebedarf wird als Energiebilanz aus dem Transmissionswärmebedarf und dem Lüftungswärmebedarf sowie den internen und solaren Wärmegewinnen eines Gebäudes ermittelt.

#### DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau

Als Technische Baubestimmung sind folgende Teile der *DIN 4108* nach § 3 Abs. 3 der *LBO* eingeführt:  
Teil 2: Wärmedämmung und Wärmespeicherung (1981-08)  
Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz (1981-08)  
*DIN V 4108-4*: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte (1998-10)

#### Wärmeschutz

Der Wärmeschutz eines Gebäudes ist von Parametern wie Lage, Gebäudeform, Grundriß, Fenstergrößen und -orientierung sowie Dichtheit der Außenbauteile, vor allem aber von den Wärmedämmeigenschaften der raumumschließenden Bauteile abhängig. Um eine hohe Wärmedämmung zu erreichen, werden deshalb Stoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit eingesetzt (Bild 3.1-1).

Die **Wärmeleitfähigkeit**  $\lambda$  ist eine Stoffkennzahl und gibt an, welche Wärmemenge im Beharrungszustand in einer Stunde bei  $\Delta T = 1 \text{ K}$  durch  $1 \text{ m}^2$  einer  $1 \text{ m}$  dicken Schicht des Stoffes strömt. Die Einheit für die Wärmeleitfähigkeit lautet  $\text{W}/(\text{mK})$ . Die Wärmeleitfähigkeit eines Dämmstoffes wird bestimmt durch:

- Porenvolumen,
- Gestalt, Größe und Verteilung der Poren,
- Art und Gefügebau des Feststoffanteils,
- Rohdichte des Dämmstoffes (siehe Bild 3.1-2)
- Feuchtigkeit und Temperatur des Dämmstoffes

In den **Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit**  $\lambda_R$  nach *DIN V 4108-4 Tab. 1* gehen u.a. die Einflüsse der Temperatur, des praktischen Feuchtegehaltes und Schwankungen der Stoffeigenschaften ein. Entsprechend ihres  $\lambda_R$ -Wertes werden Dämmstoffe in **Wärmeleitfähigkeitsgruppen** (WLG) eingeteilt. Die WLG 035 bedeutet z.B.  $\lambda_R \leq 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ .

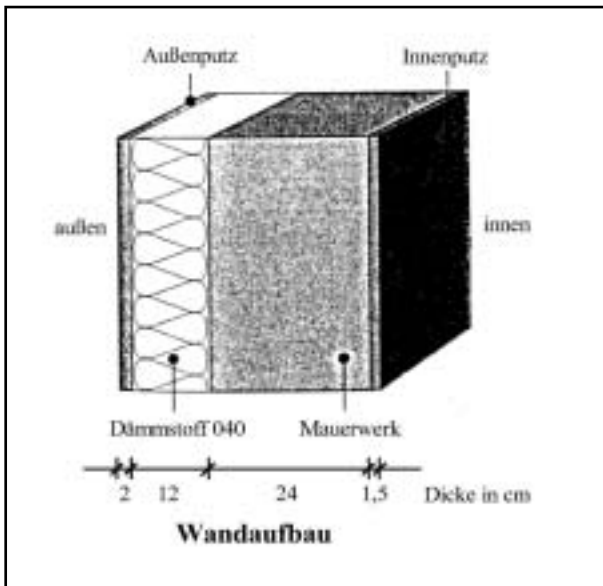
Der **Wärmedurchlaßkoeffizient**  $\Lambda$  gibt die Wärmemenge an, die in einer Stunde durch ein Bauteil von  $1 \text{ m}^2$  Fläche und einer bestimmten Dicke  $s$  bei einem Temperaturunterschied von  $1 \text{ K}$  von der warmen zu kalten Bauteiloberfläche strömt. Der Kehrwert des Wärmedurchlaßkoeffizienten wird als **Wärmedurchlaßwiderstand**  $1/\Lambda$  oder  $R$  bezeichnet.

Der **Wärmedurchgangskoeffizient**  $k$  (k-Wert), bzw.  $U$  (nach *DIN EN ISO 7345*) eines Bauteils ergibt sich aus dem Wärmedurchlaßkoeffizienten  $\Lambda$  und berücksichtigt die inneren und äußeren Wärmeübergangswiderstände  $1/\alpha_i$  und  $1/\alpha_a$ , bzw.  $R_{si}$  und  $R_{se}$ , deren Größe von der Lage des Bauteils im Gebäude abhängig ist (*DIN 4108-4 Tab.5*). Der Kehrwert des Wärmedurchgangskoeffizienten  $1/k$  bzw.  $R_T$  wird als **Wärmedurchgangswiderstand** bezeichnet.

$$\Lambda = \frac{\lambda_R}{s} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

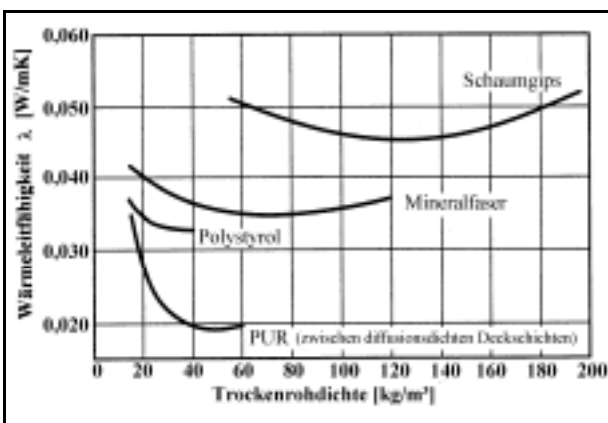
$$k = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda_R} + \frac{1}{\alpha_a} \right)} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$





Schichtenfolge	Dämmwirkung	Dichte [kg/m³]	$\lambda$ [W/(mK)]	$1/\alpha$ [m²K/W]
Übergang innen	4 %	-	-	$1/\alpha_i = 0,130$
Innenputz	1 %	1200	0,35	0,043
Mauerwerk	8 %	1800	0,81	0,296
Dämmstoff 040	84 %	100	0,04	3,000
Außenputz	2 %	1200	0,35	0,057
Übergang außen	1 %	-	-	$1/\alpha_a = 0,040$
$1/k =$				3,566
$k =$				0,28 W/m²K

**Bild 3.1-1:** Anteilige Dämmwirkungen der Baustoffe einer Außenwand



**Bild 3.1-2:** Wärmeleitahlen unterschiedlicher Dämmstoffe in Abhängigkeit von der Rohdichte

## Wärmespeicherung

Für ein behagliches Raumklima sind neben einer guten Wärmedämmung auch wärmespeicherfähige Bauteile sinnvoll, da sie die tageszeitlichen, witterungs- oder nutzungsbedingten Temperaturschwankungen begrenzen. Die **Wärmespeicherfähigkeit** eines Stoffes ist von der Einbaudichte  $\rho$  [kg/m³] und der spezifischen Wärmekapazität  $c$  [J/(kg·K)] abhängig. Das Produkt  $(\rho \cdot c)$  charakterisiert die in einem Kubikmeter eines Baustoffs gespeicherte Wärme (Speicherfähigkeit) [5]. *DIN V 4108-4: 1998-10, Tab. 9* enthält Rechenwerte für  $c$ . Dämmstoffe haben wegen ihres geringen Gewichtes nur eine geringe Wärmespeicherfähigkeit. Dies kann vor allem bei ausgebauten Dachräumen zu Problemen mit dem sommerlichen Wärmeschutz führen, da dort in der Regel keine speicherfähigen Bauteile vorhanden sind. An Bauteile, deren flächenbezogene Masse kleiner als 300 kg/m² ist, werden deshalb in *DIN 4108-2* erhöhte Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt, um ihre geringe Wärmespeicherfähigkeit auszugleichen.

## Feuchteschutz

Wärme- und Feuchteschutz stehen in engem Zusammenhang. Feuchte Bauteile weisen eine schlechte Wärmedämmung auf, da Wasser eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft besitzt. Außerdem kann Feuchtigkeit in Baustoffen zu Frostschäden, Schimmelpilzbildung, Korrosion oder Schädlingsbefall führen.

In Gebäuden können Baustoffe infolge Schlagregen oder Dampfdiffusion durchfeuchten. Dampfdiffusion tritt auf, wenn sich zwischen Gebäudeinnerem und Gebäudeäußerem ein Dampfdruckgefälle bildet. Unter Umständen kondensiert der von innen nach außen diffundierende Wasserdampf in den raumabschließenden Bauteilen zu Wasser (innere Kondensation). Für die Berechnung evtl. anfallender Tauwassermengen ist neben dem Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R$  die **Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  $\mu$**  eine wichtige Stoffkenngröße. Sie charakterisiert den Widerstand, den ein Baustoff der Dampfdiffusion entgegensetzt.

Um der Dampfdiffusion zu begegnen, werden vor allem im Dachbereich Dampfsperren angeordnet (in der Regel Folien). Rechenwerte für die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl von Baustoffen enthält *DIN V 4108-4 Tab. 1*.

Auf das Feuchteverhalten von Dämmstoffen ist besonders zu achten, wenn die Dämmstoffe in Holzbauteile ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz eingebaut werden sollen (z.B. in Dächern oder Holzständerwänden nach *DIN 68800-2*). Vom Feuchteverhalten der Dämmstoffe hängt einerseits ab, wie schnell die Holzbauteile in der Baukonstruktion austrocknen, andererseits kann in Dämmstoffen enthaltene Feuchtigkeit zur Wiederauffeuchtung des Holzes führen.

Vor allem Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zeigen ein hygroscopisches Verhalten [4]. Aus feuchteschutztechnischer Sicht bestehen hinsichtlich ihrer Verwendung aber nur dann Bedenken, wenn die Gefahr einer Durchfeuchtung, bspw. infolge von Schlagregen besteht.

Dämmstoffe, die für die Kerndämmung von zweischaligen Wänden eingesetzt werden sollen, müssen hydrophob sein, da hier Feuchte infolge von Schlagregen an die Dämmschicht gelangen kann.

## 3.2 Schallschutz

Mit einem ausreichenden Schallschutz sollen Störungen, Belästigungen und Gesundheitsschäden der Benutzer und Bewohner baulicher Anlagen durch Geräusche und Lärm verhindert werden. Schallschutz umfaßt Maßnahmen gegen die Schallentstehung und gegen die Schallübertragung. Maßnahmen zur Verminderung der Schallübertragung zwischen verschiedenen Räumen bezeichnet man als **Schalldämmung**. Unter **Schallabsorption** wird die Verminderung von Schallübertragung innerhalb eines Raumes verstanden.

Die Anforderungen an den Schallschutz ergeben sich wie beim Wärmeschutz aus § 14 LBO:

- (2) Bauliche Anlagen sind so zu errichten, daß ein ihrer Nutzung entsprechender Wärme- und Schallschutz vorhanden ist.

Konkretisiert werden die Anforderungen an den Schallschutz durch *DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau*. Die Norm enthält Anforderungen für die Luft- und Trittschalldämmung von Bauteilen, den zulässigen Schalldruckpegel in schutzbedürftigen Räumen infolge Geräuschen aus haustechnischen Anlagen und Gewerbebetrieben sowie die Luftschalldämmung der Außenbauteile von Aufenthaltsräumen gegenüber Außenlärm. Im *Beiblatt 1 zu DIN 4109* sind Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren angegeben. *DIN 4109* und *Beiblatt 1* sind als Technische Baubestimmungen nach § 3 Abs. 3 LBO eingeführt. *Beiblatt 2 zu DIN 4109* enthält über die Mindestanforderungen hinausgehende Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz, deren Einhaltung bauordnungsrechtlich aber nicht verlangt wird.

**Trittschalldämmung**

Die Trittschalldämmung wird durch den Trittschalpegel  $L$  beschrieben, der infolge eines genormten Schallereignisses gemessen wird. Normiert auf eine Bezugs-Absorptionsfläche von  $10 \text{ m}^2$  erhält man den Norm-Trittschalpegel  $L_n$ . Der in Gebäuden gemessene Norm-Trittschalpegel wird als  $L'_n$  bezeichnet. Beurteilt wird die Trittschalldämmung nach *DIN 4109* mit dem bewerteten Norm-Trittschalpegel  $L'_{n,w}$ , der die unterschiedliche Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für verschiedene Frequenzen berücksichtigt.

Ein ausreichender Trittschallschutz läßt sich bei Geschloßdecken nur mit einer mehrschaligen Konstruktion, z.B. einem schwimmenden Estrich erzielen. Hierfür ergibt sich der bewertete Norm-Trittschalpegel  $L'_{n,w}$  aus dem **äquivalenten bewerteten Norm-Trittschalpegel**  $L_{n,w,eq}$  der massiven Decke und dem **Trittschallverbesserungsmaß**  $\Delta L_w$  des schwimmenden Estriches:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w \quad [\text{dB}] \text{ (Dezibel)}$$

Das Trittschallverbesserungsmaß  $\Delta L_w$  eines schwimmenden Estrichs ist von der dynamischen Steifigkeit  $s'$  abhängig (siehe Kasten Luftschalldämmung). Je kleiner  $s'$  ist, um so größer ist  $\Delta L_w$ . Dämmstoffe zur Trittschalldämmung müssen einer Steifigkeitsgruppe zugeordnet und entsprechend gekennzeichnet sein (Bsp.: Gruppe 30 bedeutet  $s' \leq 30 \text{ MN/m}^3$ ).

### Luftschalldämmung

Von **Luftschall** spricht man, wenn sich die durch ein Schallereignis induzierten Schwingungen in der Luft fortpflanzen. Die Luftschalldämmung eines Bauteils wird durch das Schalldämm-Maß  $R$  beschrieben.

$$R = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}] \text{ (Dezibel)}$$

$P_1/P_2$  ist das Verhältnis der auf ein Bauteil auftreffenden Schallenergie  $P_1$  zu der auf der Rückseite des Bauteils abgestrahlten Energie  $P_2$ . Das Schalldämm-Maß wird in genormten Prüfständen ermittelt.

