

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

MITTEILUNGEN

Reihe I:
Allgemeine Fragen des Wärme- und Kälteschutzes

Wärmedämmung im Erdreich

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Albrecht
Max Engelhardt, B. Eng.

C 11 Wärmedämmung im Erdreich

Wolfgang Albrecht, Max Engelhardt

Dipl.-Ing. Wolfgang Albrecht
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München
Abtlg. Zertifizierung
Lochhamer Schlag 4, 82166 Gräfelfing

Studium der Physikalischen Technik an der Fachhochschule München. Seit 1981 im Forschungsinstitut für Wärmeschutz (FIW) München in den Bereichen Messung der Wärmeleitfähigkeit, Dämmstoffüberwachung und Forschung tätig. Von 2000 bis 2012 Leiter der Abteilung Dämmstoffe im Hochbau, seit 2012 Leiter der Abteilung Zertifizierung. Mitarbeit in verschiedenen nationalen und internationalen Normungsausschüssen sowie in Sachverständigenausschüssen des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt und in der Lambda Expert Group des europäischen Keymark-Systems.



B.Eng. Max Engelhardt
Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München
Abtlg. Forschung und Entwicklung
Lochhamer Schlag 4, 82166 Gräfelfing

Studium der Holztechnik an der Fachhochschule Rosenheim sowie derzeit Studium der Energie- und Ressourceneffizienz an der Beuth Hochschule für Technik Berlin. Seit 2013 Projektmanager und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München.



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5	6.3	Regelungen in den deutschen Anwendungsnormen für XPS- und Schaumglas-Dämmstoffe	15
2	Wärmeverluste durch erdberührte Bauteile	5	6.4	Sonstige Dämmstoffe für die Perimeterdämmung	15
2.1	Temperatur-Korrekturfaktoren	6	6.5	Dämmstoffe für die Anwendung im drückenden Wasser	17
3	Wärmebrücken erdberührter Bauteile	7	7	Anwendungsbereiche und Ausführungen	18
3.1	Wärmebrücken beim Mindestwärmeschutz	7	7.1	Der Sockelanschluss	18
3.2	Wärmebrücken beim energiesparenden Wärmeschutz	8	7.2	Außenwand im Erdreich	19
4	Anforderungen an den Wärmeschutz erdberührter Bauteile	9	7.3	Bodenplatte	19
4.1	Mindestwärmeschutz	9	7.3.1	Beanspruchungen	20
4.2	Energiesparender Wärmeschutz	9	7.3.2	Lastabtragende Gründungsplatte	20
5	Beanspruchungen	11	8	Praktische Erfahrungsberichte zur Dauerhaftigkeit	21
5.1	Feuchtelasten durch Diffusion	11	9	Neuere Entwicklungen	22
5.2	Sickerndes Wasser und Bodenfeuchte	11	9.1	Mehrlagige Verlegung von XPS-Platten in der Perimeterdämmung	22
5.3	Drückendes Wasser und Schichtenwasser	12	9.2	Mehrlagig verklebte und verschweißte XPS-Platten	23
5.4	Erd- und Wasserdruck	12	10	Literatur	23
5.5	Chemische Beanspruchungen	13			
5.6	Biologische Beanspruchungen	13			
6	Wärmedämmstoffe im Perimeterbereich	13			
6.1	Anforderungen an Dämmstoffe für die Perimeterdämmung	14			
6.2	Regelungen in den Dämmstoffnormen	14			

1 Einführung

Seit Jahrzehnten werden erdberührte, beheizte Gebäudeteile wärmegeklämt. Ursprünglich diente dies hauptsächlich dem Schutz des Gebäudes vor Frost einwirkung und Tauwasserbildung. Die Wärmedämmung wird normalerweise erdberührend von außen an der Kellerwand angebracht oder unter Kellerböden, ohne den Bereich der Fundamente, verlegt. Sowohl die erdberührte Wärmedämmung der Kelleraußenwand wie auch des Kellerbodens wird Perimeterdämmung genannt. Die Perimeterdämmung hat gegenüber der Innendämmung des Kellers, neben der weitgehend wärmebrückenfreien Dämmung in fast beliebiger Dicke, auch den Vorteil, dass die Gebäudeabdichtung vor Beschädigungen geschützt wird und so langfristig die wichtige Funktion des Gebäudeschutzes ausüben kann. In den letzten Jahren beobachtet man eine zunehmende Dämmschichtdicke bei der Perimeterdämmung im Neubau, die über den üblichen Tauwasserschutz hinausgeht. Das liegt einerseits daran, dass Kellerräume in den nachverdichteten Ballungsräumen zunehmend mehr als Schlaf- und Büroräume genutzt werden. Andererseits werden moderne Büro- und Geschäftsgebäude teilweise mit zwei oder drei Tiefgeschossen geplant, um die Grundstücksflächen optimal auszunutzen. Weiterhin muss man heute bereits an die Klimaschutzpläne der EU und der Bundesregierung mit einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2030 denken, wenn das heute geplante Gebäude seinen Wert bis dahin behalten soll. Eine Renovierung oder Sanierung ist bei erdberührten Wärmedämmungen aus Platz- und Kostengründen meist nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand möglich.

An die Planer, die Bauausführenden, aber auch an die heute üblichen Dämmstoffe sind daher gleichermaßen hohe Anforderungen gestellt. In diesem Beitrag soll der heute übliche Stand der Technik bei der Außen dämmung erdberührter Bauteile dargestellt und zusammengefasst werden.

Nachfolgend soll eine einführende Übersicht über die in Deutschland geltenden allgemein anerkannten Regeln der Technik für den Wärmeschutz insbesondere in Bezug auf erdberührter Bauteile gegeben werden.

2 Wärmeverluste durch erdberührte Bauteile

Das Erdreich wirkt je nach dessen Beschaffenheit und Tiefe in unterschiedlichem Maße als zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand. Die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs wird ohne detailliertere Kenntnisse der örtlichen Gegebenheiten üblicherweise mit $2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ angesetzt. Für verschiedene Arten ungefrorenen Erdreichs sind in Tabelle 1 Wärmeleitfähigkeitsbereiche nach Anhang G der DIN EN ISO 13370 [1] angegeben.

Tabelle 1. Wärmeleitfähigkeitsbereiche für verschiedene Arten von Erdreich nach [1]

Art des Erdreichs	Wärmeleitfähigkeit in $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
Schluff	1,0–2,0
Ton	0,9–1,4
Torf	0,2–0,5
Trockener Sand	1,1–2,2
Nasser Sand	1,5–2,7
Felsen	2,5–4,5

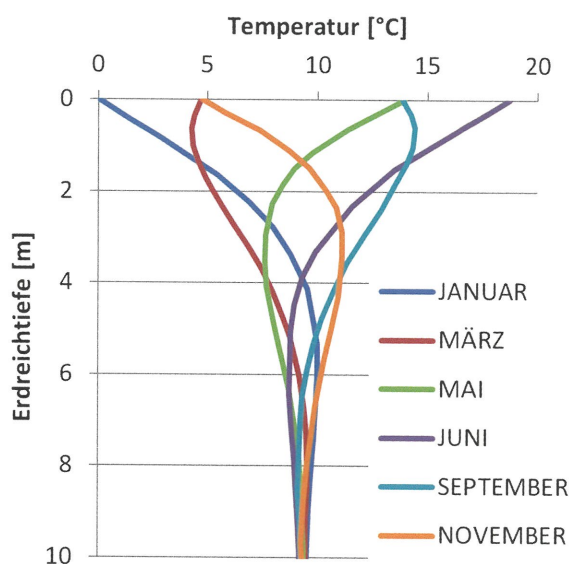


Bild 1. Beispielhafter Jahresverlauf mittlerer Temperaturprofile im ungestörten Erdreich (eigene Darstellung nach [2])

Zudem ist auch die thermische Trägheit der an das Bauteil grenzenden Erdmassen von Bedeutung, die dazu führt, dass bereits in moderaten Tiefen sogar die jahreszeitlichen Schwankungen der mittleren Temperaturen stark gedämpft werden. Ab einer Tiefe von etwa zehn Metern sind im ungestörten Erdreich solche Schwankungen kaum noch auszumachen (Bild 1). Tagesschwankungen der Außentemperatur werden schon nach wenigen Zentimetern fast vollständig gedämpft.

Die Berechnung von Gebäudeenergiebedarfen bedingt die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten auch von erdberührten Bauteilen unter Berücksichtigung des Einflusses des Erdreichs. Zur Bestimmung des Wärmeverlusts der beheizten Gebäudehülle wird der Wärmedurchgangskoeffizient U der Bauteile in der Regel nach DIN EN ISO 6946:2008-04 bestimmt [3]. An Erdreich grenzende Bauteile sind vom Anwendungsbereich dieses Standards jedoch ausgeschlossen.

Es stehen hierzu grundsätzlich zwei gängige Ansätze zur Verfügung: Die Berechnung der Wärmeströme durch erdberührte Bauteile anhand geeigneter Modelle oder die Verwendung von Temperatur-Kor-

Tabelle 2. Technische und physikalische Größen zur Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten durch erdberührte Bauteile eines beheizten Kellers nach Abschnitt 9 in [1]

Symbol	Einheit	Bezeichnung
A	m ²	Fläche der Bodenplatte (Außenmaßbezug)
λ	W/(m·K)	Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs (i. d. R. wird $\lambda = 2,0$ W/(m·K) angesetzt)
P	m	Umfangslänge der Bodenplatte (Außenmaßbezug)
R_f	m ² K/W	Wärmedurchgangswiderstand der Bodenplatte (einschließlich angrenzender Dämmschichten)
R_{se}	m ² K/W	Wärmeübergangswiderstand an der Außenseite des Bauteils (bei erdberührten Bauteilen ist $R_{se} = 0$)
R_{si}	m ² K/W	Wärmeübergangswiderstand an der Innenseite des Bauteils (für Kellerwände: $R_{si} = 0,13$ m ² K/W; für Bodenplatten: $R_{si} = 0,17$ m ² K/W)
R_w	m ² K/W	Wärmedurchgangswiderstand der Kellerwand
w	m	Gesamtdicke Kellerwände
z	m	Tiefe der Bodenplatte im Erdreich (gemessen bis Oberkante Bodenplatte)

rekturfaktoren (eine skalare Größe, welche die Reduktion des spezifischen Transmissionswärmeverlustes aufgrund der höheren Bauteilaußentemperatur ausdrückt). In Ausnahmefällen kann auch eine vollständige dreidimensionale numerische Berechnung nach DIN EN ISO 10211 [4] notwendig werden.

Die DIN EN ISO 13370 [1] stellt eine Richtlinie für den erstgenannten Ansatz dar und beschreibt Rechenverfahren für Bauteile von Gebäuden mit:

- ebenerdiger Bodenplatte,
- aufgeständerter Bodenplatte (Kriechkeller),
- unbeheizte Keller,
- Bodenplatte und Außenwände bei beheizten Kellerräumen.

Beispielhaft soll für das beheizte Kellergeschoss das Vorgehen zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Bodenplatte U_{bf} sowie der Kellerwände U_{bw} erläutert werden. Die technischen und physikalischen Größen, die dabei zur Anwendung kommen, sind in Tabelle 2 erfasst.

Die Geometrie der Bodenplatte wird im Kennwert des charakteristischen Bodenplattenmaßes B' als das Verhältnis der Bauteilfläche zur halben Umfangslänge berücksichtigt:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (1)$$

Die wirksame Gesamtdicke der Bodenplatte d_t bestimmt sich durch die wärmetechnischen Eigenschaften des Bauteils wie des umgebenden Erdreichs. Sie entspricht der Dicke einer Erdreichsschicht, die etwa den gleichen Wärmedurchlasswiderstand aufweist, wie das betreffende Bauteil:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (2)$$

Für gut gedämmte Bodenplatten (wenn $d_t + 0,5 \cdot z \geq B'$ erfüllt ist) gilt:

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \quad (3)$$

Bei weniger gut gedämmten Bodenplatten, also wenn $d_t + 0,5 \cdot z < B'$, gilt nun:

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1 \right) \quad (4)$$

Der Ansatz kann auch für Bodenplatten auf Erdreich (kein Kellergeschoss) angewendet werden, indem für die Tiefe der Keller Bodenplatte $z = 0$ angesetzt wird. Für die Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Kellerwand ist ebenfalls deren wirksame Gesamtdicke zu bestimmen:

$$d_w = \lambda \cdot (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (5)$$

Daraus sowie aus der Tiefe des Kellers bis zur Bodenplatte z ergibt sich für gedämmte wie ungedämmte Kellerwände:

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_x}{d_x + z} \right) \cdot \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (6)$$

Dabei ist für d_x der größere Wert von d_w und d_t anzusetzen.