In Gebäuden erfolgt die Luftschallübertragung jedoch nicht nur direkt über trennende Bauteile, z.B. eine Wand, sondern auch über angrenzende Bauteile, bspw. die auf der Wand aufliegende Decke. Im sogenannten Bau-Schalldämm-Maß  $R'$  ( $R' \leq R$ ) ist der Anteil der Schallängsleitung enthalten.

$R$  und  $R'$  sind von den Frequenzen der Schallwellen abhängig. Die Anforderungen an die Luftschalldämmung von Bauteilen werden daher in *DIN 4109* durch das **bewertete Schalldämm-Maß**  $R'_w$  beschrieben, in dem alle Frequenzen zwischen 100 und 3150 Hz beurteilt werden.

Bei einschaligen homogenen und dichten Wänden oder Decken wird die Luftschalldämmung vor allem durch die **flächenbezogene Masse**  $m'$  und somit durch die Rohdichte des verwendeten Baustoffes bestimmt. Je größer die Rohdichte ist, um so größer ist die Luftschalldämmung.

Bei zweischaligen Bauteilen wird die Luftschalldämmung nicht nur durch die flächenbezogenen Massen der Schalen, sondern auch durch die Biegesteifigkeit der Schalen und durch konstruktive Details beeinflusst, z.B. durch die Art der Entkopplung der Schalen.

Die Biegesteifigkeit wird durch den **dynamischen Elastizitätsmodul**  $E_{dyn}$  beschrieben. Aus  $E_{dyn}$  und dem lichten Abstand der Schalen  $a$  leitet sich die **dynamische Steifigkeit**  $s'$  ab. Sie wird benötigt, um die Eigenfrequenz  $f_0$  zweischaliger Bauteile zu ermitteln, da im Bereich der Eigenfrequenz die Schalldämmung schlecht ist.

$$s' = \frac{E_{dyn}}{a} \quad [\text{MN/m}^3]$$

$$f_0 = \left( \frac{1000}{2\pi} \right) \cdot \sqrt{s' \cdot \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad [\text{Hz}]$$

mit:  $f_0$  = Eigenfrequenz in Hz

$m'$  = flächenbezogene Massen der Schalen in  $\text{kg/m}^2$

$s'$  = dyn. Steifigkeit der Dämmschicht in  $\text{MN/m}^3$ .

Ein zweischaliges System mit ungünstiger Eigenfrequenz  $f_0$  entsteht z.B., wenn biegesteife Wärmedämmschichten, d.h. Schichten aus Dämmstoffen mit einem hohen  $E_{dyn}$ , an einer Wand vollflächig befestigt und verputzt werden. Biege-weiche Dämmschichten, d.h. Schichten aus Dämmstoffen mit einem niedrigen  $E_{dyn}$ , verbessern dagegen den Schallschutz einer Wand.

## 3.3 Brandschutz

Die Generalklausel des Bauordnungsrechts, § 3 LBO, wird bezüglich des Brandschutzes durch § 15 näher bestimmt:

- (1) Bauliche Anlagen sind so anzuordnen und zu errichten, daß der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch im Interesse der Abwendung von Gefahren für Leben und Gesundheit von Menschen und Tieren vorgebeugt wird und bei einem Brand wirksame Löscharbeiten und die Rettung von Menschen und Tieren möglich sind.

Die allgemeinen Anforderungen des § 15 werden in den §§ 26 bis 32 LBO und den hierzu ergangenen Vorschriften der *Allgemeinen Ausführungsverordnung des Wirtschaftsministeriums zur Landesbauordnung (LBO-AVO)* präzisiert.

Für Dämmstoffe sind vor allem folgende Anforderungen in der LBOAVO wichtig:

- § 3 Abs. 1: Leichtentflammbare Baustoffe dürfen nicht verwendet werden. Dies gilt nicht, wenn diese Baustoffe in Verbindung mit anderen Baustoffen nicht mehr leichtentflammbar sind.
- § 6 Abs. 6: Äußere Verkleidungen müssen mindestens schwerentflammbar sein. Verkleidungen aus normalentflammbaren Baustoffen sind zulässig, wenn eine Brandübertragung auf höherliegende Geschosse oder auf angrenzende Gebäude nicht zu befürchten ist. Verkleidungen dürfen nicht brennend abtropfen können...
- § 6 Abs. 7: Dämmschichten zwischen den Außenwänden aneinandergereihter Gebäude müssen mindestens schwerentflammbar und außerdem mit nichtbrennbaren Baustoffen verwahrt sein. Im übrigen gilt für Dämmschichten Absatz 6 entsprechend.
- § 11 Abs. 4: In notwendigen Treppenträumen müssen bis zu ihren Ausgängen ins Freie ... Dämmschichten ... aus nichtbrennbaren Baustoffen ... bestehen; ...
- § 12 Abs. 3: In notwendigen Fluren müssen ... Dämmschichten ... aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen; ...

Die Forderungen von § 11 Abs. 4 und § 12 Abs. 3 LBOAVO gelten nicht für Gebäude geringer Höhe.

Für bauliche Anlagen und Räume besonderer Art und Nutzung gelten spezielle Verordnungen, z.B. die *Garagen-*, die *Verkaufsstätten-* und die *Versammlungsstättenverordnung (GaVO, VkVO, VStättVO)*.

Die Norm *DIN 4102 - Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen* ergänzt die bauordnungsrechtlichen Brandschutzanforderungen. Sie bildet die Grundlage für die Einordnung in Baustoff- und Feuerwiderstandsklassen. Die Teile 2 bis 4 und der Teil 6 der *DIN 4102* sind als Technische Baubestimmungen nach § 3, Abs. 3 LBO eingeführt.

### Baustoff- und Feuerwiderstandsklassen

Das unterschiedliche Brandverhalten von Baustoffen wird durch **Baustoffklassen** beschrieben (Tab. 3.3-1).

Die **Feuerwiderstandsklassen** nach *DIN 4102-2* charakterisieren die Feuerwiderstandsdauer eines Bauteils in Minuten (z.B. F 30 = 30 min Feuerwiderstandsdauer).

Im allgemeinen Bauordnungsrecht werden für Bauteile die Anforderungen „feuerhemmend“ (F 30) und „feuerbeständig“ (F90) unterschieden.

Baustoffklasse	Baurechtliche Benennung
<b>A</b>	<i>nichtbrennbare Baustoffe</i> ohne brennbare Bestandteile mit brennbaren Bestandteilen
<b>A 1</b>	
<b>A 2</b>	
<b>B</b>	<i>brennbare Baustoffe</i> schwerentflammbare Baustoffe normalentflammbare Baustoffe leichtentflammbare Baustoffe
<b>B 1</b>	
<b>B 2</b>	
<b>B 3</b>	

**Tab. 3.3-1:** Baustoffklassen nach *DIN 4102-1*, Tabelle 1 und ihre baurechtliche Benennung

### Brandschutz mit Wärmedämmstoffen

Wärmedämmstoffe werden auch für den Brandschutz von Bauteilen eingesetzt. Das Prinzip ist dabei, die Bauteile vor einer (zu schnellen) Erwärmung zu schützen. Verwendet werden:

- Mineralfaserdämmstoffe
- magnesit-, gips-, oder zementgebundene Holzwolleleichtbauplatten
- Fibersilikatplatten (Calciumsilikat mit Mineralfasern)

## 3.4 Gesundheits- und Umweltschutz

Die öffentlich rechtlichen Anforderungen an den Gesundheits- und Umweltschutz im Zusammenhang mit baulichen Anlagen und Bauprodukten ergeben sich aus § 3 Abs. 1 der LBO, in dem gefordert wird, daß Leben, Gesundheit und natürliche Lebensgrundlagen durch bauliche Anlagen nicht bedroht werden dürfen.

Im Bereich des Gesundheitsschutzes existieren zusätzlich Regelungen, die diese Anforderungen präzisieren:

Aus der *Chemikalien-Verbotsverordnung (Chem-VerbotsV)* ergeben sich Verwendungsverbote für gesundheits- und umweltgefährdende Stoffe. Regeln des Arbeitsschutzes (*Gefahrstoffverordnung, Technische Regeln für Gefahrstoffe, MAK-Werte-Liste*) beeinflussen den Umgang mit Baustoffen, die gesundheitsgefährdende Bestandteile enthalten. Mit der *ETB-Richtlinie UF-Ortschaum* wird direkt auf einen Dämmstoff und seine Verwendung Einfluß genommen.

Unter dem Aspekt des ökologischen Bauens können weitere Anforderungen formuliert werden, um die von baulichen Anlagen ausgehenden Umweltbelastungen während des gesamten Lebenszyklus der baulichen Anlage zu minimieren (Bild 3.4-1). Aus diesem Ansatz ergeben sich folgende Anforderungen an Baustoffe:

- geringer Rohstoff- und Energieverbrauch sowie geringe Flächeninanspruchnahme bei der Herstellung der Baustoffe
- ausreichende Verfügbarkeit der Rohstoffe, hoher Anteil an Sekundärrohstoffen
- geringe Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Boden während der Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Baustoffe
- gute Recycling- und Entsorgungsmöglichkeiten
- hohe Lebensdauer bei geringem Wartungs- und Reparaturaufwand

**Ökologische Dämmstoffe** sind in diesem Sinne Dämmstoffe, die gesunde Wohn- und Lebensbedingungen garantieren und die Umwelt während ihres Lebenszyklus möglichst gering belasten. Eine pauschale Zuordnung von Dämmstoffen in die Kategorie „ökologisch“ anhand einzelner Eigenschaften reicht nicht aus. Die ökologische Qualität sollte vielmehr umfassend, z.B. mit einer Ökobilanz beurteilt werden.

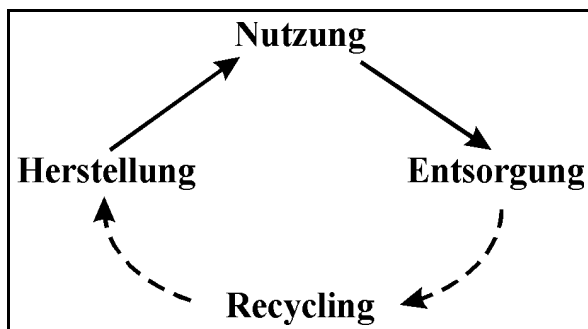


Bild 3.4-1: Lebenszyklus

### Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV)

Die *Chemikalien-Verbotsverordnung* enthält Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem *Chemikaliengesetz*, z.B. für Asbest. Für bestimmte Stoffe werden gesonderte Verbotsverordnungen erlassen, z.B. die *FCKW-Halon-Verbotsverordnung*.

### Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

Die *Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung)* regelt die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung gefährlicher Stoffe und den Umgang mit ihnen.

### Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)

Die *Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)* geben den Stand der sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen, hygienischen sowie arbeitswissenschaftlichen Anforderungen an Gefahrstoffe hinsichtlich Inverkehrbringen und Umgang wieder. In den *TRGS* wird erläutert, in welcher Weise die Bestimmungen der *GefStoffV* anzuwenden sind.

### MAK-Werte-Liste

Die *MAK-Werte-Liste* enthält zulässige Schadstoffkonzentrationen an Arbeitsplätzen (**Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen**) und ein Verzeichnis krebserzeugender Arbeitsstoffe. Sie wird von der *Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft* herausgegeben und jährlich aktualisiert. In der *MAK-Werte-Liste* werden krebserzeugende Arbeitsstoffe in 5 Kategorien eingeteilt:

- 1: beim Menschen eindeutig krebserzeugend
- 2: im Tierversuch krebserzeugend, daher auch für den Menschen als krebserzeugend anzusehen
- 3: vermutlich krebserzeugend, aber nicht eindeutig nachgewiesen
- 4: krebserzeugende Wirkung vorhanden, jedoch kein Krebsrisiko bei Einhaltung der MAK-Werte, Stoff ist nicht genotoxisch (erbschädigend)
- 5: wie 4, Stoff ist aber genotoxisch

Für Stoffe der Kategorien 1 und 2 enthält die *MAK-Werte-Liste* keine zulässigen Konzentrationswerte, "da keine noch als unbedenklich anzusehende Konzentration angegeben werden kann". Statt dessen werden sogenannte Technische Richtkonzentrationen (TRK) angegeben. Es handelt es sich hierbei um Werte, die nach dem Stand der Technik erreicht werden können und deren Einhaltung das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit verringern soll.

### ETB-Richtlinie UF-Ortschaum

Die *ETB-Richtlinie zur Begrenzung der Formaldehyd-emission in die Raumluft bei Verwendung von Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum (ETB-Ri UF-Ortschaum)* hat zum Ziel, die Formaldehydkonzentration in Aufenthaltsräumen von Häusern zu begrenzen, deren Dächer oder Wände mit Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum gedämmt sind. Die Richtlinie enthält Anforderungen an den Ortschaum selbst, an die Verwendung in Bauwerken und an das ausführende Unternehmen.

## 3.5 Langzeitverhalten, Dauerhaftigkeit

Die allgemeinen Anforderungen an Langzeitverhalten und Dauerhaftigkeit ergeben sich aus § 3 der LBO:

- (2) Bauprodukte dürfen nur verwendet werden, wenn bei ihrer Verwendung die baulichen Anlagen bei ordnungsgemäßer Instandhaltung während einer dem Zweck entsprechenden angemessenen Zeitdauer die Anforderungen der Vorschriften dieses Gesetzes oder auf Grund dieses Gesetzes erfüllen und gebrauchstauglich sind.

Als angemessene Zeitdauer ist ein Zeitraum anzusehen, der der gewöhnlichen Lebensdauer der baulichen Anlage entspricht (50-100 Jahre bei Massivbauten [6]).