Die Berechnungsmethodik der U-Werte von Bodenplatte und Kellerwand beruht auf der Annahme, dass zwischen den Bauteilen keine Wechselwirkungen stattfinden. Diese treten im Realfall jedoch an den Kontaktstellen der Bauteile auf. Das wärmetechnische Verhalten am Bauteilübergang ist daher durch einen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ_g zu berücksichtigen [1].

Grobe Anhaltswerte für ψ_g liefert die DIN EN ISO 14683 [5], für genauere Bestimmungen siehe Abschnitt 3.

Die stationäre Komponente bzw. der jährliche Mittelwert des Wärmetransmissionskoeffizienten der erdberührten Gebäudehülle H_g (beheiztes Kellergeschoss) kann somit beschrieben werden:

$$H_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \psi_g \text{ [W/K]} \quad (7)$$

Für eine monatweise Betrachtung der Wärmeströme sind zusätzlich die periodischen thermischen Leitwerte nach Anhang A in [1] zu ermitteln.

2.1 Temperatur-Korrekturfaktoren

Die zusätzliche Dämmwirkung des Erdreichs kann auch durch sogenannte Temperatur-Korrekturfaktoren berücksichtigt werden, die einen Näherungsfaktor der tatsächlich anliegenden Temperaturdifferenz

respektive des Wärmeverlustes über das erdberührte Bauteil im Vergleich zum Vergleichsfall bei direktem Außenluftkontakt (ohne Erdreich) darstellen. Die Temperatur-Korrekturfaktoren der Tabelle 3 in [6] (DIN V 4108-6) wurden für eine periodenbezogene Heizenergiebedarfsermittlung aus Berechnungsergebnissen gemäß [1] und [7] ermittelt. Aufgrund der thermischen Trägheit des Erdreichs sind diese Werte nicht für die Anwendung im Monatsbilanzverfahren geeignet (mit Ausnahme des öffentlich-rechtlichen Nachweises für Wohngebäude nach DIN V 4108-6 oder des Nachweises nach Anlage 3 der EnEV bei Änderungen erdberührter Bauteile).

Anders verhält es sich im Fall der Temperatur-Korrekturfaktoren gemäß Tabelle 6 in DIN V 18599-2 [8], die für das in der Normreihe DIN V 18599 beschriebene Monatsbilanzverfahren ermittelt wurden und entsprechend angewendet werden können. Die untere Tabelle zeigt einen Auszug aus dieser Tabelle, wieder beispielhaft für die Bauteile eines beheizten Kellers.

Da diese nicht monatsweise sondern als konstante Werte für die gesamte Betrachtungsperiode (Jahr) angegeben sind, liegen diese Werte insbesondere für geringe Werte von B' deutlich auf der sicheren Seite [9]. Daher kann eine detaillierte Berechnung nach DIN EN ISO 13370 [1] lohnenswert sein.

Wird mit Wärmedurchgangskoeffizienten U nach [1] – also entsprechend oberem Verfahren – sowie ψ nach DIN EN ISO 10211 [4] gerechnet, dürfen die Temperatur-Korrekturfaktoren nicht zum Ansatz gebracht werden, da andernfalls die Berücksichtigung des Erdreichs auf die Wärmeverluste zweifach vorgenommen würde.

3 Wärmebrücken erdberührter Bauteile

Sowohl im Rahmen der Mindestwärmeschutzanforderungen als auch der Energieeinsparverordnung ist auf die Berücksichtigung von Wärmebrücken zu achten. Für die Bestimmung der zusätzlichen Wärmeverluste und der lokalen Oberflächentemperaturen individueller Bauteilanschlüsse sind i. d. R. numerische Berechnungen auf Basis der Finite-Elemente-Methode oder Finite-Differenzen-Methode nach [4] vorzunehmen.

Für standardisierte Bausysteme sind alternativ oftmals Wärmebrückenkataloge für alle gängigen Anschlussstellen verfügbar. Konkrete Anwendungsfälle für die Wärmebrückenberechnung sind beispielsweise:

- die Berücksichtigung der Wärmebrücke am Anschluss der Bodenplatte an die Kellerwand zur Bestimmung des stationären Wärmetransferkoeffizienten nach DIN EN ISO 13370 (etwa im Zuge einer energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599),
- die Ermittlung eines individuellen Wärmebrückenzuschlags $\Delta U_{WB, \text{vorh}}$ des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle im Rahmen der Gebäudebilanzierung nach der Energieeinsparverordnung,
- der Nachweis der Gleichwertigkeit der Wärmebrücken mit den Referenzausführungen des Beiblatt 2 der DIN 4108 [10] zur Erlangung eines verringerten pauschalen Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB} ,
- der Nachweis der Freiheit des Schimmelpilzrisikos entsprechend Mindestwärmeschutzanforderungen nach DIN 4108-2.

Für die genannten Beispiele sind jeweils unterschiedliche Festlegungen über die Randbedingungen der Berechnung sowie der Modellbildung zu beachten, die vom jeweils zugrunde liegenden Vorgehen nach [4] abweichen und daher zu teils erheblichen zahlenmäßigen Abweichungen im Berechnungsergebnis führen.

3.1 Wärmebrücken beim Mindestwärmeschutz

Trotz der Einhaltung der Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände gemäß DIN 4108-2 kann im Bereich von Wärmebrücken das Risiko von Tauwasserausfall oder Schimmelpilzbildung bestehen. Daher sind in beheizten Aufenthaltsräumen nach genannter Norm auch dort Mindestwerte der raumseitigen Oberflächentemperaturen durch die Einhaltung eines Temperaturfaktors $f_{Rsi} \geq 0,70$ nachzuweisen. Dies entspricht bei den anzunehmenden Temperaturrandbedingungen von 20 °C Innenraumtemperatur und -5 °C Außenlufttemperatur einer minimalen raumseitigen Oberflächentemperatur von 12,6 °C. Um das Schimmelpilzrisiko auch in den Bereichen zu beherrschen, in denen die Luftzirkulation in Oberflächennähe ge-

Tabelle 3. Temperatur-Korrekturfaktoren für Bauteile des beheizten Kellers nach [8]

Wärmestrom nach außen über Bauteil des beheizten Kellers	Temperatur-Korrekturfaktor											
	$B' < 5 \text{ m}$			$5 \text{ m} \leq B' \leq 7,5 \text{ m}$			$7,5 \text{ m} < B' \leq 10 \text{ m}$			$B' > 10 \text{ m}$		
	Wärmedurchlasswiderstand R des betrachteten Bauteils [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]											
	$0,3 < R \leq 1$	$1 < R \leq 3$	$R > 3$	$0,3 < R \leq 1$	$1 < R \leq 3$	$R > 3$	$0,3 < R \leq 1$	$1 < R \leq 3$	$R > 3$	$0,3 < R \leq 1$	$1 < R \leq 3$	$R > 3$
Bodenplatte	0,45	0,55	0,70	0,40	0,50	0,65	0,35	0,45	0,60	0,30	0,40	0,55
Kellerwand	0,55	0,65	0,75	0,55	0,65	0,75	0,55	0,65	0,75	0,55	0,65	0,75

Tabelle 4. Anordnung der Schnittebenen im Erdreich zum Zwecke der Berechnung der Oberflächentemperaturen nach [4]

Richtung	Abstand zum zentralen Element (Wärmebrücke)
Horizontaler Abstand zu einer vertikalen Ebene innerhalb des Gebäudes	mindestens das Dreifache der Wanddicke
Horizontaler Abstand zu einer vertikalen Ebene außerhalb des Gebäudes	mindestens das Dreifache der Wanddicke
Vertikaler Abstand zu einer horizontalen Ebene unter Erdbodenniveau	mindestens 3 m
Vertikaler Abstand zu einer horizontalen Ebene unter Fußbodenniveau ¹⁾	mindestens 1 m

1) Gilt nur, wenn das Niveau des betrachteten Fußbodens mehr als 2 m unter dem Erdbodenniveau liegt.

stört ist, wird ein erhöhter raumseitiger Wärmeübergangswiderstand von $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ in der Berechnung angesetzt. Für unbeheizte (Keller-)Räume sowie der unteren Modellgrenze des Erdreichs wird eine Temperatur von 10°C angenommen. Für die Modellierung des Erdreichs gelten die Bestimmungen zur Anordnung der Schnittebenen im Erdreich nach DIN EN ISO 10211 [4], die in Tabelle 4 wiedergegeben sind.

Alternativ sind im Beiblatt 2 der DIN 4108 unter Abschnitt 7 für eine Reihe an Anschlussdetails spezifische Randbedingungen definiert.

Unter der Voraussetzung der Gleichwertigkeit der Konstruktion nach Beiblatt 2 der DIN 4108 entfallen die Nachweispflicht und die damit einhergehenden Wärmebrückenberechnungen. Weiterhin sind Fenster von der Anforderung ausgenommen, da Fenster für Schimmelpilze kein geeignetes Substrat darstellen.

3.2 Wärmebrücken beim energiesparenden Wärmeschutz

Auch im Rahmen der EnEV ist die Berücksichtigung von Wärmebrücken der beheizten Gebäudehülle gefordert. Für die energetische Berücksichtigung von Wärmebrücken gelten im Bereich erdberührter Bauteile die gleichen Regelsetzungen wie bei der übrigen Gebäudehülle. Ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} auf den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle kann durch einem sogenannten Gleichwertigkeitsnachweis für alle relevanten Wärmebrücken nach Abschnitt 3.5 in DIN 4108 Beiblatt 2 [10] von i. d. R. $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ auf $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vermindert werden.

Anstelle eines pauschalen Zuschlags kann gerade bei modernen Neubauten der detaillierte Wärmebrückenansatz durch umfassende Berechnung der Wärmebrücken und anschließender Bestimmung eines gebäudeindividuellen Wärmebrückenzuschlags $\Delta U_{\text{WB,vorh}}$ zu deutlich niedrigeren Ergebnissen führen.

$\Delta U_{\text{WB,vorh}}$ ergibt sich aus der Summe der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ , deren Gesamtlänge l und der gesamten Hüllfläche A des Gebäudes:

$$\Delta U_{\text{WB,vorh}} = A^{-1} \cdot \sum \psi_i \cdot l_i \quad (8)$$

Die Berechnung von längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ bei Anschlüssen und sonstigen Wärmebrücken erdberührter Bauteile erfolgt dann nach DIN EN ISO 10211 [4].

Der zusätzliche Wärmeverlust einer linienförmigen Wärmebrücke (beispielsweise der Anschluss der Bodenplatte an die aufgehende Außenwand) ergibt sich aus dem Produkt ihrer Länge und dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ . Dieser berechnet sich aus dem gesamten Wärmeverlust des betreffenden Anschlusses (thermischer Leitwert L_{2D}) abzüglich des Verlustes des Regelquerschnittes der angrenzenden Bauteile nach untenstehender Formelgleichung.

$$\psi = L_{2D} - \sum U_i \cdot l_i \quad (9)$$

Erläuterungen und Beispiele zur Wärmebrückenberechnung finden sich in der Fachliteratur [11].

Für die Modellierung des Erdreichs gelten auch hier die Bestimmungen zur Anordnung der Schnittebenen im Erdreich nach [4], siehe Tabelle 5.

Zur richtigen Interpretation der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ und korrekten Berechnung der Transmissionswärmeverluste eines Bauwerks muss im Einzelfall sichergestellt sein, dass die Systematik der Bezugsmaße aller Bauteilflächen identisch mit derjenigen ist, die bei der Berechnung der ψ -Werte angesetzt wird. Gerade bei Wärmebrücken bei erdberührten Bauteilen existieren hier verschiedene Systeme bei den vertikalen Flächenbezügen (z. B. nach DIN V 18599, DIN V 4108-6 und Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)).

Beim EnEV-Nachweis mit Bilanzierung nach DIN V 18599 gilt folgende Regelung für die vertikalen Flächenbezüge: Die Außenwand wird stets von Oberkante Rohdecke bis Oberkante Rohdecke des darüber liegenden Stockwerks gemessen. Weder die Bodenplatte noch eine darunter liegende Perimeterdämmung werden in das vertikale Maß einbezogen. Nur im Fall der oberen Geschossdecke wird bis zur Oberkante der obersten thermisch wirksamen Schicht (Wärmedämmung) gemessen.

Wird hingegen eine Berechnung des Gebäudeenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 durchgeführt, wird letztere Regel üblicherweise analog auf den unteren Gebäudeabschluss angewandt: Das vertikale Bauteilmaß wird bis zur Unterkante der Wärmedämmung (oberhalb oder unterhalb der Bodenplatte) angesetzt.

Tabelle 5. Anordnung der Schnittebenen im Erdreich zum Zwecke der Berechnung der Wärmeströme nach [4]

Richtung	Abstand zum zentralen Element (Wärmebrücke)
Horizontaler Abstand zu einer vertikalen Ebene innerhalb des Gebäudes	$0,5 \times \text{Deckenmaß}^1)$
Horizontaler Abstand zu einer vertikalen Ebene außerhalb des Gebäudes	$2,5 \times \text{Deckenbreite}^2) 3)$
Vertikaler Abstand zu einer horizontalen Ebene unter Erdbodenniveau	$2,5 \times \text{Deckenbreite}^2)$
Vertikaler Abstand zu einer horizontalen Ebene unter Fußbodenniveau ⁴⁾	$2,5 \times \text{Deckenbreite}^2)$

1) In einem 3-D-Modell sind die Fußbodenmaße (Länge und Breite) innerhalb des Gebäudes für jede Richtung gesondert zu betrachten.

2) In einem 3-D-Modell ist der Abstand außerhalb des Gebäudes und unterhalb des Erdbodenniveaus auf das kleinere Maß des Fußbodens zu beziehen.

3) Falls vertikale Symmetrieebene, z. B. aufgrund benachbarter Gebäude, bekannt sind, können sie als Schnittebene verwendet werden.

4) Gilt nur, wenn das Niveau des betrachteten Fußbodens mehr als 2 m unter dem Erdbodenniveau liegt.

Die Flächenbezüge für den Nachweis der Gleichwertigkeit nach Beiblatt 2 der DIN 4108 sind den jeweiligen Zeichnungen in Abschnitt 7 des Beiblatts zu entnehmen. So ermittelte ψ -Werte sind nicht für Zwecke der Gebäudebilanzierung geeignet, die Flächenbezüge in diesem Zusammenhang also unerheblich.

4 Anforderungen an den Wärmeschutz erdberührter Bauteile

Erdberührte Bauteile der Gebäudehülle haben innerhalb der beheizten Gebäudezonen gesetzliche und normative Anforderungen an den Mindestwärmeschutz sowie an den energiesparenden Wärmeschutz zu erfüllen, die nachfolgend erläutert werden sollen.

4.1 Mindestwärmeschutz

Abweichend von der aus seiner Bezeichnung abzuleitenden Funktion bezweckt der Mindestwärmeschutz und die sich daraus abgeleiteten Vorgaben bei der Planung und Ausführung von Gebäuden in erster Linie die Sicherstellung von hygienischen Bedingungen im Innenraum und der Bauschadensfreiheit der Konstruktionen.

Teil 2 der DIN 4108-2, derzeit in der Fassung vom Februar 2013 [12], ist eine entsprechend §3 Abs. 3 der Musterbauordnung bzw. der Bauordnungen der Länder eingeführte technische Baubestimmung. Aufgrund dieser bauaufsichtlichen Einführung erhält die nationale Norm ihren Rechtscharakter und Allgemeingültigkeitsanspruch. Die dort festgelegten Anforderungen an den Mindestwärmeschutz müssen an jeder Stelle der betreffenden Bauteile erfüllt sein. Homogene flächige Bauteile (für Skelett-, Rahmen-, oder Ständerbauweisen gelten abweichende Anforderungen), wie sie bei erdberührten Außenwänden (i. d. R. aus Mauerziegeln oder Stahlbeton) oder dem unteren Gebäudeanschluss anzutreffen sind, müssen die in Tabelle 6 zusammengestellten Mindestwerte des Wärmedurchlasswiderstands einhalten:

Die genannten Anforderungen dienen der Einhaltung von Mindesttemperaturen der raumseitigen Bauteiloberflächen, um dort die relative Luftfeuchtigkeit auf einem Niveau unterhalb der Wachstumsbedingungen von Schimmelpilzen sicherzustellen. Diese Temperaturen müssen auch im Bereich von Wärmebrücken eingehalten werden. Dazu sind in [12] zusätzliche Anforderungen definiert.

Da an Bauteile im Bereich unbeheizter Räume keine Anforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand bestehen, ist im Gebäudebestand bei einer Umnutzung der Räume, die mit der Schaffung von Beheizungsmöglichkeiten einhergeht, auf die dann möglicherweise notwendig werdenden Änderungen der Bauteile zu achten, um Bauschäden und Gesundheitsgefahren vorzubeugen. Aufgrund des hohen Aufwands bei späteren energetischen Verbesserungen im Perimeterbereich ist es sinnvoll, bei der Gebäudeplanung die Möglichkeit einer späteren Umnutzung nicht beheizter Kellerräume zu berücksichtigen.

4.2 Energiesparender Wärmeschutz

Die Einführung und fortschreitende Weiterentwicklung der Energieeinsparverordnung (EnEV) [13] durch die Bundesregierung auf Basis des Energieeinsparungsgesetz (EnEG) ist zum einen die direkte Umsetzung der EU-Richtlinie Gebäuderichtlinie (EPBD) aus dem Jahr 2010 [14] und zum anderen ein substantieller Teil des staatlichen Klimaschutzprogrammes, zu dem auch Maßnahmenpakete im Verkehrsbereich, Ausbauprogramme der Kraft-Wärme-Kopplung, diverse Förderprogramme zur Reduktion der CO₂-Emissionen und Steigerung der Energieproduktivität gehören.

Die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz werden innerhalb der EnEV für Neubauten von Wohngebäuden, Neubauten von Nichtwohngebäuden sowie Änderungen an bestehenden Gebäuden separat definiert.

Bauen im Bestand

Sowohl bei Wohn- als auch bei Nichtwohngebäuden im Bestand ist nach Anlage 3 der EnEV bei wesent-

Tabelle 6. Mindestanforderungen an erdberührte Bauteile nach DIN 4108-2 [12]

Bauteil (gegen Erdreich grenzend)	Anforderung an Wärmedurchlasswiderstand R
Wand eines normal beheizbaren Raums ($\vartheta \geq 19^\circ\text{C}$)	$\geq 1,20 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Wand eines niedrig beheizbaren Raums ($12^\circ\text{C} \leq \vartheta < 19^\circ\text{C}$)	$\geq 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Unterer Abschluss bis zu einer Raumtiefe von 5 m eines normal oder niedrig beheizbaren Raumes ($\vartheta \geq 12^\circ\text{C}$)	$\geq 0,90 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Wand oder unterer Abschluss eines nicht beheizbaren Raums ($\vartheta < 12^\circ\text{C}$)	–

lichen Änderungen der Außenbauteile die Einhaltung eines Höchstwerts von $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ des Wärmedurchgangskoeffizienten vorgeschrieben (Anlage 3, Tabelle 1 Zeile 5 in [13]). Hiervon ausgenommen sind Bauteile in Zonen mit Innenraumtemperaturen von unter 19°C . Bei erdberührten Bauteilen ist nach Verordnungstext explizit auch bei einer Erneuerung der Außenbekleidung, bei der Anbringung von Feuchtigkeitssperren, der Ertüchtigung von Drainagen oder Installation von Fußbodenaufbauten auf die Konformität mit dieser Anforderung zu achten.

Die aktuelle Fassung der Energieeinsparverordnung macht an dieser Stelle jedoch eine wesentliche Einschränkung. Die Anforderung gilt lediglich für Bauteile, die vor 1984 errichtet oder erneuert wurden – also vor mehr als 30 Jahren. Für erdberührte Bauteile, die 1984 oder später errichtet oder geändert wurden, gelten im Falle der Sanierung also keinerlei energetischen Anforderungen, die über den Mindestwärmeschutz hinausgehen.

Gerade bei der Bestandssanierung kann es aufgrund der örtlichen Gegebenheiten aus technischen Gründen nicht möglich sein, die sich aus den Anforderungen der EnEV ergebenden Dämmschichtdicken zu realisieren. In diesen Fällen ist darauf zu achten, dass die höchstmögliche Dämmschichtdicke mit Dämmstoffen ausgeführt wird, die einen Bemessungswert von höchstens $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ für die Anwendung im Perimeterbereich aufweisen (Anlage 3, Abschnitt 5, Satz 5 in [13]). Die Wärmedurchgangskoeffizienten der geänderter Bauteile ist nach DIN V 4108-6:2003-06 Anhang E zu bestimmen (Anlage 3, Tabelle 1, Fußnote 1 in [13]). Hierbei wird ein raumseitiger Wärmeübergangswiderstand von $0,17 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ bei horizontalen Bauteil respektive $0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ bei vertikalen Bauteilen angesetzt. Der Wärmeübergangswiderstand vom Bauteil zum Erdreich beträgt $0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ [6].

Neubau von Nichtwohngebäuden

Die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz der EnEV 2014 sind bei Neubauten durch eine energetische Gebäudebilanzierung nachzuweisen. Hierzu wird weitgehend an das Verfahren der Normenreihe DIN V 18599 angelehnt.

Tabelle 2 in Anlage 2 der EnEV legt Höchstwerte des flächenanteiligen Mittelwerts des Wärmedurchgangs-

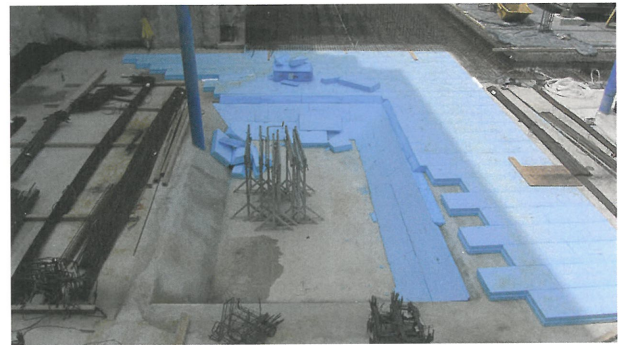


Bild 2. Bodendämmung mit XPS-Platten bei einer komplizierten Bodenform und unterschiedlichem Bodenniveau, München Seitzstraße (Foto: FIW München)

koeffizienten bestimmter Bauteilen von Nichtwohngebäuden fest. Der derzeit einzuhaltende maximale Mittelwert für opake Bauteile liegt bei $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Bei der flächenanteiligen Mittelung wird getrennt nach dem jeweiligen Heizfall vorgegangen. Zudem werden Bauteilflächen die an Erdreich grenzen mit einem Faktor von 50 % (also einem Temperatur-Korrekturfaktor von 0,50) gewichtet. Die Fläche der Bodenplatte geht nur bis 5 m Raumtiefe vom äußeren Gebäuderand in die Berechnung ein. Die Wärmedurchgangskoeffizienten erdberührter Bauteile werden auch hier nach Anhang E der DIN V 4108-6:2003-06 ermittelt (Anlage 2, Abschnitt 2.3 in [13]).

In Bild 2 ist zu sehen, wie kompliziert heute die Bodenplatte eines Bürogebäudes mit Technikräumen und Tiefgarage aussehen kann. Zusätzlich erschwert wird beim Bauen in Innenstadtlagen das Bauen mit geringen Abstandsflächen zum Nachbargrundstück und im Grundwasser, was meist die Verwendung von Spundwänden notwendig macht (siehe Bild 3).

Neubau von Wohngebäuden

Wohngebäude sind von der eben genannten bauteilspezifischen Anforderung nicht betroffen. Es gilt dennoch die Höchstwerte des Jahres-Primärenergiebedarfs einzuhalten. Um der Ausführung des Referenzgebäudes der Energieeinsparverordnung in Anlage 1 mit einem Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwände und Bodenplatte gegen Erdreich von $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zu entsprechen, sind in den meisten Fällen Dämmstärken von 140 mm ausreichend.