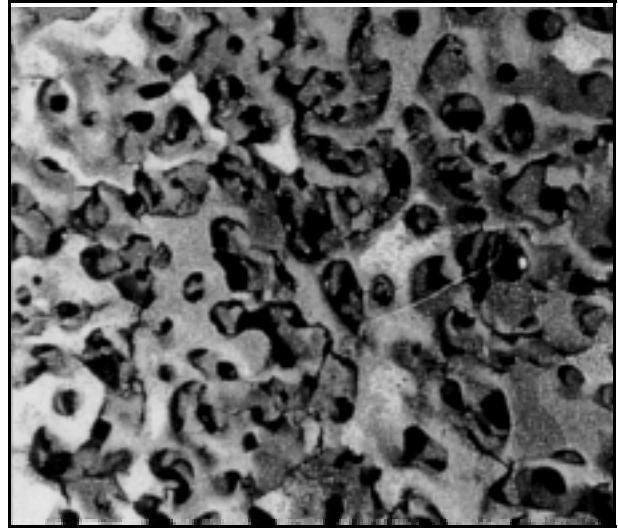
Von Dämmstoffen ist zu fordern, daß sie über lange Zeiträume ihre Dämmeigenschaften, ihre Substanz sowie ihre Beschaffenheit und Struktur bewahren.

Folgende Probleme und Folgeerscheinungen können in diesem Zusammenhang auftreten:

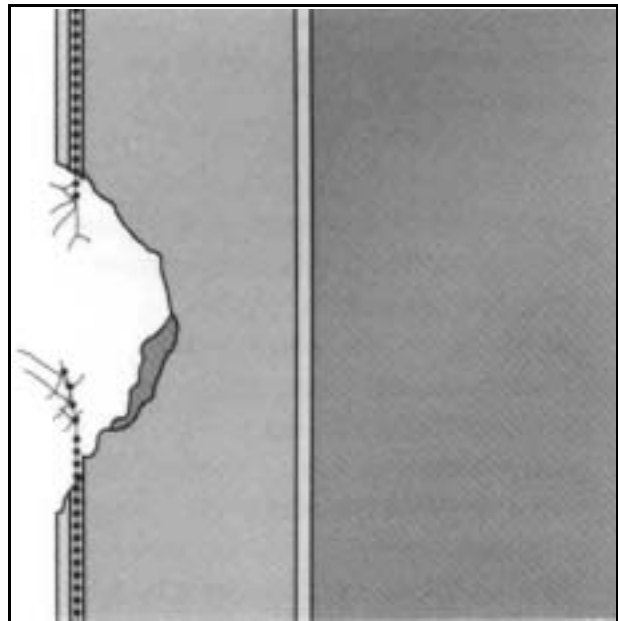
- Feuchteaufnahme, Dimensionsinstabilität, Austausch von Zellgasen durch Diffusion → verringerte Dämmwirkung
- chemische Instabilität, Zerfall der Flammschutzmittel → Änderung des Brandverhaltens
- biologische Instabilität, Verrottung, Pilzbefall, Mäuse- oder Insektenfraß (siehe Bild 3.5-1) → Auflösung, Zerfall
- mechanische Zerstörung (Bild 3.5-2), Rißbildung → verringerte Dämmwirkung, optische Beeinträchtigungen

Konkrete Anforderungen werden in Produktnormen und Zulassungen an die Formstabilität, an die biologische Verwertbarkeit (Widerstand gegen Schimmel und tierische Schädlinge) und an die Alterungsbeständigkeit gestellt (siehe Kap. 3.7).

Problematisch ist der Nachweis der Alterungsbeständigkeit. Bei genormten Dämmstoffen sind in der Regel die Langzeiterfahrungen der Beweis für eine ausreichende Dauerhaftigkeit. Bei der Zulassung neuer Dämmstoffe (siehe Kap. 3.6) wird die Dauerhaftigkeit durch einen Kurzzeit-Praxistest berücksichtigt: Vor Verlängerung der auf drei Jahre befristeten Zulassungen erfolgt eine Prüfung der Dämmstoffe anhand von mindestens 3 Praxisobjekten, die mindestens 2 Jahre alt sein müssen.



**Bild 3.5-1:** Insektenfraß an einem Dämmstoff



**Bild 3.5-2:** Schaden an einem Wärmedämmverbundsystem infolge mechanischer Einwirkung

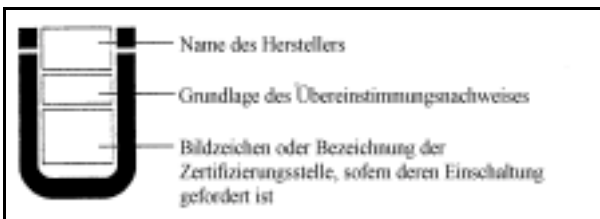
# Anforderungen an Dämmstoffe

## 3.6 Nachweis der Verwendbarkeit

Der Nachweis der Verwendbarkeit von Bauprodukten wird durch § 17 LBO geregelt. Für den Nachweis kommen hauptsächlich zwei Verfahren in Frage:

1. Nachweis der Übereinstimmung mit den vom *Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt)* in der *Bauregelliste* bekannt gemachten technischen Regeln gemäß § 17 Abs. 1 und 2 LBO.
2. Nachweis der Verwendbarkeit durch eine vom *DIBt* erteilte allgemeine baurechtliche (nach *Musterbauordnung* bauaufsichtliche) Zulassung gemäß § 17 Abs. 3 und § 18 LBO.

In beiden Fällen müssen die Bauprodukte das Übereinstimmungszeichen nach § 22 LBO tragen (Bild 3.6-1).



**Bild 3.6-1:** Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen)

Die *Bauregelliste A Teil 1* enthält nationale technische Regeln für Dämmstoffe, an die aus baurechtlicher Sicht Anforderungen bezüglich der Verwendbarkeit gestellt werden (Tab. 3.6-1). Bei den Dämmstoffen, die diesen technischen Regeln entsprechen, handelt es sich um „geregelte Bauprodukte“.

Für Dämmstoffe, die von diesen technischen Regeln wesentlich abweichen oder für die es technische Regeln nicht gibt („nicht geregelte Bauprodukte“), erfolgt der Nachweis der Verwendbarkeit über allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen. Sie werden erteilt, nachdem das Produkt ein Prüfprogramm durchlaufen hat und die Verwendbarkeit fest gestellt wurde. Die Prüfprogramme orientieren sich an den Anforderungen, die an bereits genormte Dämmstoffe gestellt werden. Bauaufsichtliche Zulassungen für neue Bauprodukte oder Bauarten werden generell auf drei Jahre befristet. Ein Verzeichnis aller bauaufsichtlichen Zulassungen wird vom *Deutschen Institut für Bautechnik* herausgegeben [7].

Dämmstoffe sind entsprechend der jeweiligen Produktnorm bzw. Zulassung zu kennzeichnen (Bild 3.6-2). Das Etikett muß folgende Informationen enthalten:

- Stoffart und Lieferform
- Anwendungstyp
- Technische Regel oder Zulassung
- Wärmeleitfähigkeitsgruppe
- Brandverhalten nach *DIN 4102*, ggf. Prüfbescheid
- Nennmaße
- etwaige Sondereigenschaften
- Hersteller und Herstellungsdatum (ggf. verschlüsselt)
- Übereinstimmungszeichen

Kurzbezeichnungen enthalten die Norm, die Stoffart, die Lieferform, den Anwendungstyp, die Wärmeleitfähigkeitsgruppe, das Brandverhalten und die Nennmaße.

Für den Dämmstoff, dessen Etikett in Bild 3.6-2 dargestellt ist, lautet die Kurzbezeichnung *Faserdämmstoff DIN 18165 – MinP – W – w – 040 - A2 - 50*. Es handelt sich um einen Faserdämmstoff aus Mineralfasern (Min) in Plattenform (P) des Anwendungstyps W-w. Der Dämmstoff weist einen Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda_R \leq 0,040 \text{ W/(mK)}$  auf, ist nicht brennbar, enthält aber brennbare Bestandteile (Baustoffklasse A2 nach *DIN 4102-1*) und ist 50 mm dick.



**Bild 3.6-2:** Beispiel für ein Dämmstoff-Etikett

## Anforderungen an Dämmstoffe

Norm	Titel	Dämmstoff
DIN 1101:1989-11	Holzwole- Leichtbauplatten und Mehrschicht-Leichtbauplatten als Dämmstoffe für das Bauwesen	mineralisch gebundene Holzwole bzw. Hartschaum- oder Mineralfaserdämmschicht mit ein- oder beidseitiger Beschichtung aus mineralisch gebundener Holzwole
DIN 18159-1:1991-12	Schaumkunststoffe als Ortschaftäume im Bauwesen; Polyurethan-Ortschaum für die Wärme- und Kälte dämmung	Polyurethan-Ortschaum
DIN 18159-2:1978-06	Schaumkunststoffe als Ortschaftäume im Bauwesen; Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum für die Wärmedämmung	Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum
DIN 18161-1:1976-12	Korkerzeugnisse als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung	Kork
DIN 18164-1: 1992-08	Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung	Polyurethan-(PUR)-Hartschaum, Phenolharz-(PF)-Hartschaum, Extrudergeschäumter Polystyrol-schaumstoff (XPS) oder Schaumkunststoffe aus Polystyrol-Partikelschaum (EPS)
DIN 18164-2:1991-03	Schaumkunststoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Trittschalldämmung; Polystyrol-Partikelschaumstoffe	Schaumkunststoffe aus Polystyrol-Partikelschaum (EPS)
DIN 18165-1:1991-07	Faserdämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung	Mineralwole, Dämmstoffe aus pflanzlichen Fasern
DIN 18165-2:1987-03	Faserdämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Trittschalldämmung	Mineralwole, Dämmstoffe aus pflanzlichen Fasern
DIN 18174: 1981-01	Schaumglas als Dämmstoff für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung	geschäumtes Silikatglas
DIN 18184: 1991-06	Gipskarton-Verbundplatten mit Polystyrol- oder Polyurethan-Hartschaum als Dämmstoff	Polystyrol- oder Polyurethan-Hartschaum
DIN 18550-3:1991-03	Wärmedämmputzsysteme aus Mörteln mit mineralischen Bindemitteln und expandiertem Polystyrol (EPS)	Schaumkunststoffe aus Polystyrol-Partikelschaum (EPS)
DIN 68755: 1992-07	Holzfaserdämmplatten für das Bauwesen	Zellulosefasern

Tab. 3.6-1: Technische Regeln für Dämmstoffe (nach Bauregelliste A Teil 1 Ausgabe 99/1, DIBt-Mitteilungen vom 25. Mai 1999)

# Anforderungen an Dämmstoffe

## 3.7 Anforderungen in technischen Regeln

Die in Tab. 3.6-1 genannten technischen Regeln enthalten direkte Anforderungen an die Dämmstoffe. Sie variieren in Abhängigkeit von der Art des Dämmstoffes sowie vom Anwendungstyp:

### Allgemeine Anforderungen

- Beschaffenheit (Struktur, Gefüge, Gleichmäßigkeit, Profil, Kanten, Farbe)
- Maße
- Rechtwinkligkeit bei Platten
- Rohdichte

### Festigkeit

- Druckfestigkeit oder Druckspannung bei 10% Stauchung
- Zugfestigkeit
- Abreißfestigkeit
- Haftfestigkeit bei Schäumen

### Formbeständigkeit

- bei Wärmeeinwirkung
- bei Kälteeinwirkung
- Beständigkeit gegen irreversible Längenänderungen

### Wärmeschutztechnische Eigenschaften

- Wärmeleitfähigkeit
- Wärmedurchlaßwiderstand

### Feuchteschutztechnische Eigenschaften

- Hydrophobie
- Wasserdampfdurchlässigkeit

### Schallschutztechnische Eigenschaften

- dynamische Steifigkeit  $s'$
- Strömungswiderstand  $\Sigma$

### Brandverhalten

- Baustoffklasse

### Gesundheits- und Umweltschutz

- Formaldehydabspaltung

### Beständigkeit und Korrosionsverhalten

- Alterungsbeständigkeit
- biologische Verwertbarkeit
- Beständigkeit bei hoher Luftfeuchte
- Thermische Stabilität

### Anforderungen an Verarbeiter/Verarbeitung

- Ausführung der Dämmarbeiten durch einen Fachbetrieb

Die Anforderungen in bauaufsichtlichen Zulassungen orientieren sich an den in den technischen Regeln gestellten Anforderungen.

Tab. 3.7-1 listet Anforderungen an Dämmstoffe auf, die in anderen technischen Regeln gestellt werden.

Anforderung	Norm	Zweck
Druck- und Temperaturbelastbarkeit	<i>DIN 18560-2</i> (Schwimmende Estriche), Abschnitt 3.2	Brauchbarkeit des Dämmstoffes unter Heizestrichen
Abreißfestigkeit	<i>Richtlinien für Wärmedämmverbundsysteme</i> (DIBt-Mitteilungen)	Brauchbarkeit von Mineralfaserdämmstoffen für Wärmedämmverbundsysteme
wasserabweisende Wirkung	<i>DIN 1053-1</i> (Mauerwerk), Abschnitt 8.4.3.4	Eignung für Kerndämmung
wasserabweisende Wirkung	<i>DIN 18515-1</i> (Außenwandbekleidungen), Abschnitt 7.1	Eignung für aufgeklebte Fassadenverkleidungen
wasserabweisende Wirkung	<i>DIN 18516-1</i> (hinterlüftete Außenwandbekleidungen), Abschnitt 6.4	Eignung für hinterlüftete Fassaden

**Tab. 3.7-1:** Anforderungen an Dämmstoffe in anderen technischen Regeln



## 4 Bewertung von Dämmstoffen

### 4.1 Informationen als Bewertungsgrundlage

Informationen zu den Eigenschaften von Dämmstoffen stellen die Grundlage jeder Bewertung dar. Stoffbezogene Informationen in Baustofflehrbüchern und Normen ermöglichen einen schnellen Überblick über die wesentlichen Eigenschaften der Dämmstoffe. Sie sind für eine Vorauswahl sinnvoll. Produktbezogene Informationen sind genauer, da auch die Eigenschaften von Verbundwerkstoffen, z.B. von beschichteten Dämmstoffen, und die Unterschiede zwischen gleichartigen Produkten verschiedener Hersteller berücksichtigt werden können.

Hersteller informieren über ihre Produkte durch Produktdatenblätter, Planungsmappen, Handbücher und Internetpräsentationen. Auf der Basis dieser Quellen lassen sich vor allem die Anwendungsbereiche und die genormten Eigenschaften von Dämmstoffen ermitteln, z.B. Wärmeleitfähigkeit, Rohdichte, Baustoffklasse usw. Inzwischen gibt es aber auch von vielen Herstellern Informationen zu den ökologischen Eigenschaften

ihrer Produkte, bspw. zum Herstellungsprozeß oder zu den Entsorgungsmöglichkeiten.