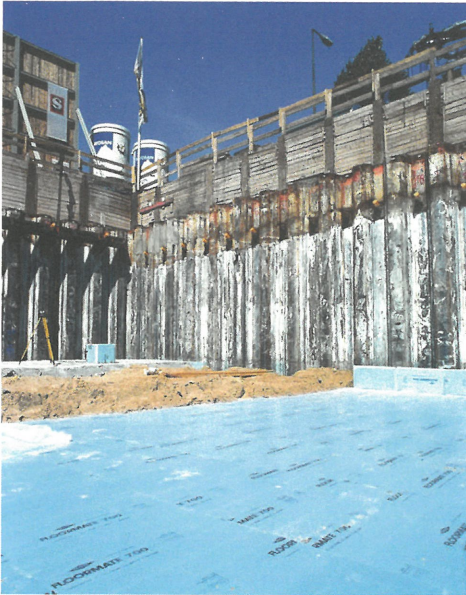


Bild 3. Bodenplattendämmung des Hotel Adlon in Berlin als Beispiel für das Bauen in Innenstadtlage mit Spundwänden (Foto: DOW Deutschland)



Bild 4. Perimeterdämmung mit abgedichteten Fugen und seitlichen Rändern (Foto: JACKON Insulation GmbH)

Der Nachweis zur Konformität mit der Energieeinsparverordnung kann bei Wohngebäuden nach dem Monatsbilanzverfahren der DIN V 4108-6 durchgeführt werden. Danach sind die Berechnungen der Transmissionswärmeverluste durch erdberührte Bauteile im vereinfachten Verfahren anhand von Temperatur-Korrekturverfahren durchzuführen.

5 Beanspruchungen

Damit die im Erdreich eingesetzten Dämmmaterialien langfristig funktionsfähig bleiben, sind die dortigen Belastungssituationen zu beachten und die eingesetzten Materialien wie Konstruktionen darauf abzustimmen. Erdberührte Bauteile sind verschiedenen Arten von Beanspruchungen ausgesetzt. Dazu gehören in erster Linie Feuchtigkeits- bzw. Wasserbeanspruchungen (Bild 5) bis hin zu hydrostatischen Druckbe-

lastungen, allgemeine Druckbelastung durch das Erdreich und umliegende Gebäude sowie Temperatur- und Frostbeanspruchung [15].

Bei Beanspruchungen durch Feuchtigkeit muss je nach Lastfall eine passende Abdichtung des Gebäudes die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicherstellen. Die Anforderungen an die Abdichtung der erdberührten Bauteile richten sich nach der Durchlässigkeit des umgebenden Erdreichs für Wasser (durch den Durchlässigkeitsbeiwert k nach [17] charakterisiert) sowie Geländeform und der Grundwasserstand am Standort des Gebäudes. Für erdberührte Wände und Bodenplatten sind die jeweils einschlägigen geltenden Richtlinien an die Ausführung der Abdichtung in Tabelle 7 nach DIN 18533-1 [18] zusammengestellt. Die neue Normenreihe DIN 18533 ersetzte 2017 die bisherigen Regelungen zur Abdichtung erdberührter Bauteile gegen Wasser ohne Übergangsfrist. Damit sind diese unmittelbar anzuwenden und bei der Planung entsprechend zu berücksichtigen.

5.1 Feuchtelasten durch Diffusion

Wasserdampf, der vom Innenraum her durch das Bauteil oder von der Abdichtung der Außenwand in die Wärmedämmung aufgrund des Wasserdampf Partialdruckgefälles diffundiert, kann sich in Folge über längere Zeiträume in kälteren Bereichen der Dämmschicht durch Kondensation anreichern. Die vorhandene Feuchtigkeit verringert die Wärmedämmwirkung und ist daher langfristig auf einem niedrigen Niveau zu halten. Die Wasseraufnahme durch Diffusion wird daher nach DIN EN 12088 bestimmt und das Dämmmaterial klassifiziert. Ausgenommen davon ist die erwiesenermaßen weitgehend diffusionsdichte Dämmung aus Schaumglas.

Da an die feuchtetechnischen Eigenschaften der Dämmstoffe für die Anwendung im Perimeterbereich entsprechende Anforderungen gestellt sind, ist bei fachgerechter Ausführung kein Tauwasserausfall in der Dämmung zu erwarten. So ist für Kelleraußenwände aus Mauerwerk nach DIN 1053-1 oder Beton nach DIN 1045-2 kein rechnerischer Nachweis nach DIN 4108-3 (Tauwasserausfall durch Diffusion) zu führen.

5.2 Sickerndes Wasser und Bodenfeuchte

Wasser, das in entsprechend durchlässigem Erdreich versickert, kann an den Bauteilaußenflächen abfließen bevor sich stehende Wasserschichten an den Bauteilen bilden. Daher geht mit der Feuchtebelastung von sickerndem Wasser keine hydrostatische Druckbelastung einher. Zur Bestimmung dieses Lastfalls hat sich ein Grenzwert des Durchlässigkeitsbeiwert $k > 10^{-4}$ m/s bewährt. Bei geringerer Durchlässigkeit des Erdreichs kann dieser Lastfall nur in Kombination mit einer ausreichenden Dränung erreicht werden. Zur Planung, Bemessung und Ausführung einer Dränanlage, siehe [19].

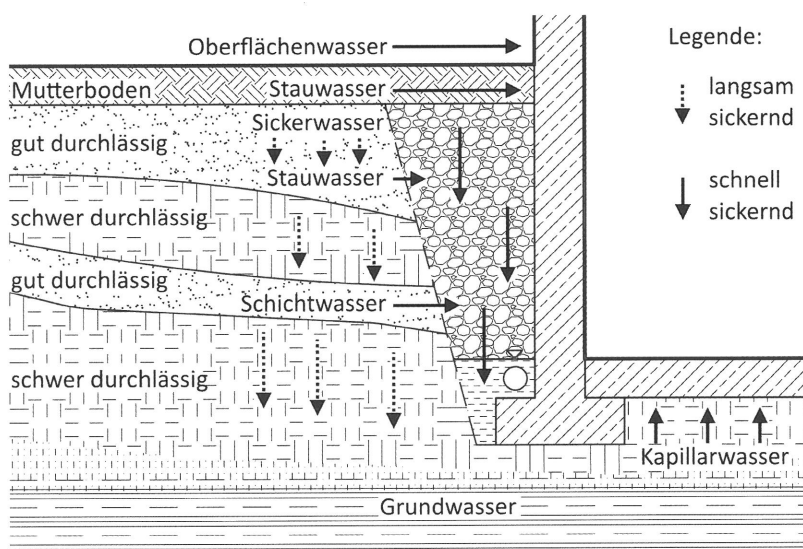


Bild 5. Arten der Wasserbelastung an einem erdberührten Bauwerk (Autor nach [16])

Tabelle 7. Anforderungen an die Ausführung der Abdichtung für erdberührte Wände und Bodenplatten nach Art der Einwirkung

Art der Einwirkung	Abdichtung nach
Bodenfeuchte und nichtdrückendes Wasser	DIN 18533-1:2017-07, Abschnitt 8.5
Bodenfeuchte und nichtdrückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden	DIN 18533-1:2017-07, Abschnitt 8.5.1
Bodenfeuchte und nichtdrückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden mit Dränung	DIN 18533-1:2017-07, Abschnitt 8.5.1
Drückendes Wasser	DIN 18533-1:2017-07, Abschnitt 8.6
Mäßige Einwirkung von drückendem Wasser ≤ 3 m	DIN 18533-1:2017-07, Abschnitt 8.6.1
Hohe Einwirkung von drückendem Wasser > 3 m	DIN 18533-1:2017-07, Abschnitt 8.6.2

5.3 Drückendes Wasser und Schichtenwasser

Besonders hohe Beanspruchungen für die erdberührten Bauteile kann der Lastfall durch Schichtenwasser darstellen, da durch die Aufstauung an wasserundurchlässigen Bodenschichten große hygrostatische Drücke auch über längere Zeiträume wirken können [20].

Liegt die Konstruktion unterhalb des Bemessungsstandes des Grundwassers, liegt entsprechend der Schwankungen des Grundwasserspiegels an der Konstruktion zeitweilig ebenfalls drückendes Wasser an.

Die Dämmstoffe müssen entsprechend eine geringe Wasseraufnahme aufweisen. Die Dämmstoffe durchlaufen dazu beispielsweise die Prüfung der Wasseraufnahme bei langfristigem vollständigem Eintauchen nach DIN EN 12087 [21].

Hohe Feuchtegehalte stellen zudem ein Risiko für die Dauerhaftigkeit des Dämmmaterials dar, da Frostergebnisse die Struktur der Dämmung und damit auch die mechanische Belastbarkeit schädigen können. Daher ist für exponierte Perimeterdämmstoffe der Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchungen nach [22] zu prüfen.

Zur Bestimmung des Bemessungsgrundwasserstandes am jeweiligen Standort sei auf das Merkblatt Nr. 8 des BWK [23] verwiesen.

5.4 Erd- und Wasserdruck

Der auf die Bauteile wirkende Druck durch das Erdreich hängt von der Bodenbeschaffenheit und Geländeform ab und steigt mit der Einbautiefe an. Zusätzlich zum Eigengewicht des Erdreichs sind Druckkräfte durch umgebende Gebäude oder Nutzlasten im Umfeld zu berücksichtigen. Für den Erdruchdruck in Abhängigkeit der Einbautiefe kann als Faustformel ein Anstieg von $10\text{--}12\text{ kN/m}^2$ pro Meter angenommen werden [15]. In Bereichen mit drückendem Wasser nimmt der zusätzlich wirkende Wasserdruck ebenfalls um etwa 10 kN/m^2 pro Meter zu. Der tatsächlich auf das Bauteil wirkende Druck ist jedoch von verschiedenen Faktoren wie dem resultierenden Verformungsverhalten der Konstruktion abhängig und kann im Rahmen der Bemessung nach den Nachweisverfahren der Eurocodes (z. B. DIN EN 1996-1-1 bzw. DIN EN 1996-3/NA für Wände aus Mauerwerk oder DIN EN 1992-1-1 für Wände aus Stahlbeton) ermittelt werden.

Die im Erdreich eingesetzten Dämmstoffe werden aufgrund der hohen Druckbelastungen nach DIN EN 826 [24] auf ihr Verhalten unter Druckbeanspruchung hin untersucht. An die Dämmstoffe werden anwendungs- sowie stoffspezifische Anforderungen an die Druckfestigkeit gestellt (siehe Abschnitt 6.1).

Gerade in der Anwendung unter der Bodenplatte ist das langzeitige Verformungsverhalten der Dämmstoffe unter Druckbeanspruchung zu beachten. Zur Ermittlung des Kriechverhaltens unter Last über die gesamte Nutzungsdauer (Bemessungszeitraum üblicherweise 50 Jahre) hat sich das Extrapolationsmodell nach *W. N. Findley* [25] bewährt, das auch bei der für Perimeterdämmstoffe mit hoher Druckbelastung notwendigen Prüfung nach DIN EN 1606 [26] angewendet wird.

5.5 Chemische Beanspruchungen

XPS-, EPS- sowie Schaumglas-Dämmstoffe sind gegen eine Vielzahl von Säuren, Laugen und Salzlösungen beständig. Nichtbeständig sind EPS- und XPS-Dämmstoffe gegen Kohlenwasserstoffe, Lösungsmittel wie Ketone, Ester, Amine, Farben, Lacke, Benzin und Heizöl. Gegen die üblichen Baustoffe wie Zement, Beton, Mörtel, Gips, Kalk, Anhydrit, Bitumen, Bitumenspachtel, PU-Montageschaum sind XPS- und EPS-Dämmstoffe dagegen uneingeschränkt beständig. In Tabelle 8 sind einige Substanzen zusammengestellt [15, 27] die für die Anwendung von XPS- und EPS- Dämmstoffen in der Perimeterdämmung von Interesse sind.