Als weitere produktbezogene Informationsquelle können die bauaufsichtlichen Zulassungen dienen [7], [8]. Sie enthalten u.a. Angaben zur stofflichen Zusammensetzung der Dämmstoffe.

Produktbezogene Bewertungen von Dämmstoffen finden sich in [9] bis [16]. Insbesondere in [9] bis [11] wird Wert auf detaillierte Informationen zu den ökologischen Eigenschaften gelegt. Bei [9] und [10] basieren die Angaben zur stofflichen Zusammensetzung z.T. auf chemischen Analysen. Die Quellen [11], [12] und [13] sind elektronische Datenbanken, die schnelle Recherchen nach interessierenden Eigenschaften ermöglichen.

Im Anhang sind die wichtigsten Eigenschaften der genormten, bzw. zugelassenen Dämmstoffe aufgelistet. Aus wettbewerbsrechtlichen Gründen enthält die Broschüre keine produktbezogenen Daten.

### 4.2 Auswahl von Dämmstoffen

Zur Auswahl stehen alle genormten und bauaufsichtlich zugelassenen Produkte. Dämmstoffe, die weder genormt noch zugelassen sind, dürfen laut *LBO* nicht verwendet werden, es sei denn, es liegt eine Zustimmung im Einzelfall nach § 20 *LBO* vor. Nach § 3 *LBOAVO* dürfen leicht entflammbar Baustoffe (Baustoffklasse B 3) nicht verwendet werden. Die Verwendung FCKW-haltiger Dämmstoffe ist nach der *Chemikalien-Verbotsverordnung* verboten. Außerdem gelten in vielen Bundesländern und Kommunen bei öffentlichen oder öffentlich geförderten Bauvorhaben Verwendungsverbote für Dämmstoffe, die mit teilhalogenierten Fluorchlorkohlenwasserstoffen (HFCKW) geschäumt wurden.

In Baden-Württemberg gilt der Erlass des Finanzministeriums vom 12.3.96, indem die Oberfinanzdirektionen, die als öffentliche Bauherren in Erscheinung treten, aufgefordert wurden, bei Baumaßnahmen des Landes auf H-FCKW-geschäumte Dämmstoffe zu verzichten.

Trotz der genannten Einschränkungen ist die Auswahl für Außen- und Innenwände, Steildächer, Geschoßdecken, Unterdecken und Dämmschichten unter Estrichen und Fußböden groß (siehe Anhang).

Anwendungsbereiche mit geringen Auswahlmöglichkeiten sind dagegen erdberührte Bauteile, Umkehrdächer und außenliegende Wärmedämmungen unter lastabtragenden Bauteilen (Tab. 4.2-1).

Anwendungsbereich	zugelassene Dämmstoffe	Bemerkungen
erdberührte Dämmschichten - Perimeterdämmung	Schaumglas, XPS, EPS	Schaumglas ist universell, XPS eingeschränkt, EPS nur sehr begrenzt anwendbar
Umkehrdach	XPS	Dämmplatten mit Stufenfalz und Schäumhaut
Dämmungen unter lastabtragenden Bauteilen	Schaumglas	Schaumglas ist auch im Grundwasser einsetzbar

Tab. 4.2-1: Anwendungsbereiche mit begrenzter Auswahl

## 4.3 Kriterien

Folgende bauphysikalische, bautechnische, ökologische und ökonomische Kriterien sollten bei der Bewertung von Dämmstoffen berücksichtigt werden:

### Wärmeschutz

Aus energetischer Sicht ist eine möglichst hohe Wärmedämmung anzustreben. Dämmstoffe sind diesbezüglich anhand ihres Rechenwertes der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_R$  nach *DIN V 4108-4, Tab. 1*, bzw. der Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) bewertbar. Je niedriger  $\lambda_R$  bzw. die WLG sind, um so höher ist der erreichbare Wärmeschutz. Eine niedrige Wärmeleitfähigkeit ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Dicke der Dämmschicht aus baulichen Gründen begrenzt ist. In diesen Fällen ist zu prüfen, wie groß die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes maximal sein darf, um die Anforderungen von *DIN 4108-2* und *WärmeschutzV* erfüllen zu können.

### Wärmespeicherfähigkeit

Für den sommerlichen Wärmeschutz ausgebauter Dachräume ist eine möglichst hohe Wärmespeicherfähigkeit der Dämmstoffe von Vorteil, wenn ansonsten keine oder wenig speicherfähige Bauteile vorhanden sind. Bewertbar ist das rechnerische Produkt aus der Einbaurohdichte  $\rho$  nach *DIN V 4108-4, Tab. 1* und der spezifischen Wärmekapazität  $c$  nach *DIN V 4108-4, Tab. 9*, das möglichst hoch sein sollte [5].

### Diffusionswiderstand

Anforderungen an den Diffusionswiderstand eines Bauteils ergeben sich u.U. aus der Berechnung der anfallenden Tauwassermengen nach *DIN 4108-3*. Für gedämmte Holzkonstruktionen, die keinen chemischen Holzschutz aufweisen, sind diffusionsoffene Dämmstoffe vorteilhaft, da das Diffusionsverhalten der Dämmstoffe das Austrocknungsvermögen des Holzes bei ungewollt vorhandener Feuchte beeinflusst. Je diffusionsoffener der Dämmstoff ist, um so besser kann das Holz austrocknen [17]. Der Diffusionswiderstand kann anhand der Schichtdicke des Dämmstoffes  $s$  und der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl  $\mu$  nach *DIN V 4108-4, Tab. 1* beurteilt werden. Je niedriger  $\mu$  ist, um so kleiner ist der Diffusionswiderstand. Das Produkt  $\mu \cdot s$  kennzeichnet den Diffusionsdurchlaßwiderstand einer Stoffschicht der Dicke  $s$  ( $s$  in m) und wird als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke  $s_D$  bezeichnet. Stoffschichten mit  $s_D > 1500$  m gelten nach *DIN 52615 Abschnitt 7* als „praktisch wasserdampfdicht“.

In *DIN V 4108-4* werden für  $\mu$  in der Regel zwei Werte, z.B.  $\mu = 1/2$  angegeben. Beim rechnerischen Nachweis des Tauwasserschutzes eines Bauteilquerschnitts nach *DIN 4108-3* ist der jeweils ungünstigere der beiden genannten Werte, entsprechend der Lage der Dämmschicht zu verwenden, d.h. in aller Regel der kleinere Wert für Dämmschichten, die (von der Warmseite gesehen) vor, der größere für solche, die hinter der zu vermutenden Tauwasserebene liegen.

### Wasseraufnahmevermögen

Für Anwendungsbereiche, bei denen die Gefahr einer Durchfeuchtung besteht, sind Dämmstoffe mit einem geringen Wasseraufnahmevermögen von Vorteil.

Feuchte verbleibt in Materialien mit einem hohen Wasseraufnahmevermögen länger als in Materialien mit einem geringen Wasseraufnahmevermögen. Das Wasseraufnahmevermögen ist meßbar durch die massebezogene Feuchte  $u_m$  nach *DIN V 4108-4, Tab. A.1*. Hierbei handelt es sich um den Feuchtegehalt, der „bei der Untersuchung genügend ausgetrockneter Bauten, die zum dauerhaften Aufenthalt von Personen dienen, in 90 % aller Fälle nicht überschritten wurde“.

### Schalldämmung

Ein hohes Luftschalldämmmaß  $R'_w$  bzw. ein niedriger Normtrittschallpegel  $L'_{n,w}$ , sind positiv zu bewerten. Werden  $R'_w$  bzw.  $L'_{n,w}$  nicht berechnet, kann der Beitrag eines Dämmstoffes zum Schallschutz ansatzweise anhand der Rohdichte  $\rho$ , die möglichst hoch sein sollte, und anhand des dynamischen E-Moduls  $E_{dyn}$ , der möglichst niedrig sein sollte, beurteilt werden. Der Strömungswiderstand  $\Xi$  beeinflusst die Luftschalldämmung von Bauteilen, bei denen der Dämmstoff im Gefäch oder innerhalb von Vorsatzschalen lose angeordnet ist. In diesen Fällen sollte der Strömungswiderstand mindestens 5 bis 10 kNs/m<sup>4</sup> betragen [17].

### Brandverhalten

Das Verhalten im Brandfall wird durch die Baustoffklasse charakterisiert. In vielen Fällen genügt für Dämmstoffe die Baustoffklasse B 2 (normal entflammbar). Eine geringere Entflammbarkeit, d.h. die Baustoffklasse B 1 (schwer entflammbar), oder die Nichtbrennbarkeit eines Dämmstoffes sind trotzdem von Vorteil. Anstrebenswert ist außerdem eine geringe Brandlast. Hierzu liegen aber nur selten Angaben vor, da es keine öffentlich-rechtlichen Anforderungen an die Brandlast gibt. Ansatzweise gilt, daß die Brandlast mineralischer Dämmstoffe gering und die von organischen Dämmstoffen hoch ist.

### Festigkeitseigenschaften

In Bezug auf Druck-, Zug-, Abreiß- und Haftfestigkeiten sind Reserven gegenüber den Anforderungen zum Schutz gegen eventuelle Überlastungen von Vorteil. Aussagen zu Festigkeitskennwerten liefern Normen, Zulassungen und Typenkurzzeichen (siehe Tab. 2.3-2).

### Elastizität

Eine gewisse Elastizität sollten Dämmstoffe aufweisen, wenn sie im Steildach zwischen den Sparren oder in den Gefächen von Holzkonstruktionen eingebaut werden. Ein elastischer Dämmstoff kann dort, sofern er im Übermaß eingebracht wurde, eventuelle Schwindverformungen des Holzes ausgleichen und verhindert dadurch Hohlräume oder Spalten in der Dämmschicht.

## Temperaturbeständigkeit

Eine bestimmte Temperaturbeständigkeit wird für Dämmstoffe unter Heizstrichen in *DIN 18560-2* (Schwimmende Estriche) gefordert. Von Vorteil ist, wenn gegenüber der geforderten Temperaturbeständigkeit Reserven vorhanden sind.

## Verfügbarkeit der Rohstoffe

Dämmstoffe aus nachwachsenden oder recycelten Rohstoffen sind von Vorteil, da durch ihre Verwendung endliche Ressourcen geschont werden. Wichtig ist dabei, daß der Verbrauch nachwachsender Rohstoffe nachhaltig ist, d.h. die innerhalb eines bestimmten Zeitraumes verbrauchte Menge an Rohstoffen darf nicht größer sein, als die innerhalb des gleichen Zeitraumes nachwachsende Menge. Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen kann jedoch auch ökologische Schäden verursachen, z.B. durch Monokulturen oder übermäßigen Einsatz von Düngemitteln und Insektiziden, was ggf. zu berücksichtigen ist. Beim Vergleich nicht nachwachsender Rohstoffe untereinander, ist der Verbrauch knapper Rohstoffe negativ zu bewerten. Ob ein Rohstoff knapp ist oder nicht, kann rechnerisch ermittelt werden, indem man die Reichweite anhand von Vorrat und Verbrauch bestimmt [18]. Für die Bewertung von Dämmstoffen ist aber eine verbale Aussage ausreichend: Im Verhältnis zu den anderen, im Zusammenhang mit Dämmstoffen relevanten, nicht nachwachsenden Rohstoffen, gilt lediglich Erdöl mit einer Reichweite von rund 40 Jahren als knapper Rohstoff.

## Herkunft der Rohstoffe

Rohstoffe, die über weite Entfernungen transportiert werden, sind wegen der damit verbundenen Umweltbelastungen negativ zu bewerten.

## Primärenergieverbrauch

Der Primärenergieverbrauch (PEV) ist der Energieinhalt (Heizwert) der fossilen und nuklearen Brennstoffe, die für die Herstellung eines Dämmstoffes benötigt werden. Dabei ist auch der Energieverbrauch der Rohstoffgewinnung sowie von Transporten und energetischen Vorstufen zu berücksichtigen. Anhand des PEV kann man ermitteln, wie schnell sich Wärmeschutzmaßnahmen energetisch amortisieren. Hierzu wird der PEV den mit dem Dämmstoff erzielbaren Einsparungen an Heizenergie gegenübergestellt. Um die Vorräte an energetischen Rohstoffen zu schonen, ist ein möglichst geringer PEV anzustreben.

Der PEV sollte nicht überbewertet werden. Zum einen läßt sich mit Dämmstoffen mehr Energie einsparen, als bei ihrer Herstellung verbraucht wird. Normalerweise amortisiert sich der Energieaufwand innerhalb weniger Monate. Zum anderen streuen die Angaben zum PEV einzelner Dämmstoffe in einem weiten Bereich (siehe Bild 4.3-1), so daß sie allenfalls qualitativ bewertbar sind. Unsicher sind auch die Angaben zur Lebensdauer von Dämmstoffen, die man benötigt, um die Einsparungen an Heizenergie zu berechnen.

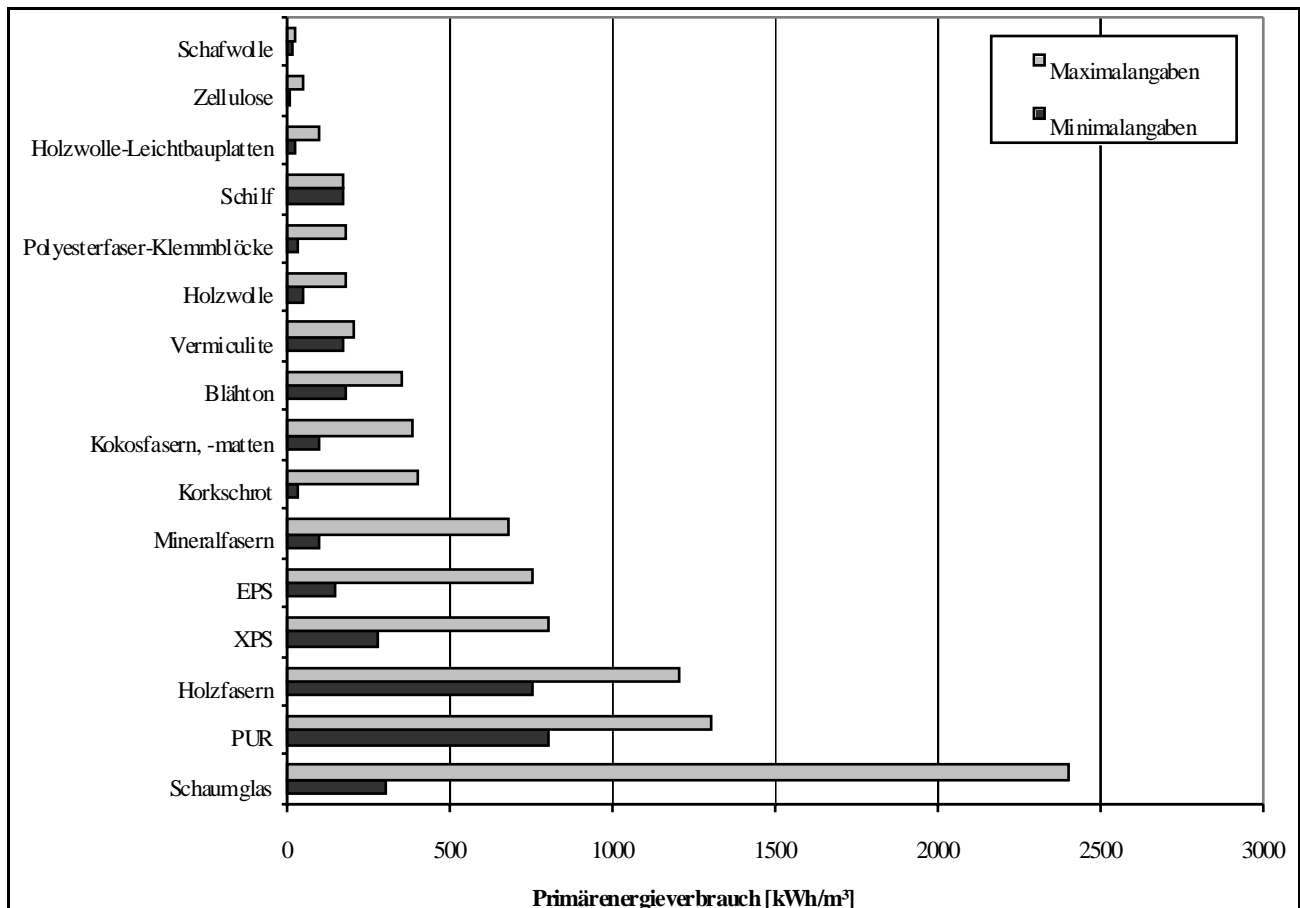


Bild 4.3-1: Bandbreite der Angaben zum Primärenergieverbrauch von Dämmstoffen in verschiedenen Quellen (nach [4])

# Bewertung von Dämmstoffen

## Schadstoffe bei der Herstellung der Dämmstoffe

Schadstoffe, die bei der Herstellung von Dämmstoffen entstehen, unterliegen in Deutschland den umwelt- und arbeitsschutzrechtlichen Vorschriften, z.B. dem *Bundesimmissionsschutz-Gesetz (BImSchG)* und den *Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)*. Ob die einschlägigen Vorschriften eingehalten werden, läßt sich von außen aber nur selten bewerten, da hierzu kaum Informationen vorliegen. Im allgemeinen sind die gesetzlichen Anforderungen an den Immissionsschutz im Ausland, vor allem in Osteuropa niedriger, so daß importierte Produkte ggf. negativ zu bewerten sind.

## Ozonabbaupotential

Abzuwerten sind Produkte, die als Ersatz für die wegen ihres Ozonabbaupotentials verbotenen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) mit teilhalogenierten FCKW (HFCKW) geschäumt werden, da auch diese Stoffe ein Ozonabbaupotential aufweisen. Womit ein Dämmstoff geschäumt wurde, kann den Normen oder den bauaufsichtlichen Zulassungen entnommen werden.

**Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)** schädigen die Ozonschicht, die die Erde vor kosmischer UV-Strahlung schützt. Gleichzeitig haben sie einen Einfluß auf den Treibhauseffekt. In Deutschland gilt seit 1991 die FCKW-Halogen-Verbotsverordnung. Seit dem 1.1.1995 ist der Einsatz von FCKW generell nicht mehr zugelassen. Als Ersatzstoffe sind teilhalogenierte FCKW (HFCKW) oder teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) auf dem Markt. Das Ozonabbaupotential dieser Stoffe ist geringer als das der FCKW, trotzdem ist die Verwendung der Ersatzstoffe umstritten.

Dämmstoffe aus extrudiertem Polystyrol-Hartschaum (XPS) und aus Polyurethan (PUR) wurden früher mit FCKW geschäumt. Ein Teil der guten Dämmwirkung dieser Produkte (bis WLG 020) resultierte aus den verwendeten FCKW, da diese eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Luft aufweisen. Heute werden XPS- und PUR-Produkte mit HFCKW, HFKW, Pentan oder mit CO<sub>2</sub> geschäumt.

## Schadstoffe bei Verarbeitung und Nutzung

Dämmstoffe können gesundheitsgefährdende Schadstoffe enthalten und auch freisetzen, z.B. Formaldehyd, Styrol, Isocyanat, Phenol und aromatische Kohlenwasserstoffe. Auf die Verarbeitung ist in diesem Zusammenhang ein besonderes Augenmerk zu richten, da dort die Arbeitnehmer den Schadstoffen unmittelbar ausgesetzt sind. Während der Nutzung hat der Dämmstoff nur in seltenen Fällen Kontakt zu Innenräumen, da er meist von der Raumluft abgeschottet ist. Trotzdem sollten Dämmstoffe möglichst wenig oder keine gesundheitsgefährdenden Schadstoffe enthalten.

Umstritten ist das gesundheitsgefährdende Potential von Flammschutzmitteln und Insektiziden, die praktisch allen organischen Dämmstoffen, teilweise in hohen Konzentrationen zugesetzt werden müssen.

Genauere Informationen zur stofflichen Zusammensetzung einzelner Produkte und zu deren Gehalt an den o.g. Schadstoffen erhält man nur anhand chemischer Analysen, z.B. in [9] und [10].

Das gesundheitsgefährdende **Formaldehyd** ist in Hamstoff-Formaldehydharz-Ortschaum und z.T. auch in Mineralfaserdämmstoffen und Holzweichfaserplatten enthalten. Die *ETB-RICHTLINIE zur Begrenzung der Formaldehydemissionen in die Raumluft bei Verwendung von Hamstoff-Formaldehydharz-Ortschaum* regelt den Umgang mit UF-Schaum.

**Flammschutzmittel** werden hauptsächlich den organischen Dämmstoffen zugesetzt, um deren Feuerbeständigkeit zu erhöhen. Zum Einsatz kommen u.a. Borsalze (Borate), Borsäure und Ammoniumphosphat, z.T. in Größenordnungen bis zu 20% Massenanteil. Das Emissionsverhalten und die gesundheitliche Unbedenklichkeit der in Dämmstoffen verwendeten Flammschutzmittel sind größtenteils ungeklärt. Borate und Borsäure sind in die Wassergefährdungskategorie 1 eingestuft, weshalb Produkte, die diese Stoffe enthalten, nicht kompostiert werden dürfen. Holzwole und Holzspäne werden z.T. alternativ mit Molke und Soda behandelt.

**Insektizide**, z.B. Hamstoffderivate, müssen bestimmten organischen Dämmstoffen, z.B. Schafwolle zugesetzt werden, um Mottenfraß u.ä. Schäden zu verhindern. Auch hier ist die gesundheitliche Unbedenklichkeit nicht eindeutig bewiesen.

## Fasern und Stäube

Künstliche Mineralfasern (KMF) stehen im Verdacht, beim Menschen Krebs zu erzeugen. Die Unbedenklichkeit kann mit dem Kanzerogenitätsindex KI oder anhand der Biolöslichkeit nachgewiesen werden. Mineralfaserdämmstoffe mit einem  $KI < 40$  bzw. ohne Nachweis der Biolöslichkeit sollten nicht verwendet werden.

Ausgangspunkt für die Diskussionen um das Gefahrenpotential von **Künstlichen Mineralfasern** war ihre Lungengängigkeit und ihre Ähnlichkeit mit Asbestfasern, deren krebserzeugende Wirkung beim Menschen eindeutig bewiesen ist. Die kanzerogene Wirkung von KMF konnte jedoch bisher nur in Tierversuchen nachgewiesen werden. In der aktuellen *MAK-Werte-Liste* (1998) sind künstliche Mineralfasern daher wie folgt eingestuft:

- Glaswolle: Kat. 2
- Steinwolle: Kat. 2
- Schlackenwolle: Kat. 3 (Datenlage nicht ausreichend)

Als wichtiger Einflußfaktor für das kanzerogene Potential mineralischer Fasern gilt ihre Biolöslichkeit. Fasern, die in der Lunge nur schwer oder gar nicht abgebaut werden, stellen eine wesentlich größere Gefahr dar als solche, die nur geringe Zeit im Organismus verbleiben. Diese Erkenntnis hat die Hersteller dazu veranlaßt, Fasern mit einer hohen Biolöslichkeit zu entwickeln. Als Maßstab für die Biolöslichkeit gilt der Kanzerogenitätsindex (KI), der aus der chemischen Zusammensetzung der Fasern abgeleitet wird. Fasern mit einem  $KI \geq 40$  gelten nach der *Gefahrstoffverordnung* als unbedenklich. Die Biolöslichkeit kann auch experimentell nachgewiesen werden.

Auch lungengängige **organische Fasern und Stäube** stehen im Verdacht, Krebs zu verursachen. Ein Nachweis wurde bisher aber nicht erbracht. Entsprechende Untersuchungen werden daher im Zusammenhang mit der *MAK-Werte-Liste* von der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* für dringend notwendig erachtet.

## Schadstoffe im Brandfall

Die Wirkungen von Rauch und Gasen, die bei einem Brand entstehen, sind die Hauptursache für Personenschäden bei Bränden. Potentielle Schadstoffe sind daher negativ zu bewerten. Generell sind hier die brennbaren Dämmstoffe gegenüber den nicht brennbaren Dämmstoffen im Nachteil.

Laut Statistik starben etwa 80% der Brandopfer durch Vergiftung der Atemwege und nicht durch die direkte Berührung mit den Flammen oder durch einstürzende Bauteile [19]. Neben Kohlenmonoxid (CO), das bei der Verbrennung von organischen Stoffen entsteht, können Benzol, Toluol, Phenol und Blausäure (HCN) bei der Verbrennung von Dämmstoffen frei werden.

## Radioaktivität

Radioaktivität spielt bei Dämmstoffen im Normalfall keine Rolle. In Zweifelsfällen kann ein Nachweis der Unbedenklichkeit mit der Leningrader Summenformel erfolgen [20].

## Langzeitverhalten

Bestehen gegenüber der physikalischen, chemischen und biologischen Beständigkeit von Dämmstoffen Bedenken jeglicher Art, sollte das negativ bewertet werden. Langzeiterfahrungen sind von Vorteil, fehlende Langzeiterfahrungen sollten aber der Einführung neuer Dämmstoffe nicht im Wege stehen.

## Verwertungsmöglichkeiten

Nach dem *Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz* sind Abfälle möglichst hochwertig zu verwerten, wobei die stoffliche Verwertung Vorrang vor der energetischen Verwertung hat. Positiv sind Dämmstoffe zu bewerten, bei denen ein Stoffkreislauf möglich ist und bei denen der Hersteller die entsprechenden Verfahren und die Logistik anbietet. Von Nachteil sind Dämmstoffe, die nicht verwertbar sind und beseitigt werden müssen, z.B. weil sie sich nicht aus dem Verbund mit anderen Stoffen lösen lassen.

## Beseitigungsmöglichkeiten

Entscheidend ist hier, daß von deponierten Dämmstoffen keine Umweltbelastungen ausgehen. Mineralische Abfälle haben in der Regel den Vorteil, daß sie keine Schadstoffe freisetzen. Organische Stoffe verrotten auf der Deponie, was wegen der entstehenden Deponiegase und Sickerwässer problematisch sein kann, andererseits aber positiv ist, da das Verrotten ein natürlicher Kreislaufprozeß ist. Dämmstoffe, die wassergefährdende Bestandteile enthalten, sind abzuwerten.

## Anforderungen an die Verarbeitung

Bestimmte Dämmstoffe dürfen nur von autorisierten Fachbetrieben eingebaut werden. Als Vorteil ist diesbe-

züglich die höhere Einbau- und Verarbeitungsqualität zu sehen. Andererseits ist ein „Do it yourself“ ausgeschlossen, was u.U. zu höheren Kosten führen kann.

## Wirtschaftlichkeit

An die Wirtschaftlichkeit werden in technischen Regeln keine Anforderungen gestellt. Sie ist aber bei der Auswahl von Baustoffen eines der wichtigsten Kriterien, oft sogar ausschlaggebend für die Entscheidung. Die Wirtschaftlichkeit kann über den Kosten-Nutzen-Vergleich ermittelt werden. Bei Maßnahmen zur Wärmedämmung steht den einmaligen Kosten für die Dämmstoffe ein laufender Nutzen in Form von eingesparten Heizenergiekosten gegenüber. Dieser Ansatz läßt sich erweitern, indem neben den einmaligen Kosten auch Instandhaltungskosten und Lebensdauer berücksichtigt werden.

Für schalldämmende und brandschutztechnische Maßnahmen wird eine Kosten-Nutzen Analyse kaum praktiziert, da sich hier der Nutzen nur schwer oder gar nicht quantifizieren läßt.

Die Bewertung der Kosten kann auch im direkten Vergleich erfolgen, wobei auf einen bestimmten Gebrauchswert, z.B. einen definierten k-Wert zu achten ist.