Schaumglas- Dämmstoffe zeigen eine gute Beständigkeit gegen Säuren (Ausnahme Fluorwasserstoffsäure) und organische Lösungsmittel. Die Laugenbeständigkeit hängt dagegen von Konzentration und Temperatur ab [28]. Langzeituntersuchungen an ausgeführten Praxisobjekten zeigen wie in Bild 6, dass auch nach 29 Jahren Einsatz als Perimeterdämmung der Dämmstoff voll funktionsfähig ist und kaum äußere Beschädigungen aufweist.

Auf europäischer Normungsebene liegt der Entwurf CEN/TS 16637-2 [29] eines Prüfverfahrens zur Auswaschung von Substanzen aus Baustoffen vor, die in Kontakt mit dem Boden und/oder dem (Grund-) Was-

Tabelle 8. Beständigkeit von Dämmstoffen aus Polystyrol nach [15]

Stoff/Substanz	Beständigkeit
Wasser, Meerwasser, Salzlösungen	beständig
Kalk, Anhydrit, Kalkwasser	beständig
Beton, Zement, Mörtel	beständig
Huminsäure, Kohlensäure/Trockeneis, Milchsäure, Zitronensäure	beständig
Gülle, Bioabfälle	beständig
Bitumen, Bitumenspachtel	beständig
Benzin, Heizöl	nicht beständig
Aceton	nicht beständig
Lackverdünner	nicht beständig



Bild 6. Ausbau einer Kellerwanddämmung aus XPS nach 29 Jahren Einbauzeit aus einem Privathaus in Ladenburg (Foto: FIW München)

ser kommen. Rundversuche zu diesem Prüfverfahren müssen noch durchgeführt werden und die Klassifizierung der Ergebnisse dürfte noch einige Zeit in Anspruch nehmen.

5.6 Biologische Beanspruchungen

Polystyrol-Hartschaum wie auch Schaumglas-Dämmstoffe bilden keinen Nährboden für Mikroorganismen und verrotten deshalb nicht. Nagetieren und anderem Ungeziefer können sie nicht als Nahrung dienen. Diese können aber darin nisten. Da die Perimeterdämmung in der Praxis durch eine Dränung, anstehendem Kies oder bindigem Boden oder einer Bitumenbeschichtung geschützt ist, kommt das praktisch nicht vor. Untersuchungen zur Wurzelfestigkeit ergaben, dass Lupinen und andere Pflanzen mit aggressivem Wurzelverhalten die Dämmplatten nicht schädigen [30, 31]. Langzeituntersuchungen durch das FIW München, aber auch Prof. *Günther Zimmermann* [32] und *Klaus Hafer* [33] zeigen, dass Perimeter-Dämmplatten nach langjährigem Einsatz als Perimeterdämmung nicht durch Wurzeln, Ungeziefer oder Nagetiere beschädigt wurden (siehe auch Bild 6).

6 Wärmedämmstoffe im Perimeterbereich

Gängige Dämmstoffe im Perimeterbereich sind in der Regel extrudierte Polystyrol-Dämmstoffe (XPS) und das diffusionsdichte Schaumglas (CG). Zudem sind Dämmstoffe aus EPS oder PU im Perimeterbereich einsetzbar, sofern sie in Deutschland mit einer bauaufsichtlichen Zulassung geregelt sind. Anforderungen und geltende Regelungen für Dämmstoffe im Perimeterbereich sollen nachfolgend vorgestellt werden.

6.1 Anforderungen an Dämmstoffe für die Perimeterdämmung

Um die in den Abschnitten Mindestwärmeschutz und energiesparender Wärmeschutz beschriebenen Anforderungen langfristig einhalten zu können, bedarf es der Auswahl des passenden Dämmstoffs, der die spezifischen Anforderungen an die Wärmedämmung im Erdreich erfüllt. Besonderes Augenmerk ist dabei auf die langzeitige Wasseraufnahme durch Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bzw. durch drückendes Wasser wie Schichtenwasser oder Grundwasser zu richten. Bei der Berechnung der Dämmschichtdicken und des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit ist zu berücksichtigen, dass die Wärmedämmung im Erdreich für Zeiträume von 50 bis 100 Jahre [34] ausgelegt (bemessen) werden sollten, da ein Austausch oder eine Erneuerung während der Lebenszeit eines Gebäudes gar nicht oder nur unter sehr hohem Aufwand möglich ist.

6.2 Regelungen in den Dämmstoffnormen

Für die üblichen, in Herstellwerken und nicht auf der Baustelle hergestellten Wärmedämmstoffe gelten die harmonisierten Europäischen Produktnormen EN 13162 bis EN 13171. Mit dem CE-Zeichen auf dem Etikett und der Leistungserklärung (DoP) nach der BauPVO [35] erklärt der Hersteller, dass das Produkt den im Bezeichnungsschlüssel und auf dem Etikett angegebenen Leistungsstufen entspricht. Eine Fremdüberwachung der Leistungserklärung durch eine unabhängige, bauaufsichtlich anerkannte Stelle ist nach BauPVO im System 3 nicht vorgesehen [35]. Mit dem CE-Zeichen und der DoP kann der Dämmstoff europaweit, grenzüberschreitend gehandelt und in Verkehr gebracht werden.

Im Bezeichnungsschlüssel und der Angabe des Nennwerts der Wärmeleitfähigkeit/des Wärmedurchlasswiderstands sowie der Brandklasse auf dem Etikett (Bild 7) gibt der Hersteller nach seiner Einschätzung alle für die Anwendung eines Wärmedämmstoffs wichtigen Eigenschaften an. In Tabelle 9 sind die wichtigsten Eigenschaften eines Dämmstoffs auf dem Etikett aufgelistet.

Der Bezeichnungsschlüssel muss neben der Bezeichnung des Dämmstoffs und der Nummer der Produktnorm mindestens eine Leistungsstufe aufweisen: z. B. die Dickentoleranz T1. Wenn der Hersteller der Meinung ist, dass sein Produkt für die Anwendung im Erdreich geeignet ist, wird er weitere Angaben zur Dimensionsstabilität, zum Druckverhalten, zum Kriechverhalten, zur langzeitigen Wasseraufnahme und evtl. zur Beständigkeit gegen Frost-Tauwechselbeanspruchung im Bezeichnungsschlüssel angeben. Der Bezeichnungsschlüssel für ein XPS-Produkt, das für den Wärmeschutz im Erdreich geeignet ist, könnte folgendermaßen aussehen: XPS-EN13164-T1-DS(70,90)-CS(10\Y)300-CC(2/1.5/50)-130-WL(T)0,7-WD(V)3-FTCD1. Die Bezeichnungen im Einzelnen lauten:

- DS(70,90): Dimensionsstabilität bei 70 °C und 90 % Luftfeuchte,
- CS(10\Y)300: Stufe für die Druckspannung bei 10 % Stauchung oder Druckfestigkeit bei Y % Stauchung, jeder Wert muss mindestens 300 kPa oder höher sein,
- CC(2/1.5/50)130: Stufe für das Kriechverhalten bei dauernder Belastung des Dämmstoffs unter einer Last von 130 kPa. Die gesamte Dickenänderung nach 50 Jahren muss kleiner 2 % und die Kriechverformung kleiner 1,5 % betragen,

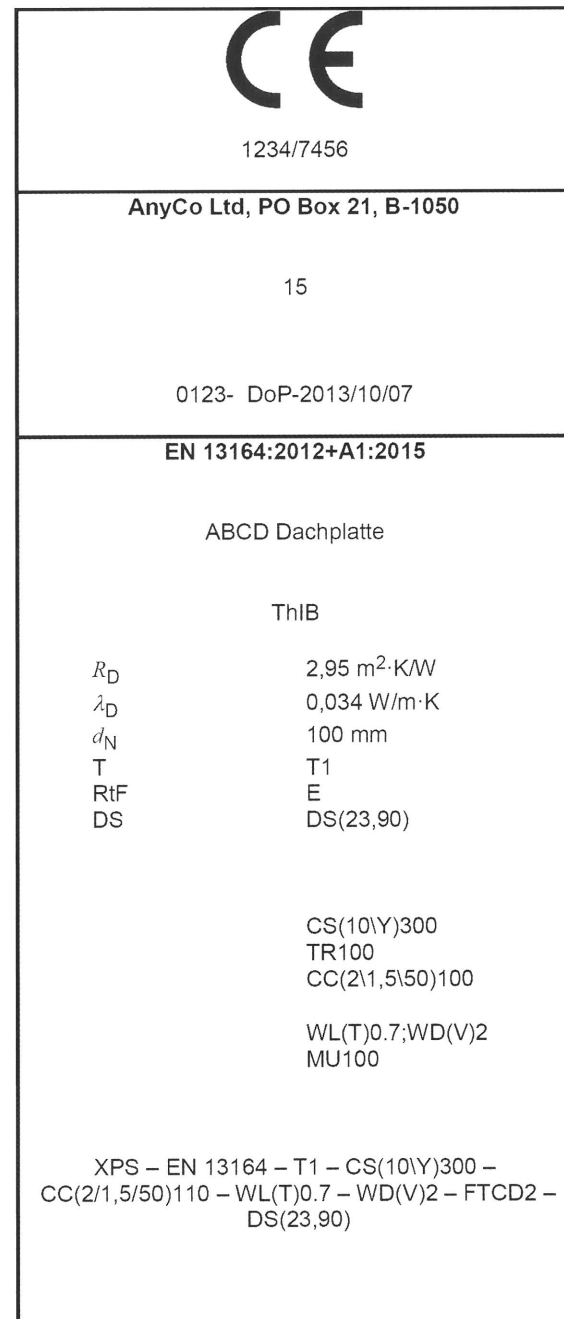


Bild 7. Beispiel einer CE-Kennzeichnung nach Anhang ZA der DIN EN 13164

WL(T)0.7:	Stufe der Wasseraufnahme bei langzeitigem, vollständigen Eintauchen, max. 0,7 Vol.%,
WD(V)3:	Stufe der max. Wasseraufnahme von 3 Vol.% im Diffusionsversuch,
FTCD1:	Stufe der Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechselbeanspruchung nach vorherigem Diffusionsversuch. Die Wasseraufnahme darf um nicht mehr als 1 Vol.-% erhöht sein, die Druckfestigkeit darf nicht mehr als 10% unter dem Anfangswert vor Beanspruchung liegen.

(CG). Die Perimeterdämmung mit Beanspruchung durch Erdfeuchte ist für XPS und Schaumglas durch die Norm DIN 4108-2 abgedeckt. Die Anwendung im drückenden Wasser (Grund- und Schichtenwasser) ist dagegen durch die Norm nicht abgedeckt. Für die Anwendung im drückenden Wasser kann der bauaufsichtliche Brauchbarkeitsnachweis im Rahmen einer bauaufsichtlichen Zulassung (in Zukunft einer Bauartgenehmigung) geführt werden. Die Mindestanforderungen an XPS- und Schaumglas-Dämmstoffe für die Anwendung in der Perimeterdämmung im erdfeuchten Bereich sind in DIN 4108-10 [36] Tabelle 5 und Tabelle 8 aufgeführt, insbesondere hinsichtlich mechanischer und feuchtetechnischer Beanspruchung (siehe Tabellen 10 und 11).

6.3 Regelungen in den deutschen Anwendungsnormen für XPS- und Schaumglas-Dämmstoffe

Um die in den Europäischen Produktnormen (EN-Normen) geregelten Dämmstoffe in Deutschland anwenden zu können, muss der Planer oder Bauunternehmer zusätzlich die Regelungen in den deutschen Anwendungsnormen beachten.