### Methoden zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit existieren statische und dynamische Methoden. Die statische Methode eignet sich für Vergleiche, z.B. für den Vergleich verschiedener Dämmstoffe. Es wird der Zeitraum  $a_s$  ermittelt, in dem sich die einmaligen Kosten  $K$  bei einem als konstant angenommenen jährlichen Nutzen  $N$  amortisiert haben.

$$a_s = \frac{K}{N}$$

Die dynamische Kapitalwertmethode kann angewendet werden, um optimale Dämmstoffdicken zu bestimmen oder um über Investitionen zu entscheiden. In die Amortisationszeit  $a_p$  fließen eine mögliche Verzinsung der investierbaren Geldmenge mit dem Zinssatz  $i$  sowie eine Steigerungsrate  $e$  für den Energiepreis ein.

$$a_p = \frac{\lg \left[ \frac{K}{N} \left( 1 - \frac{1}{q} \right) + 1 \right]}{\lg q}$$

mit 
$$q = \frac{1+e}{1+i}$$

Eine Maßnahme ist dann wirtschaftlich, wenn die Amortisationszeiten  $a_s$  bzw.  $a_p$  kleiner sind als die mögliche Nutzungsdauer der Investition.

## 4.4 Bewertung

Angesichts der Vielzahl von Kriterien kommt der Wunsch nach einem automatisierten Bewertungsverfahren auf, welches „per Knopfdruck“ eindeutige, objektive und nachvollziehbare Ergebnisse liefert. Als Verfahren böte sich die bekannte Nutzwertanalyse [21] an, bei der Kriterien hierarchisch sortiert und die Bewertungsergebnisse einzelner Kriterien nach folgender Formel aggregiert werden:

$$x_i = \sum (y_j \cdot x_j)$$

mit  $x_j$ : Bewertungsergebnis auf der Ebene „j“,  $y_j$ : Gewichtung auf der Ebene „j“,  $\sum y_j = 100\%$  und  $x_i$ : Bewertungsergebnis auf der Ebene „i“.

Eine Aggregation von Bewertungsergebnissen nach dieser Formel ist immer dann erforderlich, wenn die Einzelbewertungen keine eindeutige Aussage für oder gegen ein Produkt erlauben.

Ein solches Bewertungsverfahren ist transparent und automatisierbar, beinhaltet aber auch methodische Probleme:

- Für jedes Kriterium wird ein, nach einem einheitlichen Prinzip quantifiziertes Bewertungsergebnis benötigt, z.B. eine Note auf einer definierten Skala. Dazu muß jeweils ein funktionaler Zusammenhang zwischen dem eigentlichen Bewertungsergebnis, z.B. einer verbalen Aussage, und der festgelegten Notenskala definiert werden. Dieser Schritt der Bewertung ist subjektiv und beeinflusst das Bewertungsergebnis stark.
- Eine weiterer subjektiver Einfluß auf das Bewertungsergebnis ergibt sich aus der Notwendigkeit, einzelne Kriterien zu gewichten.

Wegen der genannten Probleme wird die Nutzwertanalyse nur selten vollständig angewendet. In vielen Bewertungen werden jedoch Elemente der Nutzwertanalyse genutzt [9] bis [11], [14]. Das vollständige Verfahren wird zum einen dahingehend vereinfacht, daß die Bewertungsskala der Kriterien nur zwei oder drei Elemente enthält, z.B. „ja“ und „nein“ oder „gut“, „mäßig“ und „schlecht“ [9], [10], [14]. Zum anderen werden die Bewertungsergebnisse nicht berechnet. Eine abschließende Bewertung findet dann entweder gar nicht statt [14] oder die Dämmstoffe werden in Kategorien eingeteilt, z.B. „empfehlenswert“, „eingeschränkt empfehlenswert“ und „nicht empfehlenswert“ [9], [10]. Letzteres geschieht anhand ausgewählter Kriterien, die somit hoch gewichtet werdenEs wird vorgeschlagen, bei der Bewertung und der Auswahl von Dämmstoffen für eine Bauaufgabe ähnlich vorzugehen. Zunächst sind aus der Aufzählung in Kap. 4.3 diejenigen Kriterien auszuwählen, die für den konkreten Fall relevant sind und die man berücksichtigen will. Es empfiehlt sich, für den Vergleich eine Tabelle zu verwenden (Tab. 4.4-1).

Anschließend sind die Dämmstoffe kriterienweise zu bewerten, wobei möglichst einfache Skalen zu verwenden sind. Tabelle 4.4-2 enthält Vorschläge dazu.

Wie die Kriterien gewichtet werden, muß jeder Bewerber selbst entscheiden. Üblicherweise werden *Wärmeschutz* und *Wirtschaftlichkeit* hoch gewichtet. In Zukunft sollte aber auch verstärkt auf die ökologischen Eigenschaften geachtet werden. Insbesondere das *Ozonabbaupotential* und die *Schadstoffe bei Verarbeitung und Nutzung* wären dabei hoch zu gewichten.

	Gewichtung	Dämmstoff 1	Dämmstoff ...	Dämmstoff n
Kriterium 1				
Kriterium ...				
Kriterium n				

Tab. 4.4-1: Vorschlag für eine Bewertungstabelle

## Bewertung von Dämmstoffen

Kriterium	Bewertung		
	gut	mittel	schlecht
Wärmeschutz	hoch		niedrig
Wärmespeicherfähigkeit	hoch		niedrig
Diffusionswiderstand	nach Erfordernissen		
Wasseraufnahmevermögen	gering		hoch
Schalldämmung	gut		schlecht
Brandverhalten	nicht brennbar	schwer entflammbar	normal entflammbar
Festigkeitseigenschaften	Reserven vorhanden	Anforderungen eingehalten	Anforderungen nicht eingehalten
Elastizität	vorhanden		nicht vorhanden
Temperaturbeständigkeit	Reserven vorhanden	Anforderungen eingehalten	Anforderungen nicht eingehalten
Verfügbarkeit der Rohstoffe	Rohstoffe nachwachsend oder recyclet		Rohstoffe endlich und knapp
Herkunft der Rohstoffe	kurze Transportwege		lange Transportwege
Primärenergieverbrauch	niedrig		hoch
Schadstoffe bei der Herstellung	hohe Anforderungen an den Umweltschutz im Herstellungsland		geringe Anforderungen an den Umweltschutz im Herstellungsland
Ozonabbaupotential	nein		ja
Schadstoffe bei Verarbeitung und Nutzung	nein		ja
Fasern und Stäube	KI $\geq$ 40 oder Nachweis der Biolöslichkeit		KI $<$ 40 oder kein Nachweis der Biolöslichkeit vorhanden
Schadstoffe im Brandfall	nein		ja
Radioaktivität	nein		ja
Langzeitverhalten	keine Bedenken		Bedenken
Verwertungsmöglichkeiten	Wiederverwertung im Stoffkreislauf	stoffliche oder energetische Weiterverwertung möglich	Verwertung nicht möglich
Beseitigungsmöglichkeiten	gefährlose Beseitigung		problematische Beseitigung
Anforderungen an die Verarbeitung	nach Erfordernissen		
Wirtschaftlichkeit	schnelle Amortisation oder geringe Kosten		langsame Amortisation oder hohe Kosten

Tab.: 4.4-2: Vorschläge für die Skalierung

### 5 Literatur- und Bildverzeichnis

- [1] Stark, J.; Wicht, B.: Geschichte der Baustoffe. Schriften der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar - Universität - Nr. 99, Weimar 1995
  - [2] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV) vom 16. August 1994. Bundesgesetzblatt, Jg. 1994, Teil I, Seiten 2121 bis 2132
  - [3] Setzler, W.: 1957-1997 40 Jahre Praxiserfahrungen mit Wärmedämm-Verbundsystemen. Bauphysik 20 (1998) Heft 1, S. 27-29
  - [4] Herlyn, J.W.; Mehlhorn, L.: Wärmedämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Kennwerte, Anwendung und Feuchteverhalten. wksb 41/1998, S. 12-19
  - [5] Geisler, R.: Mehr Behaglichkeit. Zur Wirksamkeit von Dachdämmstoffen unter sommerlichen Bedingungen. AIT Architektur, Innenarchitektur, Technischer Ausbau, 2-98, S. 102-106
  - [6] Sauter, H.: Landesbauordnung für Baden-Württemberg Kommentar. Verlag W. Kohlhammer Stuttgart 1998
  - [7] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Bauaufsichtliche Zulassungen (BAZ); amtliches Verzeichnis der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für Bauprodukte und Bauarten nach Gegenstand und wesentlichem Inhalt. Erich Schmitt Verlag, Bielefeld 1997
  - [8] Lühr, H.-P.: Rechenwerte für die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen. In: Mauerwerkkalender 1998. Ernst & Sohn, Berlin 1998
  - [9] Schmitz-Günther, T.: Öko-Test Dämmstoffe. ÖKO-HAUS 1/98, S. 42-53
  - [10] N.N.: Haus im Schafspelz. Test Öko-Dämmstoffe. ÖKO-TEST Sonderheft Nr. 20 1996
  - [11] Transferstelle Ökologisch Orientiertes Bauen Dresden (Hrsg.): DATA\_BAUM Datenbank zur Umweltverträglichkeit von Baustoffen in ihrer Anwendung. Version 1.3, Dresden 1998
  - [12] Mobiles Umwelttechnik Zentrum Ingenieurgesellschaft mbH, Berlin (Hrsg.): M.U.T.Z Dämmstoff-CD, Berlin 1999
  - [13] Swiss-Ingenieur-Ring (Hrsg.): EDV-Diskette Dämmsysteme im Vergleich. Verlag Weder+Bangerter AG, Zürich 1998
  - [14] König, N.; Sedlbauer, K.; Böhm, E.: Technische Maßnahmen zur Verminderung der Risiken durch künstliche Mineralfasern (KMF) sowie Anforderungen an mögliche Alternativen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1995
  - [15] Umweltinstitut München (Hrsg.): Wärmedämmstoffe im Vergleich. München 1998
  - [16] Reyer, E. et al.: Kompendium der Dämmstoffe. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Baukonstruktionen, Ingenieurholzbau und Bauphysik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 14, 1997, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1998
  - [17] Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (Hrsg.): Informationsdienst Holz. Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. München 1999
  - [18] Lünser, H.: Ökobilanzen im Brückenbau. Birkhäuser Verlag, Basel 1999
  - [19] Fischer, H.-M. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. B.G.Teubner, Stuttgart 1997
  - [20] Brandt, J.; Rechenberg, W.: Umwelt, Radioaktivität und Beton. Sachstandsbericht. Beton-Verlag, Düsseldorf 1994
  - [21] Bechmann, A.: Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung. Verlag Paul Haupt, Bern 1978
- 
- Bild 2.1-1: [1]
  - Bild 2.1-2: Ahnert, R.; Krause, K.H.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung vorhandener Bausubstanz. Band 1. Gründungen, Wände, Decken, Dachtragwerke. Berlin 1996
  - Bild 2.1-3: Franke, L.; Deckelmann, G.: Eine vergleichende Bewertung der Anforderungen der Wärmeschutzverordnungen von 1982, 1995 und 1999. Bauphysik 18 (1996) Heft 5, S. 129-136
  - Bild 2.2-2: Fuehres, M.: Die Alternativen. Isoliertechnik 5/96
  - Bild 2.2-3: König, N.: Schaumgips oder Gipsschaum? Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten eines neuen Baustoffes. Bauphysik 15 (1993) Heft 2, S. 33-36
  - Bild 2.3-1: Fa. IsoCotton GmbH, Augsburg
  - Bild 2.3-2: Fa. Schwenk, Grünzweig und Hartmann AG, Lias Franken (Liapor), Frelen
  - Bild 2.5-1: Fa. Poroton, Liapor, Hebel
  - Bild 2.5-2: [19]
  - Bild 3.1-1: Bundesarchitektenkammer (Hrsg.): Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Birkhäuser Verlag, Basel 1996
  - Bild 3.1-2: siehe Bild 2.2-3
  - Bild 3.5-1: Deutsche Pittsburgh Coming GmbH
  - Bild 3.5-2: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie (Hrsg.): Hinweise zum Energiesparen 23. Putze und Anstriche. München 1996
  - Bild 4.3-1: [4]





## Anhang

	Mineralische Dämmstoffe		
	Mineralwolle (Glas- und Steinwolle)	Schaumglas	Blaßglas
Nachweis der Verwendbarkeit	DIN 18165-1 und -2; Zulassungen	DIN 18174-1; Zulassungen	Zulassungen
Struktur	Fasern, z.T. gebunden	geschäumtes Glas	geschäumtes, granuliertes Glas
Anwendungsbereiche	Wärme- und Schalldämmung sowie Brandschutz in nahezu allen Anwendungsbereichen	Wärmedämmung bei erdbe- rührten Bauteilen (auch im Grundwasser), Flachdächern, stark belasteten Industrie- fußböden, Kemptämmungen	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafel- bauweise und vergleichbaren Hohlräumen
Typkurzzeichen	W, WL, WD, WV, T, TK	WDS, WDH	-
Produkte	Matten, Platten, Flocken, lose Wolle, Formteile	Platten, Formteile	lose Ware für Schüttungen
Rohdichte/Schüttdichte	8 - 500 kg/m <sup>3</sup>	100 - 150 kg/m <sup>3</sup>	≤ 190 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ nach DIN V 4108-4 bzw. Zulassung	0,035 - 0,050 W/(mK)	0,040 - 0,055 W/(mK)	0,070 W/(mK)
Spezifische Wärmekapazität $c$ nach DIN V 4108-4	1000 J/(kgK)	1000 J/(kgK)	1000 J/(kgK)
Wasserdampf-Diffusions- widerstandszahl $\mu$	1	dampfdicht	5
massenbezogene Feuchte $u_m$ nach DIN V 4108-4	1,5 %	0 %	0 %
Baustoffklasse	A1, A2, B1	A1, B2	A1
Rohstoffe	Quarzsand, Soda, Kalkstein, Natursteine, Altglas	Quarzsand, Feldspat, Kalkstein, Eisenoxid	Altglas
Nebenbestandteile	Kunsthharze, Mineralöl, Hydrophobierung	Kohlenstoff, Bitumen zum Verkleben	keine
Verfügbarkeit der Rohstoffe	nahezu unbegrenzt; z.T. hoher Recyclinganteil	nahezu unbegrenzt	Recyclingprodukt
Herkunft der Rohstoffe	Deutschland, Europa	Deutschland, Europa	Deutschland, Europa
HFCKW	nein	nein	nein
mögliche Gefahrstoffe bei der Verarbeitung	krebserzeugende Fasern, Stäube, Formaldehyd	Glasstaub beim Zuschnitt	Staub
mögliche Gefahrstoffe bei der Nutzung	bei dichtem Einbau keine Gefährdung	keine	keine
Verwertung	Recycling möglich	Downcycling möglich	Recycling möglich
Beseitigung	problemlos	problemlos	problemlos
Langzeiterfahrungen	> 100 a	> 50 a	keine, da neues Produkt; hohe Lebensdauer wahrscheinlich
Beständigkeit	nicht beständig gegenüber stark alkalischen Stoffen	unverrotbar	unverrotbar
Verarbeitung durch Fachbetriebe	nur bei maschineller Her- stellung der Dämmschicht	nicht erforderlich, aber üblich	nicht erforderlich
Besonderheiten	gute Trittschalldämmung; schallabsorbierend; hohe Temperaturbeständigkeit; Umweltzeichen für Glaswolle, „weil ... aus Altglas“; Arbeitsschutzmaßnahmen (Atemschutz) erforderlich; Nachweis der Unbedenklich- keit der Fasern hinsichtlich krebserzeugender Wirkung durch Kanzerogenitätsindex oder Biolöslichkeit;	hohe Druckfestigkeit; Gütezeichen der Arbeits- gemeinschaft Umweltverträg- liches Bauprodukt e.V.; bei der Verarbeitung Geruchs- belästigung durch H <sub>2</sub> S möglich; Bitumendämpfe gelten in den auftretenden Konzentrationen als ungefährlich;	