In DIN 4108-2 [12] ist geregelt, dass bei der Berechnung des Wärmedurchlasswiderstands in der Regel nur die Schichten raumseitig zur Bauwerksabdichtung berücksichtigt werden dürfen. Davon ausgenommen sind Wärmedämmschichten aus extrudiertem Polystyrol-Hartschaum (XPS) und Schaumglas

6.4 Sonstige Dämmstoffe für die Perimeterdämmung

Neben den in DIN 4108-10 für die Perimeterdämmung genormten Wärmedämmstoffe werden für die Perimeterdämmung in größerem Umfang auch EPS-Dämmstoffe und in geringen Mengen auch PU-Dämmstoffe eingesetzt. Da diese Dämmstoffe in DIN 4108-10 für die Anwendung Perimeterdämmung nicht genormt sind, benötigen diese Dämmstoffe für die Anwendung in der Perimeterdämmung in Deutschland bisher eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt in Berlin und in Zukunft eine sogenannte Bauartgeneh-

Tabelle 9. Eigenschaften nach den harmonisierten Europäischen Produktnormen

Eigenschaft	Kennzeichen nach Produktnorm
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit	λ_D
Nennwert des Wärmedurchlasswiderstandes	R_D
Brandverhalten (Euroklassen)	A–E
Druckspannung bei 10 % Stauchung oder Druckfestigkeit	CS(10Y)x
Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	TRx
Kriechverhalten	CC($i_1/i_2/y$) σ_c
Wasseraufnahme im Diffusionsversuch	WD(V)x
Wasseraufnahme bei kurzzeitigem teilweisen Eintauchen	WSx
Wasseraufnahme bei langzeitigem teilweisen Eintauchen	WL(P)x
Wasseraufnahme bei langzeitigem vollständigem Eintauchen	WL(T)x
Frost-Tau-Wechselbeständigkeit	FT1, FT2
Wasserdampfdiffusion	MU x
Dimensionsstabilität im Normalklima	DS(N)x
Diffusionsstabilität bei definierter Temperatur- und Feuchtebelastung	DS(TH)x
Verformungsverhalten bei definierter Temperatur- und Feuchtebeanspruchung	DLT(i) x
Biegesteifigkeit	BSx
Grenzmaße der Dicke	T

Tabelle 10. Mindestanforderungen an XPS-Dämmstoffe nach DIN EN 13164 für die Perimeterdämmung (Auszug aus Tabelle 5 in DIN 4108-10 [36])

Kurzeichner		Bezeichnungsschlüssel				
		Grenzabmaße für die Dicke	Druckspannung oder Druckfestigkeit	Langzeit-Kriechverhalten bei Druckbeanspruchung	Langzeitige Wasseraufnahme durch Diffusion	Widerstand gegen Frost-Tau-Wechselbeanspruchung nach Prüfung der Wasseraufnahme durch Diffusion
		T _i	CS(10\Y)	CC(i ₁ /i ₂ /y)σ _c	WD(V)i	FTCDi
PW	dh	T1	CS(10\Y)300	–	WD(V) 3	FTCD 2
	ds	T1	CS(10\Y)500	CC(2/1,5/50)150	WD(V) 3	FTCD 2
	dx	T1	CS(10\Y)700	CC(2/1,5/50)200	WD(V) 3	FTCD 2
PB	dh	T1	CS(10\Y)300	–	WD(V) 3	FTCD 2
	ds	T1	CS(10\Y)500	CC(2/1,5/50)150	WD(V) 3	FTCD 2
	dx	T1	CS(10\Y)700	CC(2/1,5/50)200	WD(V) 3	FTCD 2

Tabelle 11. Mindestanforderungen an Schaumglas-Dämmstoffe für die Perimeterdämmung (Auszug aus Tabelle 8 in DIN 4108-10 [36])

Kurzeichner		Bezeichnungsschlüssel			
		Verformung unter Punktlast	Dimensionsstabilität bei definierten Temperaturen	Dimensionsstabilität bei definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen	Druckfestigkeit
		PL(P)i	DS(T+)	DS (TH)	CS(Y)i
PW	dh	PL(P)1,5	DS(70,-)	DS(70,90)	CS(Y)500
	ds	PL(P)1,5	DS(70,-)	DS(70,90)	CS(Y)600
	dx	PL(P)1,5	DS(70,-)	DS(70,90)	CS(Y)700
PB	dh	PL(P)1,5	DS(70,-)	DS(70,90)	CS(Y)500
	ds	PL(P)1,5	DS(70,-)	DS(70,90)	CS(Y)600
	dx	PL(P)1,0	DS(70,-)	DS(70,90)	CS(Y)700

Kurzeichner		Bezeichnungsschlüssel				
		Biegefestigkeit	Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene	Kriechverhalten	Wasseraufnahme bei kurzzeitigem Eintauchen	Wasseraufnahme bei langfristigem teilweisem Eintauchen
		BS _i	TRi	CC(i ₁ /i ₂ /y)σ _c	WS	WL(P)
PW	dh	BS 300	TR150	CC(2/1,5/50)200	WS	WL(P)
	ds	BS 400	TR150	CC(2/1,5/50)200	WS	WL(P)
	dx	BS 450	TR150	CC(2/1,5/50)300	WS	WL(P)
PB	dh	BS 300	TR150	CC(2/1,5/50)200	WS	WL(P)
	ds	BS 400	TR150	CC(2/1,5/50)200	WS	WL(P)
	dx	BS 450	TR150	CC(2/1,5/50)300	WS	WL(P)

migung des DIBt. Für PU-Dämmstoffe gibt es derzeit noch eine bauaufsichtliche Zulassung. Nach derzeitigem Kenntnisstand wurden aber nur einzelne Bauwerke im Bereich des Sockels oder der Kelleraußenwand damit gedämmt.

EPS-Dämmstoffe: Die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für EPS-Dämmstoffe haben sich in den letzten Jahren sehr stark geändert. Zum einen wurde der vorher nicht eindeutig geregelte Sockel mit einem eigenen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit und



Bild 8. Anbringung von EPS als Perimeterdämmung
(Foto: FIW München)

einem Zuschlag von 5% zum Grenzwert der Wärmeleitfähigkeit in die Zulassung mit aufgenommen. Weiterhin wurde der ΔU -Zuschlag aus den Zulassungen entfernt und beim Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit additiv berücksichtigt. Das entsprach einem vielfachen Wunsch der Hersteller und ist für den Planer deutlich leichter zu handhaben. Weiterhin regeln die Zulassungen neben dem Einsatzbereich auch die Anforderungen, den Einbau, die Befestigung, die Baugrubenverfüllung und die Anschlüsse im Sockelbereich. Nach den Zulassungen dürfen Perimeter-Dämmplatten aus EPS nur im Bereich von Bodenfeuchte und nicht stauendem Sickerwasser sowie in der Sockeldämmung im Anschluss an Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) bis zu einer max. Einbautiefe von 3 Metern ins Erdreich eingesetzt werden (Bild 8). In einigen Zulassungen sind auch 6 Meter Einbautiefe möglich, bei erhöhter Rohdichte und Druckspannung. EPS-Perimeter-Dämmplatten dürfen nicht im Kapillarsaum des Grundwassers (30 cm über HGW) oder im drückenden Wasser eingesetzt werden. Bei bindigen Böden muss eine Dränung nach DIN 4095 [19] vorgesehen werden. Bei lotrechten Verkehrslasten von mehr als 5 kN/m^2 ist ein Abstand von mindestens 3 Metern einzuhalten. Dieser Mindestabstand kann bei Zulassungen für EPS-Dämmstoffe bis 6 Meter Einbautiefe entfallen [37]. In Tabelle 12 sind die wichtigsten Anforderungen an EPS-Dämmstoffe in der Perimeterdämmung sowie die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit nach den Zulassungen zusammengestellt. Es fällt auf, dass je nach Hersteller und Produkt die maximalen Wasseraufnahmen im Diffusionsversuch und Frost-Tauwechselversuch unterschiedlich sind und die unterschiedliche Wasseraufnahme in den Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit im Erdreich mit Zuschlägen von 4 bzw. 6 $\text{mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$ berücksichtigt wurde. Hier ist wiederum der Planer gefordert, die richtigen Bemessungswerte bei den energetischen Nachweisen zu verwenden und den dazu passenden Dämmstoff auszuwählen. Weiterhin fällt auf, dass die Zulassungen Min-

destwerte für die Rohdichte vorsehen, was in den Europäischen Dämmstoffnormen praktisch nicht vorkommt. Die EPS-Dämmstoffe werden hinsichtlich des Brandverhaltens in der deutschen Baustoffklasse DIN 4102:B1 oder der Europäischen Klasse E nach EN 13501-1 angeboten.

6.5 Dämmstoffe für die Anwendung im drückenden Wasser

Dämmstoffe im drückenden Wasser müssen sehr hohen Anforderungen an die Druckfestigkeit, an die dauerhaft niedrige Wasseraufnahme und eventuell an das Kriechverhalten genügen. Die Ursache dafür sind die dauerhaft einwirkenden statischen Drücke des Wassers in Ausprägung von Hang-, Schichten- oder Grundwasser und dem gleichzeitig auftretenden und mit der Tiefe zunehmendem Erddruck. Zur Anwendung im drückenden Wasser gehört auch der Kapillarsaum des Grundwassers. Langzeiterfahrungen gibt es nur zu den Dämmstoffen XPS und Schaumglas (CG) in diesem Anwendungsgebiet. Deshalb wurden auch nur für diese beiden Dämmstoffe allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für den Einbau im drückenden Wasser ausgestellt.

Bei der Verlegung der Dämmplatten im drückenden Wasser ist zu bedenken, dass diese vollflächig mit der Wand zu verkleben sind und die seitlichen Plattenränder ebenfalls vollflächig mit einem geeigneten Kleber oder einer Dichtungsmasse verspachtelt werden müssen, um ein Hinterlaufen der Dämmschicht zu verhindern (Bilder 4, 9 und 10). Die Platten sind gegen Auftrieb zu sichern. Auftriebskräfte dürfen nicht über die Verklebung/Abdichtung in das Gebäude eingeleitet werden.

Alle Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen müssen unbedingt eingehalten werden. In Tabelle 13 sind die Anforderungen aus den Zulassungen mit den max. Eintauchtiefen ins Grundwasser und den Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit zusammengestellt.



Bild 9. Vollflächiges Aufbringen des Klebers auf eine XPS-Platte (Foto: BASF SE)

Tabelle 12. Anforderungen und Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit für Perimeter-Dämmstoffe aus EPS

Bezeichnung	Dicke mm	Rohdichte $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Biegefestigkeit kPa	Druckspannung kPa	Wasseraufnahme WL(T) Vol. %	Wasseraufnahme WD(V) Vol. %	Wasseraufnahme FTCD Vol. %	λ_{grenz} $\frac{\text{mW}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$\lambda_{\text{Bem.}}$ Erdreich $\frac{\text{mW}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	$\lambda_{\text{Bem.}}$ Sockel $\frac{\text{mW}}{\text{m}\cdot\text{K}}$
Blockware IR-abs. grau	50–300	27–35	≥ 200	≥ 150	≤ 3	≤ 5	≤ 10	30,5	36	32
Blockware weiß	60–400	28–35	≥ 200	≥ 150	≤ 5	≤ 10	≤ 15	33,8	41	35
Automatenware weiß 3 m	50–360	27–35	≥ 200	≥ 150	$\leq 3 \leq 5$	≤ 10	≤ 15	33,8	41	35
Automatenware weiß 3 m	50–300	27–30	≥ 200	≥ 150	≤ 3	≤ 5	≤ 10	33,8	39	35
Automatenware weiß 6 m	40–200	35–45	350–525	250–350	≤ 3	≤ 5	≤ 10	33,8	39	35

Tabelle 13. Anforderungen, maximale Eintauchtiefe und Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit an Wärmedämmstoffen im drückenden Wasser

Bezeichnung	Druckspannung kPa	Wasseraufnahme nach langzeitiger Unterwasserlagerung –	Wasseraufnahme im Diffusionsversuch WD(V) Vol. %	Wasseraufnahme im Frost-Tau-Wechselversuch Vol. %	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Bem.}}$ $\frac{\text{mW}}{\text{m}\cdot\text{K}}$	Eintauchtiefe ins Grundwasser m
XPS	300–700	$\leq 0,5$ Vol. %	≤ 3	≤ 1	35–41 ³⁾	$\leq 3,5$ –7
Schaumglas (CG)	500–1000	$\leq 0,5$ kg/m ²	1)	2)	42–52	≤ 12

1) Keine Anforderung, da praktisch diffusionsdicht.

2) Keine Anforderung, da der Dämmstoff nicht ungeschützt dem Frost-Tau-Wechsel ausgesetzt sein darf.

3) Bei mehrlagiger Verlegung.