Mineralische Dämmstoffe				
Blähperlit	Naturbims	Blähton	Silikatschaum	Gippschaum
Zulassungen	Zulassungen	Zulassungen	Zulassungen	Zulassung
geblähte Leichtkörner	natürliche Leichtkörner	geblähte Tonkugeln	mineralischer Schaum	mineralischer Schaum
Wärmedämmungen zwischen Sparren und Holzbalkendecken, auf Flachdächern und unter Fußböden, Kemptämmungen	horizontale Wärmedämmung, verdichtet auch wie ein Dämmstoff des Anwendungstypes WD nach DIN 18165-1	Wärmedämmung in Decken oder als Ausgleichsschüttung unter Fußböden	Außen- und Innendämmung von Wänden, Unterseiten von Decken	Trennwände
-	-	-	WS, WDS	W
lose Ware für Schüttungen	lose Ware für Schüttungen	lose Ware für Schüttungen	Platten	Platten
$\leq 100 \text{ kg/m}^3$	175 - 285 $\text{kg/m}^3$	300 - 400 $\text{kg/m}^3$	90 - 140 $\text{kg/m}^3$	63 - 70 $\text{kg/m}^3$
0,045 - 0,070 W/(mK)	0,060 - 0,080 W/(mK)	0,10 - 0,12 W/(mK)	0,045 - 0,050 W/(mK)	0,045 W/(mK)
1000 J/(kgK)	1000 J/(kgK)	1000 J/(kgK)	1000 J/(kgK)	1000 J/(kgK)
k.A.	4	k.A.	3 - 6	4/8
1 %	1 %	1 %	5 - 7 % (lt. Zulassung)	5% (lt. Zulassung)
A1, B2	A1	A1	A1, A2	B2
Rohperlit (glasartiges vulkanisches Gestein)	Naturbims, z.T. mit 36 Masse-% Blähperlit	Blähfähige Tone	Quarzmehl, Kalkhydrat, Zement, Wasser	Gips aus Rauchgasentschwefelung (REA-Gips)
z.T. Bitumen oder Naturharz als Ummantelung	keine	keine	Schäummittel, Hydrophobierung, z.T. organische Fasern	Prepolymer, Flammschutzmittel
begrenzt	begrenzt	nahezu unbegrenzt	nahezu unbegrenzt	Recyclingprodukt
Südeuropa, Nordafrika	Deutschland	Deutschland	Deutschland, Europa	Deutschland
nein	nein	nein	nein	nein
Staub	Staub	Staub	Staub	Staub
keine	keine	keine	keine	keine
Recycling möglich	Recycling möglich	Recycling möglich	Downcycling möglich	k.A.
problemlos	problemlos	problemlos	problemlos	problemlos
> 40 a	vorhanden	vorhanden	keine; lange Lebensdauer wahrscheinlich	keine
unverrottbar	unverrottbar	unverrottbar	unverrottbar	k.A.
nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Dämmplatten aus Blähperlit enthalten zusätzlich Fasern, Bindemittel und weitere Zusätze. Sie werden z.T. mit PS- oder Mineralfaserplatten verklebt und haben dann ähnliche Eigenschaften wie diese Produkte. Blähperlit wird auch als Zuschlag für Leichtmörtel verwendet.	nur eine Anbieter auf dem Markt	Blähton wird hauptsächlich als Leichtzuschlag für wärmedämmendes Mauerwerk oder Leichtbeton eingesetzt.	neuer Baustoff, der u.a. als Konkurrent zu den üblichen Dämmstoffen für Wärmedämmverbundsysteme auftritt; es gibt auch zementgebundenen Ortschaum, der für die Wärmedämmung entspr. DIN 18159-2, Abschn. 4 angewendet werden kann	neuer Baustoff, bishern nur eine Zulassung

# Anhang

	Künstliche organische Dämmstoffe		
	Polystyrol-Hartschaum (PS)		Polyurethan-Hartschaum (PUR)
	Partikelschaum (EPS)	Extruderschaum (XPS)	
Nachweis der Verwendbarkeit	DIN 18164-1 und -2; Zulassungen	DIN 18164-1; Zulassungen	DIN 18164-1; Zulassungen
Struktur	geschlossen-zelliger Hartschaum	geschlossen-zelliger Hartschaum	geschlossen-zelliger Hartschaum
Anwendungsbereiche	Wärmedämmung in nahezu allen Anwendungsbereichen; Trittschalldämmung	Wärmedämmung in nahezu allen Anwendungsbereichen; auch für Kellerwände, Bodenplatten und Umkehrdach	Wärmedämmung von Flach- und Steildächern sowie Decken und Fußböden
Typkür zzeichen	W, WD, WS, TK	W, WD, WS	W, WD, WS
Produkte	Platten, Verbundelemente, Formteile	Platten, Verbundelemente, Formteile	Platten, Verbundelement, Formteile
Rohdichte/Schüttdichte	15 - 30 kg/m <sup>3</sup>	≥ 25 kg/m <sup>3</sup>	≥ 30 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ nach DIN V 4108-4 bzw. Zulassung	0,035 - 0,040 W/(mK)	0,030 - 0,040 W/(mK)	0,020 - 0,040 W/(mK)
Spezifische Wärmekapazität $c$ nach DIN V 4108-4	1500 J/(kgK)	1500 J/(kgK)	1500 J/(kgK)
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$	20/50, 30/70 oder 40/100 in Abhängigkeit von der Rohdichte	80/250	30/100
massenbezogene Feuchte $u_m$ nach DIN V 4108-4	1 %	1 %	1 %
Baustoffklasse	B1, B2	B1, B2	B1, B2
Rohstoffe	Erdöl → Polystyrol	Erdöl → Polystyrol	Erdöl → Polyol und Isocyanate
Nebenbestandteile	Treibmittel (Pentan), Flammschutzmittel	Treibmittel (CO <sub>2</sub> oder HFCKW 142 b), Flammschutzmittel, Stabilisatoren	Treibmittel (CO <sub>2</sub> , Pentan oder HFCKW 141 b), Flammschutzmittel, Stabilisatoren, Aktivatoren
Verfügbarkeit der Rohstoffe	begrenzt; z.T. Verwendung von Recyclingmaterial	begrenzt	begrenzt
Herkunft der Rohstoffe	aus aller Welt	aus aller Welt	aus aller Welt
HFCKW	nein	teilweise ja	teilweise ja
mögliche Gefahrstoffe bei der Verarbeitung	monomeres Styrol	monomeres Styrol	Isocyanate
mögliche Gefahrstoffe bei der Nutzung	im Brandfall CO, Styrol, Benzol, Toluol, Flammschutzmittel	im Brandfall CO, Styrol, Benzol, Toluol, Flammschutzmittel	im Brandfall CO, HCN, Benzol, Toluol, Flammschutzmittel
Verwertung	Downcycling möglich, meist energetische Verwertung	Downcycling möglich, meist energetische Verwertung	Downcycling möglich, meist energetische Verwertung
Beseitigung	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden
Langzeiterfahrungen	> 30 a	> 30 a	> 30 a
Beständigkeit	nicht UV-beständig; nicht lösemittelfest	nicht UV-beständig	schimmel- und fäulnisresistent
Verarbeitung durch Fachbetriebe	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Besonderheiten	Aus Recyclingmaterial wird zementgebundene oder zementummantelte lose Ware hergestellt.	HFCKW-freie Produkte nicht für alle Anwendungsbereiche vorhanden; einziger Dämmstoff mit Zulassung für Umkehrdach	Polyol kann auch aus nachwachsenden Rohstoffen, z.B. aus Mais oder Kartoffeln hergestellt werden; WLG 020 wird nur mit dem Treibmittel H-FCKW und diffusionsdichten Deckschichten erreicht

Künstliche organische Dämmstoffe			
Phenolharz-Hartschaum (PF)	Polyurethan-Ortschaum (PUR)	Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum (UF)	Polyester
DIN 18164-1; Zulassungen	DIN 18159-1; Zulassungen	DIN 18159-2; Zulassungen	Zulassungen
geschlossenzelliger Hartschaum	geschlossenzelliger Hartschaum	offenzelliger Schaumstoff	Fasern, thermisch verfestigt
Wärmedämmung von Dächern, Wänden und Decken	flächige Wärmedämmung von Wänden, Decken, Profilen, Behältern; Ausschäumen von Hohlräumen und Schlitzen	Ausschäumen von Hohlräumen bei Wänden, Decken, Dächern, Schächten, Schlitzen, Kanälen, Zargen von Türen und Fenstern	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafelbauweise und ähnlichen Hohlräumen
W, WD, WS	-	-	W, WL
Platten	Spritz- und Gießschaum	Spritzschaum	Matten
$\geq 30 \text{ kg/m}^3$	$> 40 \text{ kg/m}^3$	$\geq 10 \text{ kg/m}^3$	15 - 45 $\text{kg/m}^3$
0,025 - 0,040 W/(mK)	0,030 - 0,040 W/(mK)	0,035 - 0,040 W/(mK)	0,035 - 0,045 W/(mK)
1500 J/(kgK)	1500 J/(kgK)	1500 J/(kgK)	1500 J/(kgK)
10/50	30/100	1/3	1
1 %	1 %	< 15 % (lt. Produktnorm)	k.A.
B1, B2	B2, B1	B2, B1	B1, B2
Erdöl → Phenolharze und Formaldehyd	Erdöl → Polyol und Isocyanate	Stickstoff → NH <sub>3</sub> → Harnstoff, Erdöl → Formaldehyd	Erdöl → Polyester
Treibmittel (Pentan, Isopropylchlorid), Flammschutzmittel, Härter	Treibmittel (CO <sub>2</sub> , HFCKW 141 b), Flammschutzmittel, Additive, z.B. Weichmacher	Treibmittel, Flammschutzmittel, Härter, Emulgatoren, Katalysatoren	keine
begrenzt	begrenzt	begrenzt (Erdöl)	begrenzt
aus aller Welt	aus aller Welt	Deutschland	aus aller Welt
nein	teilweise ja	nein	nein
Formaldehyd, Phenol	Isocyanate, Additive	Formaldehyd	keine
Formaldehyd, Phenol; im Brandfall CO und andere Organik	im Brandfall CO, HCN, Benzol, Toluol, Flammschutzmittel	Formaldehyd; im Brandfall CO und andere Organik	keine
k.A.	Downcycling möglich, meist energetische Verwertung	k.A.	Recycling möglich
organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden
> 30 a	> 30 a	> 30 a	keine; lange Lebensdauer wahrscheinlich
k.A.	schimmel- und fäulnisresistent	k.A.	verrottungsbeständig, schädlingresistent
nicht erforderlich	Verarbeitung nur durch geschulte Fachbetriebe	Verarbeitung nur durch geschulte Fachbetriebe	nicht erforderlich
nur noch selten angewendeter Dämmstoff		zusätzlich gilt die ETB-Richtlinie zur Begrenzung der Formaldehydemission in die Raumluft bei Verwendung von Harnstoff-Formaldehydharz-Ortschaum (ETB-Ri UF Ortschaum)	Polyester ist der einzige Kunststoff ohne Zusätze