**Bild 10.** Vollflächige Verklebung von Schaumglas-Platten an der Kelleraußenwand für die Anwendung im drückenden Wasser (Foto: Deutsche FOAMGLAS GmbH)

7 Anwendungsbereiche und Ausführungen

Da gerade bei der Perimeterdämmung vielfach Dämmstoffe auf Basis von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen eingesetzt werden, ist bei der Planung und Ausführung besonders darauf zu achten, dass die darin formulierten Vorgaben berücksichtigt werden.

7.1 Der Sockelanschluss

Im Sockelbereich wird zur Herstellung eines Anschlusses mit geringer Wärmebrückenwirkung die Perimeterdämmung bis zur Außendämmung der Wand nach oben geführt (Bild 11). Um während der Bauphase die Sicherheit gegen Abrutschen der Dämmung zu erhöhen, können die Perimeterdämmplatten dabei im Bereich oberhalb der Abdichtungsebene mit je zwei oder mehr Befestigern verdübelt werden.



Bild 11. Wärmedämmung eines Sockels vor dem Anbringen des WDV-Systems (Foto: BASF SE)

Bei einem niedrigen Abschluss der Wärmedämmschicht nahe der Geländeoberkante ist durch eine geeignete Abdichtung sicherzustellen, dass diese nicht von Oberflächenwasser hinterlaufen werden kann. In jedem Fall soll die Abdichtungsebene hinter der Perimeterdämmung im Bauzustand mindestens 30 cm über die Geländeoberkante geführt werden.

Im Sockelbereich sind Perimeterdämmstoffe auf Polymerbasis, die über die Geländeoberkante hinaus angebracht werden, z. B. durch ein mit dem Dämmstoff kompatibles Putzsystem, vor UV-Strahlung zu schützen.

7.2 Außenwand im Erdreich

Plattenförmige Perimeterdämmstoffe sind gemäß den Hersteller- und Zulassungsvorgaben zu montieren. Übliche Vorgaben sind nachfolgend zusammengefasst: Vor der Anbringung der Dämmplatten auf bereits abgedichtete Flächen ist besonders bei spröden und harten Dämmmaterialien die Ebenmäßigkeit des Untergrundes sicherzustellen. Je nach Untergrund kann hier ein Ausgleichsputz vor Anbringung der Abdichtung notwendig sein. Die Platten sollen in einem versetzten Verband montiert werden um keine durchlaufenden vertikalen Fugen und Kreuzstöße zu erzeugen. Der Stufenfalz der Platten ist so anzuordnen, dass eingedringenes Wasser nach außen zum Erdreich abgeleitet wird. Im Lastfall von drückendem Wasser ist auf eine vollflächige Verklebung mit dem Untergrund zu achten. Werden dabei entsprechende Abdichtungsmassen auch als Abdichtung verwendet, sind dabei die jeweiligen Bestimmungen in [38] zu berücksichtigen.

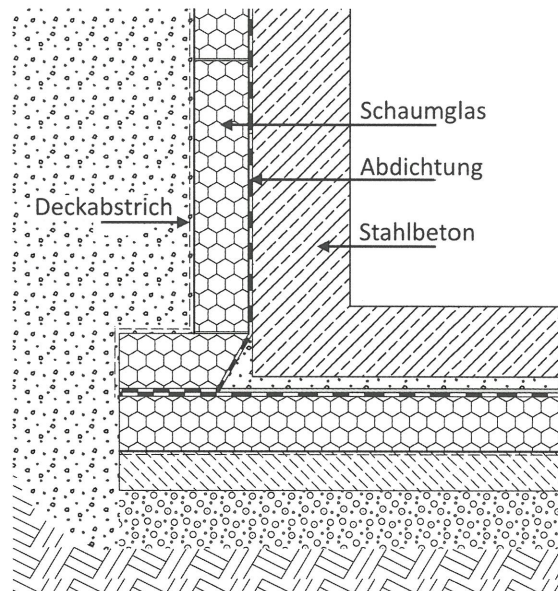


Bild 12. Anwendung von Schaumglasplatten an der Kelleraußenwand und unter der lastabtragenden Gründungsplatte (Deutsche FOAMGLAS GmbH)

Besondere Anforderungen sind an die Montage, Verklebung und Beschichtung von Schaumglasplatten gestellt, um diese vor Frost-Tau-Wechsel-Bbeanspruchungen zu schützen (umfassende Herstellervorgaben sind vorhanden) (Bild 12).

Bei der Anbringung der Platten ist darauf zu achten, dass keine Beschädigung der Abdichtung im Kehlbereich entsteht, z. B. durch Abrutschen der Platten in die Hohlkehle [39]. In dem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Einhaltung der Trocknungszeiten bei KMB-Abdichtungen, bevor die Dämmung aufgebracht wird und das Erdreich angeschüttet wird, essentiell für die Funktionsfähigkeit der Abdichtung sein kann. Gerade in Bereichen mit verstärktem KMB-Auftrag wie in der Hohlkehle müssen hier teils längere Zeiträume eingeplant werden [40].

7.3 Bodenplatte

Energiesparende Anforderungen an den Wärmeschutz müssen auch bei den an das Erdreich angrenzenden Böden eingehalten werden. Das Bauteil Boden kann sowohl der Kellerfußboden eines Ein- oder Mehrfamilienhauses als auch ein hochbelastbarer Industriefußboden sein. Hinsichtlich der Druckbeanspruchung muss man zwischen der *Bodenplatte*, die mit lastabtragenden Gründungskörpern wie Einzel-, Streifenfundamenten oder Pfählen verbunden ist, und der *Gründungsplatte*, die zusätzliche Bauwerkslasten in den Boden einleitet, unterscheiden.

Sowohl Boden- wie auch Gründungsplatten werden aus Gründen des Frostschutzes (z. B. Terrassen, überstehende Gründungsplatten) als auch der Energieeinsparung (z. B. Wohn- und Verwaltungsgebäude) unterseitig mit einer Wärmedämmung versehen.

7.3.1 Beanspruchungen

Perimeter-Dämmstoffe werden unterhalb der Böden in der Regel durch die Eigenlast der biegesteifen, elastisch gebetteten Stahlbetonplatte und den abzuleitenden Nutzlasten (früher Verkehrslasten) auf die Betonplatte beansprucht. Nutzlast bezeichnet im Bauwesen eine veränderliche oder bewegliche Einwirkung auf ein Bauteil (z. B. infolge von Personen, Einrichtungsgegenständen, Lagerstoffen, Maschinen oder Fahrzeugen). Lotrechte Nutzlasten sind in DIN EN 1991-1-1:2010-12 [41] angegeben. Die Höhe der eingeleiteten Last führt über die elastisch gebettete Stahlbetonplatte zu einer Pressung des darunterliegenden Dämmstoffs. Der Dämmstoff darf sich unter der Lasteinwirkung nur geringfügig verformen um den energiesparenden Wärmeschutz sicherzustellen.

7.3.2 Lastabtragende Gründungsplatte

Besonders stark beansprucht werden Wärmedämmstoffe unter der lastabtragenden Gründungsplatte, da bei dieser Anwendung nicht nur die Eigenlast der Bodenplatte und die Nutzlasten, sondern auch ständig einwirkende Lasten aus der Gebäudekonstruktion abgetragen werden müssen (Bild 13). Die Größe und Verteilung der Pressungen auf den Dämmstoff hängen ab von [15]:

- der Gebäudelast,
- der Baukonstruktion (z. B. Skelettbau, Bau mit tragenden Wänden),
- der Dimensionierung der Gründungsplatte (z. B. Dicke, Plattenüberstand),
- der Festigkeit und Beschaffenheit des Baugrundes.

Um diese nicht genormte Anwendung bauaufsichtlich zu regeln und dem Planer und dem Bauunternehmer Bemessungswerte der Druckspannung für die Dämmplatte unter der lastabtragenden Gründungsplatte zur Verfügung zu stellen, erteilt das Deutsche Institut für Bautechnik allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für diese Anwendung. Für die Anwendung unter last-



Bild 13. Verlegung einer XPS-Dämmung unter der lastabtragenden Gründungsplatte auf einer Sauberkeitsschicht (Foto: BASF SE)



Bild 14. Verlegung von Schaumglasplatten unter der Gründungsplatte mit Bitumen als Kleber und zwischen den Platten (Foto: Deutsche FOAMGLAS GmbH)

abtragenden Gründungsplatten wurden Zulassungen für Schaumglas (Bild 14) und XPS-Dämmstoffe sowie Schaumglasschotter ausgestellt. Um der europaweiten Standardisierung und der Umsetzung der sogenannten Eurocodes nachzukommen, ging man vom „Globalen Sicherheitskonzept“ mit einem globalen Sicherheitsbeiwert γ_{Gl} auf das europäisch geforderte Teilsicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten γ_M über. In den Zulassungen für Dämmstoffe unter der lastabtragenden Gründungsplatte sind neben der Anforderung an den Nennwert der Druckfestigkeit $f_{c,Nenn}$ vor allem die Bemessungswerte der Druckspannung $f_{c,d}$ und der Wärmeleitfähigkeit für die langzeitige Anwendung dieser Dämmstoffe unter der lastabtragenden Gründungsplatte genannt.

$$f_{c,d} = \frac{f_{c,Nenn}}{\gamma_M} \cdot \alpha \quad (10)$$

mit

$f_{c,d}$	Bemessungswert der Druckspannung
$f_{c,Nenn}$	Nennwert der Druckfestigkeit
c	compressive für Druckbeanspruchung
d	Design Value für Bemessungswert
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoff- oder Produkteigenschaft
α	produktspezifischer Anpassungsfaktor

Typische $f_{c,d}$ -Werte sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Da der $f_{c,d}$ -Wert nur einen Teilsicherheitsbeiwert nach DIN 1055-100 Abschnitt 8.3 [42] bzw. Eurocode 0 enthält, muss der Planer andere Teilsicherheitsbeiwerte z. B. für Schwingungen oder Fahrzeugverkehr zusätzlich berücksichtigen.

Der Bemessungszeitraum ist, nicht wie in den genormten Anwendungen nach DIN 4108-10 [36] der Mittelwert über 25 Jahre, sondern der im Bereich der Gründung übliche Zeitraum von ≥ 50 Jahren.

Bei einigen XPS-Produkten dürfen lt. Zulassung auch Horizontalkräfte bis zu 20% der zulässigen Normalkraft eingeleitet werden, wenn das durch Langzeit-



Bild 15. Betonieren der Gründungsplatte
(Foto: DOW Deutschland)

Tabelle 14. Anwendung von Wärmedämmstoffen als lasttragende Wärmedämmung unter Gründungsplatten

Dämmstoff	Bemessungswert der Druckspannung $f_{c,d}$	Anwendung im Grundwasser
XPS	125–355	zulässig
Schaumglas	270–530	zulässig
Schaumglasschotter	225–290	nicht zulässig

kriechversuche nachgewiesen wurde. Dies ist vor allem bei elastisch gebetteten Gründungsplatten (Bild 15) von Vorteil, da die einzuleitenden Kräfte nicht immer als Normalkraft auftreten. Weiterhin sind durch Erdbeben bedingte Kräfte üblicherweise Horizontalkräfte, siehe dazu auch der vereinfachte Standsicherheitsnachweis bei Einwirkungen aus Erdbeben im Anhang der Zulassungen.

Schaumglasschotter darf nach den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen nur im Bereich von Bodenfeuchte und nichtstauendem Sickerwasser, aber nicht im Bereich von drückendem Wasser eingesetzt werden.

8 Praktische Erfahrungsberichte zur Dauerhaftigkeit

Die Bauart Perimeterdämmung wird seit etwa 1970 mit XPS- und Schaumglasdämmstoffen ausgeführt. Seit 1980 gibt es erste bauaufsichtliche Zulassungen für XPS in der Perimeterdämmung. Über diesen langen Zeitraum wurden viele Untersuchungen über das Langzeitverhalten von XPS in der Perimeterdämmung durchgeführt. Z. B. veröffentlichte Prof. Zimmermann 1996 eine Untersuchung, bei der er 24 Bauvorhaben mit Perimeterdämmung über 8 bis 19 Jahre beglei-

tete und bei denen die unterschiedlichsten Einbausituationen und Wasserbelastungen vorlagen [32]. Ohne Grundwasserbelastung mit verschiedenen Dränungen fand er 0,1–0,2 Vol.-% Feuchte nach 10 bis 17 Jahre Einbauzeit. Ohne Dränung und ohne Grundwasserbelastung aber mit Verfüllung mit Kiessand fand er nach 11 bis 17 Jahren zwischen 0,02–1,8 Vol.-% Feuchte. Selbst bei anstehenden bindigen Böden wurden nach 8 bis 16 Jahren nur Feuchtegehalte von 0,2–2,3 Vol.-% vorgefunden. Das sind alles Feuchtegehalte, die sich im niedrigen Bereich bewegen. Bei den Objekten, bei denen er Feuchtegehalte bis zu 10 Vol.-% fand, war die erhöhte Feuchteaufnahme durch Hinterlaufen der Dämmschichtebene und dauerfeuchte Dränungen oder Verfüllungen zu erklären.