## Anhang

	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen		
	Kork	Kokos	Schafwolle
Nachweis der Verwendbarkeit	DIN 18161-1	DIN 18165-1 und -2	Zulassungen
Struktur	expandierter Korkschröt	Fasern, mechanisch verfestigt	Fasern, mechanisch verfestigt
Anwendungsbereiche	Wärmedämmung von Dächern, Wänden, Decken und Fußböden; auch für WDVS und hoch belastete Industriefußböden	Wärmedämmung von Dächern, Wänden, Decken und Fußböden; Trittschalldämmung unter Naß- und Trockenestrich	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafelbauweise und ähnlichen Hohlräumen
Typkürzzeichen	W, WD, WDS	W, WL, WD, WV, T, TK	W, WL
Produkte	Platten, lose Ware für Schüttungen	Platten, Matten, Stopfwohle	Matten
Rohdichte/Schüttdichte	80 - 500 kg/m <sup>3</sup>	80 - 120 kg/m <sup>3</sup>	20 - 80 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ nach DIN V 4108-4 bzw. Zulassung	0,045 - 0,055 W/(mK)	0,045 - 0,050 W/(mK)	0,040 W/(mK)
Spezifische Wärmekapazität $c$ nach DIN V 4108-4	2100 J/(kgK)	1300 J/(kgK)	1300 J/(kgK)
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$	5/10 (Platten) 1 (Schröt)	1	1/2
massenbezogene Feuchte $u_m$ nach DIN V 4108-4	10 %	15 %	15 %
Baustoffklasse	B2	B2	B2
Rohstoffe	Rinde der Korkeiche, z.T. Recyclingmaterial	Fasern aus der Umhüllung der Kokosnuß	reine Schurwolle oder Gemisch aus Neu- und Altwolle
Nebenbestandteile	z.T. Bitumen („imprägnierter Kork“)	Flammschutzmittel, Bindemittel	Flammschutzmittel, Mottenschutz, z.T. Stützfasern (Polyester oder Kokos)
Verfügbarkeit der Rohstoffe	nachwachsender Rohstoff; auch aus Recyclingmaterial	nachwachsender Rohstoff	nachwachsender Rohstoff; auch aus Recyclingmaterial
Herkunft der Rohstoffe	Südeuropa	Indien, Indonesien	Deutschland, Europa, z.T. auch aus Übersee, z.B. Neuseeland
HFCKW	nein	nein	nein
mögliche Gefahrstoffe bei der Verarbeitung	bei hohen Temperaturen Phenole und PAK; Staub	organische Fasern, Flammschutzmittel	organische Fasern, Staub, Flammschutzmittel
mögliche Gefahrstoffe bei der Nutzung	im Brandfall CO und andere Organik	im Brandfall CO und andere Organik	im Brandfall CO und andere Organik
Verwertung	Downcycling möglich, meist energetische Verwertung	Recycling bedingt möglich	Recycling theoretisch möglich, praktische Erfahrungen fehlen
Beseitigung	kompostierbar	bei Verwendung wassergefährdender Flammschutzmittel ist Kompostierung nicht möglich	bei Verwendung wassergefährdender Flammschutzmittel ist Kompostierung nicht möglich
Langzeiterfahrungen	> 100 Jahre	> 100 Jahre	keine; hohe Lebensdauer wird angenommen
Beständigkeit	beständig gegen Schädlinge, Fäulnis, Schimmel	beständig gegen Schädlinge, Fäulnis, Schimmel; schwer verrottbar	chemischer Mottenschutz erforderlich
Verarbeitung durch Fachbetriebe	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Besonderheiten	Bei Platten erfolgt das Binden des im Heißdampf geblähten Korkschröts mit dem kork-eigenen Bindemittel Suberin; imprägnierter Kork wird mit Heißbitumen behandelt;	gute Trittschalldämmung	im Verhältnis zu anderen natürlichen Dämmstoffen gibt es für Schafwolle viele Hersteller und Anbieter

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen			
Baumwolle	Flachs	Hanf	Torf
Zulassungen	Zulassungen	Zulassungen	Zulassung
Fasern, z.T. mechanisch verfestigt	Fasern, gebunden oder thermisch verfestigt	Fasern, thermisch verfestigt, bzw. bituminierte Hanfschäben	Fasern in Hüllen aus Glasfasergewebe
Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafelbauweise und ähnlichen Hohlräumen	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafelbauweise und ähnlichen Hohlräumen	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken (Fasern, Schäben) sowie in Wänden in Holztafelbauweise und ähnlichen Hohlräumen (nur Fasern)	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken; für Wände nicht zugelassen
W, WL	W, WL	W, WL, Schäben auch WD	W, WL
Matten, Zöpfe, lose Flocken	Matten, Platten	Matten, lose Ware für Schüttungen	Torfmatratzen
20 - 60 kg/m <sup>3</sup>	20 - 80 kg/m <sup>3</sup>	Matten: 20 - 70 kg/m <sup>3</sup> Schüttung: 130 - 190 kg/m <sup>3</sup>	132 - 138 kg/m <sup>3</sup>
0,040 W/(mK)	0,040 - 0,045 W/(mK)	Matten: 0,040 - 0,045 W/(mK) Schüttung: 0,060-0,080 W/(mK)	0,055 W/(mK)
1300 J/(kgK)	1300 J/(kgK)	1300 J/(kgK)	k.A.
1/2	1/2	Fasern: 1/2 Schäben: 9	k.A.
15 %	15 %	10 % (lt. Zulassung)	k.A.
B2	B2	B2	B2
Baumwolle	Flachs-Kurzfasern	Hanffasern, Hanfschäben	Torf
Flammschutzmittel	Flammschutzmittel, Bindemittel (Kartoffelstärke), z.T. Stützfasern (Polyester)	Flammschutzmittel und Stützfasern (Polyester), bei Schäben bis 40 Masse-% Bitumen	Glasfasergewebe
nachwachsender Rohstoff	nachwachsender Rohstoff	nachwachsender Rohstoff	bedingt nachwachsender Rohstoff
Mittelasien, Ägypten, Indien, Pakistan	Deutschland, Europa	Deutschland, Europa	Baltikum?, Produktion in Tschechien
nein	nein	nein	nein
organische Fasern, Staub, Flammschutzmittel	organische Fasern, Staub, Flammschutzmittel	organische Fasern, Staub, Flammschutzmittel	k.A.
im Brandfall CO und andere Organik	im Brandfall CO und andere Organik	im Brandfall CO und andere Organik	k.A.
Recycling theoretisch möglich, praktische Erfahrungen fehlen	Recycling theoretisch möglich, praktische Erfahrungen fehlen	k.A.	k.A.
bei Verwendung wassergefährdender Flammschutzmittel ist Kompostierung nicht möglich	bei Verwendung wassergefährdender Flammschutzmittel ist Kompostierung nicht möglich	k.A.	k.A.
keine	keine	keine	keine
k.A.	beständig gegen Fäulnis, Schimmelpilze und Ungeziefer	k.A.	k.A.
für Flocken Verarbeitung nur durch geschulte Fachbetriebe	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
			nur ein Hersteller, nur im Direktvertrieb; Matratzen werden maßgerecht angefertigt; Torf ist nur im weitesten Sinn als nachwachsender Rohstoff anzusehen; zur Zeit wird deutlich mehr Torf abgebaut, als sich natürlich bildet

## Anhang

	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffe		
	Holzwohle- Leichtbauplatten (HWL)	Mehrschichten- Leichtbauplatten	Holzfaserdämmplatten
Nachweis der Verwendbarkeit	DIN 1101	DIN 1101	DIN 68755
Struktur	Platten aus gebundenen Hobel- spänen	Platten aus gebundenen Hobel- spänen im Verbund mit einer Schicht aus Hartschaum oder Mineralfasern	gebundene faserförmige Holz- partikel
Anwendungsbereiche	Außenwände, Verkleidungen von Holzfachwerk oder Holz- ständerwänden, Trennwände, Decken, Dachausbau	Außenwände, Verkleidungen von Holzfachwerk oder Holz- ständerwänden, Trennwände, Decken, Dachausbau	Wärmedämmung von Dächern, Wänden, Decken und Fußböden; Trittschalldämmung
Typkür zzeichen	W, WD, WS, WV, WB	W, WD, WV, WB	-
Produkte	Platten	Platten	Platten
Rohdichte/Schüttdichte	360 - 570 kg/m <sup>3</sup>	von Verbundwerkstoff und Schichtaufbau abhängig	120 - 450 kg/m <sup>3</sup>
Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R$ nach DIN V 4108-4 bzw. Zulassung	0,065 - 0,090 W/(mK)		0,040 - 0,070 W/(mK)
Spezifische Wärmekapazität $c$ nach DIN V 4108-4	2100 J/(kgK)		2100 J/(kgK)
Wasserdampf-Diffusions- widerstandszahl $\mu$	2/5		5
massenbezogene Feuchte $u_m$ nach DIN V 4108-4	13 %		15 %
Baustoffklasse	B1	B1, B2	B2
Rohstoffe	Weichholz (Fichte, Kiefer), Magnesiabinder, Zement, Gips	wie HWL, zusätzlich Rohstoffe für die verwendeten Verbund- werkstoffe	Weichholz (Fichte, Kiefer), Holzfasern aus Hackschnitzeln und Sägeresten
Nebenbestandteile	Schalöl	Schalöl und Nebenbestandteile der Verbundwerkstoffe	Flammschutzmittel, z.T. Binde- mittel
Verfügbarkeit der Rohstoffe	nachwachsende und nahezu un- begrenzt verfügbare Rohstoffe	wie HWL, außerdem vom Ver- bundwerkstoff abhängig	nachwachsender Rohstoff
Herkunft der Rohstoffe	Deutschland, Europa	Deutschland, Europa, z.T. Erdöl aus aller Welt	Deutschland, Europa
HFCKW	nein	evtl. bei Hartschaum	nein
mögliche Gefahrstoffe bei der Verarbeitung	mineralische Stäube, Holzstaub	mineralische Stäube, Holzstaub, Gefährstoffe aus Verbundwerk- stoffen	organische Fasern, evtl. Formal- dehyd
mögliche Gefahrstoffe bei der Nutzung	im Brandfall CO und andere Organik	in der Regel keine, im Brandfall vom Verbundwerkstoff abhän- gig	im Brandfall CO und andere Organik
Verwertung	Recycling nicht möglich	Recycling nicht möglich	Recycling möglich
Beseitigung	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden	organische Stoffe dürfen nach Ablauf einer Übergangsfrist nicht mehr deponiert werden	bei Verwendung wassergefähr- dender Flammschutzmittel ist Kompostierung nicht möglich
Langzeiterfahrungen	vorhanden > 70 Jahre	vorhanden	> 25 Jahre
Beständigkeit	gegen Schädlinge beständig	gegen Schädlinge beständig	nicht feuchtebeständig
Verarbeitung durch Fachbetriebe	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Besonderheiten	Verlegehinweise in DIN 1102; HWL-Platten sind gute Putzträ- ger;		



Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen			
Holzfasern, Holzwolle, Hobelspäne	Zellulose	Getreidegranulat	Reisspelzen
Zulassungen	Zulassungen	Zulassung	Zulassung
ungebundene Fasern, Holzwolle oder Hobelspäne	Flocken, z.T. gebunden	Granulat aus geblättem Schrot	lose Spelzen
Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafelbauweise und vergleichbaren Hohlräumen	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafelbauweise und vergleichbaren Hohlräumen	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken; für Wände nicht zugelassen	Wärmedämmung zwischen Sparren und Holzbalkendecken sowie in Wänden in Holztafelbauweise und vergleichbaren Hohlräumen
-	W, WL, Platten auch WV	W, WL, WD	W, WL
lose Ware zum Einblasen	lose Flocken zum Einblasen, Platten	lose Ware für Schüttungen	lose Ware zum Einblasen oder Schütten
Holzfasern: 30 - 60 kg/m <sup>3</sup> Hobelspäne: 50 - 90 kg/m <sup>3</sup> Holzwolle: 50 - 90 kg/m <sup>3</sup>	Flocken: 30 - 80 kg/m <sup>3</sup> Platten: 70 - 100 kg/m <sup>3</sup>	105 - 115 kg/m <sup>3</sup>	100 - 145 kg/m <sup>3</sup>
Holzfasern: 0,045 W/(mK) Hobelspäne: 0,045 W/(mK) Holzwolle: 0,080 W/(mK)	0,040 - 0,045 W/(mK)	0,050 W/(mK)	0,050 W/(mK)
2100 J/(kgK)	k.A., lt. Hersteller 1900 J/(kgK)	k.A.	1300 J/(kgK)
1/2 (Fasern)	1/2	k.A.	1/2
15 %	15 %	k.A.	k.A.
B2	B2, B1	B2	B2
Weichholz (Fichte, Kiefer), Holzfasern aus Hackschnitzeln und Sägeresten	bedrucktes oder unbedrucktes Altpapier	Roggenfeinschrot	Reisspelzen
Flammschutzmittel	Flammschutzmittel, z.T. Jute	Kali-Wasserglas, Kalkhydrat, Zement	Flammschutzmittel
nachwachsender Rohstoff	Recyclingprodukt aus nachwachsendem Rohstoff	nachwachsender Rohstoff	nachwachsender Rohstoff
Deutschland, Europa	Deutschland, Europa	Deutschland	Asien
nein	nein	nein	nein
organische Fasern, Holzstaub	organische Fasern, Staub, Flammschutzmittel	k.A.	k.A.
im Brandfall CO und andere Organik	im Brandfall CO und andere Organik	k.A.	k.A.
Recycling möglich	Recycling möglich	k.A.	k.A.
bei Verwendung wassergefährdender Flammschutzmittel ist Kompostierung nicht möglich	bei Verwendung wassergefährdender Flammschutzmittel ist Kompostierung nicht möglich	k.A.	k.A.
keine	> 60 a	keine	keine
nicht feuchtebeständig	nicht feuchtebeständig	k.A.	k.A.
Verarbeitung nur durch geschulte Fachbetriebe	Verarbeitung durch Fachbetrieb bei losem Material	Verarbeitung nur durch geschulte Fachbetriebe	maschinelle Verarbeitung nur durch geschulte Fachbetriebe
	Für Zellulose ist eine europäische Produktnorm geplant.	nur ein Hersteller	nur ein Hersteller

# Impressum

---

## Herausgeber

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg  
Theodor-Heuss-Straße 4  
70174 Stuttgart  
Tel.: (0711) 123-0  
2. redaktionell geänderte Auflage, Juli 2000

## Bearbeitung

Dr.-Ing. Heiko Lünsler, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Referat *Bautechnik, Bauökologie* auf der Grundlage eines Entwurfes von Dr. Margit Fuehres, Büro für Technischen Umweltschutz Reiskirchen und eines Forschungsberichtes der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt (FMPA) Baden-Württemberg

## Gestaltung

Jens Koptik, Kornwestheim  
Titelseite: Klaus Killenberg, Stuttgart

## Bilder

siehe Bildverzeichnis, S. 30  
Titelseite: ÖKO-HAUS, Frankfurt am Main

## Druck

Schwäbische Druckerei GmbH,  
70197 Stuttgart

## Verteilerhinweise

Diese Informationsschrift wird von der Landesregierung Baden-Württemberg im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Mißbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

Auch ohne Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, daß diese als Parteinahme der Herausgeberin zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist.

Erlaubt ist es jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zu Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.