Bei geringer Grundwasserbelastung fand er Feuchtegehalte von 0,6–5,3 Vol.-% nach 10 bis 19 Jahren. Mit hoher Grundwasserbelastung fand er Werte von 3,2–9,1 Vol.-%, allerdings bei punktwiser und teilweiser Verklebung. Interessanterweise ergaben sich die höchsten Feuchtegehalte nicht, wie man auf den ersten Blick vermuten würde, bei der dauernden Belastung mit drückendem Wasser, sondern im Wechselbereich des drückenden Wassers. Das lässt sich damit erklären, dass sich das größte Wasserdampfdruckgefälle im Wechselbereich des drückenden Wassers einstellt, da dort das relativ warme Wasser durch Hinterfließen der Dämmschichtebene dem relativ kalten Erdreich ohne Grundwasser gegenübersteht. Im darunterliegenden Bereich mit dauerhaft anstehendem Grundwasser mit einer Temperatur von etwa 8–11 °C ist die Temperaturdifferenz deutlich geringer. Auch aus diesem Beispiel sieht man den großen Einfluss der Wasserdampfdiffusion auf die gesamte Feuchteaufnahme der Perimeterdämmung. Bereits 1982 führten diese Erkenntnisse zu der Regel, dass XPS-Platten im drückenden Wasser vollflächig mit der Kelleraußenwand zu verkleben sind. Eine weitere Untersuchung, einer Perimeterdämmung ohne drückendem Wasser und 26 Jahren Einbauzeit [43], zeigte einen Feuchtegehalt von 0,07–4,3 Vol.-% und Wärmeleitfähigkeitswerte im feuchten Ausbauzustand von 0,0297–0,0334 bei einem zum Einbauzeitpunkt geltenden Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K). Eine weitere Probenahme im Grundwasser [33] ergab nach 5 Jahren Einbauzeit einen Feuchtegehalt von 1,6 Vol.-% bei vollflächiger Verklebung der XPS-Platten mit der Kelleraußenwand und eine Wärmeleitfähigkeit 0,0307 bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von ebenfalls 0,035 W/(m·K). Neuere Untersuchungen [44] bei drei bis vier Jahren im Grundwasser eingebauten Perimeterdämmplatten ergaben Feuchtegehalte von 0,35–0,58 Vol.-% und Wärmeleitfähigkeitswerte unterhalb des Bemessungswerts der Wärmeleitfähigkeit von 0,036 W/(m·K) bei Erdfeuchte und 0,041 W/(m·K) im drückenden Wasser (Bilder 16 und 17).

Diese Erfahrungsberichte zeigen für XPS-Platten niedrige bis tolerierbare Feuchtegehalte, die in den Be-



Bild 16. Ausbau einer XPS-Perimeter-Dämmplatte der Wanddämmung im drückenden Wasser eines Seniorenheims in Bottrop mit Grundwasserabsenkung um ca. 1 m (Foto: FIW München)



Bild 17. Ausbau einer XPS-Perimeterdämmung aus der Kellerwand eines Privatgebäudes in Bocholt im drückenden Wasser mit Grundwasserabsenkung um ca. 1 m (Foto: FIW München)

messungswerten der Wärmeleitfähigkeit berücksichtigt werden und auch bei langjähriger Belastung von drückendem Wasser dauerhaft eingehalten werden. Nach etwa 47 Jahren Erfahrung ist die Perimeterdämmung im Erdreich als bewährte Bauweise einzustufen, die aus dem energiesparenden Bauen nicht mehr wegzudenken ist. Anfängliche negative Erfahrungen, wie das Hinterfließen der Dämmschichtebene, wurden durch Anforderungen an die vollflächige Verklebung, der versetzte Plattenverbund und das seitliche Abdichten der Plattenstöße korrigiert. Selbstverständlich sind bei diesem Dämmsystem mit langjähriger Lebensdauer und das nur unter sehr großem Aufwand zu sanieren ist, die Verarbeitungshinweise des Herstellers und die Vorgaben der Zulassungen genau zu beachten.

9 Neuere Entwicklungen

9.1 Mehrlagige Verlegung von XPS-Platten in der Perimeterdämmung

Seit 2011 stellt das DIBt allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für die mehrlagige Verlegung von XPS-Platten im Erdreich aus. Die Notwendigkeit von Dämmschichten mit einer Dicke von mehr als 200 mm im Erdreich ergab sich durch höhere Anforderungen im energiesparenden Wärmeschutz z. B. bei Passivhäusern. Vor der Ausstellung der Zulassungen für die mehrlagige Verlegung mussten Fragen nach einem möglichen Hinterfließen der Dämmschicht durch Sickerwasser oder drückendes Wasser, sowie die Frage nach einem eventuellen Feuchtefilm zwischen zwei Dämmplatten geklärt werden, der wie eine Dampfsperre wirken kann und damit zu einer Auffeuchtung der innen liegenden Dämmplatte führt. Bei der Verlegung unter Kellerfußböden werden geringere Ebenheitstoleranzen der XPS-Platten und die Verlegung auf einer Sauberkeitsschicht z. B. aus Magerbeton gefordert. Weiterhin fordern die Zulassungen, dass mehrere Lagen fugenversetzt verlegt werden müssen und seitliche Ränder durch Verspachteln mit geeigneten Kleber- oder Dichtungsmassen vor dem Eindringen von Wasser geschützt werden müssen, sodass praktisch keine Luftzwischenräume zwischen den XPS-Platten entstehen, in die drückendes Wasser oder Schichtenwasser eindringen könnte.

Zurzeit regeln zwei Zulassungen die mehrlagige Verlegung von XPS-Platten in der Perimeterdämmung. Dabei darf die Perimeterdämmung max. 3,50 m bzw. 7,00 m ins drückende Wasser eintauchen.

Speziell beim Kellerfußboden darf der Dämmstoff in zwei oder drei Lagen bis zu einer maximalen Gesamtdicke von 400 mm eingebaut werden (Bild 18). Zum Schutz der Dämmschicht beim Betonieren des Kellerfußbodens ist eine Trennschicht, z. B. PE-Folie zwischen Wärmedämmschicht und Kellerfußboden, zu



Bild 18. Dreilagige Verlegung von XPS-Platten unter der lastabtragenden Gründungsplatte eines Wohngebäudes (Foto: DOW Deutschland)

verlegen. Die Anwendung von mehrlagig verlegten XPS-Platten regeln zwei Zulassungen [45, 46].

Bei der Anwendung an der Kellerwand sind maximal zwei Lagen bis zu einer max. Dicke von 400 mm möglich. An der Wand verhindert man das Hinterfließen der Dämmplatte durch eine vollflächige Verklebung der XPS-Platten an der Kellerwand und einen eventuell auftretenden Wasserfilm zwischen den zwei Lagen ebenfalls durch eine vollflächige Verklebung der zweiten Lage mit der ersten Lage, fugenversetzt ohne Kreuzstöße. Zusätzlich müssen die Seitenfugen mit einer geeigneten Spachtel- oder Klebmasse verspachtelt werden. Alle sonstigen Anforderungen der Zulassungen sind genau einzuhalten, da eine spätere Sanierung praktisch unmöglich oder nur unter sehr hohem Aufwand möglich ist.

9.2 Mehrlagig verklebte und verschweißte XPS-Platten

Bereits seit einigen Jahren sind mehrlagig verklebte XPS-Platten bis zu einer Dicke von 320 mm für die Anwendung in der Perimeterdämmung bauaufsichtlich zugelassen. Hierzu existieren Anforderungen an die Zugfestigkeit der verklebten Platten vor und nach Frost-Tauwechselversuch sowie die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl der Verklebung. Diese Verklebung der Lagen darf keinen wesentlich höheren Diffusionswiderstand aufweisen, als die Platte im Kernbereich. Diese verklebten XPS-Platten dürfen laut allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung [47] bis 3,50 m tief ins Grundwasser eintauchen.

In den letzten Jahren ist ein Trend zu mehrlagig verschweißten XPS-Platten festzustellen. Hierzu werden die XPS-Platten an den später zu verschweißen Oberflächen abgefräst und unter Wärmeeinwirkung und Druck vollflächig zu dickeren Platten verschweißt. Inzwischen bieten mehrere Hersteller verschweißte XPS-Platten bis zu einer Dicke von 400 mm an (Bild 19). Derzeit liegen zwei Zulassungen [48, 49] im drückenden Wasser bis zu einer Einbautiefe von 3,50 m vor. Für die verschweißten XPS-Platten werden ebenfalls zusätzliche Anforderungen an die Zug- und Scherfestigkeit gestellt.

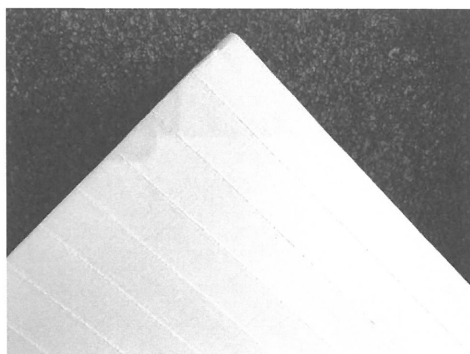


Bild 19. Mehrlagig verschweißte XPS-Platte mit 400 mm Nenndicke (Foto: FIW München)

10 Literatur

- [1] DIN EN ISO 13370:2008-04 (2008) *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren (ISO 13370:2007)*, Deutsche Fassung EN ISO 13370:2007, Beuth, Berlin.
- [2] Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Abteilung Geologie und Boden (2011) *Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes. Erdwärmekollektoren – Erdwärmesonden. Empfehlungen für Planer, Ingenieure und Bauherren*, hansadruck, Kiel.
- [3] DIN EN ISO 6946:2008-04 (2008) *Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchlasskoeffizient – Berechnungsverfahren*, Beuth, Berlin.
- [4] DIN EN ISO 10211:2008-04 (2008) *Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2007)*, Dt. Fassung EN ISO 10211:2007, Beuth, Berlin.
- [5] DIN EN ISO 14683:2008-04 (2008) *Wärmebrücken im Hochbau Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient – Vereinfachte Verfahren und Anhaltswerte (ISO 14683:2007)*, Dt. Fassung EN ISO 14683:2007, Beuth, Berlin.
- [6] DIN V 4108-6:2003-06 (2003) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs*, Beuth, Berlin.
- [7] DIN EN ISO 13789:2008-04 (2008) *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO 13789:2007)*; Dt. Fassung EN ISO 13789:2007, Beuth, Berlin.
- [8] DIN V 18599-2:2016-10 (2016) *Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen*, Beuth, Berlin.
- [9] Schild, K. (2014) Neue Temperatur-Korrekturfaktoren für erdberührte Bauteile bei Energieeffizienzberechnungen, *Bauphysik* 36 (2), S. 59–67.
- [10] DIN 4108 Beiblatt 2:2006-03 (2006) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele*, Beuth, Berlin.
- [11] Schoch, T. (2015) *Wärmebrückenberechnung*, 2., vollst. überarb. Aufl., Beuth Berlin.
- [12] DIN 4108-2:2013-02 (2013) *Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*, Beuth, Berlin.
- [13] Bundesgesetzblatt (2015), *Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519)*, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789), Berlin.

- [14] Amtsblatt der Europäischen Union (2010), *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamteffizienz von Gebäuden (Neufassung)*, Brüssel.
- [15] Merkel, H. (2008) Wärmedämmung im Erdreich, In *Bauphysik Kalender 2008*, Ernst & Sohn, Berlin, S. 117–139.
- [16] Muth, W. (1971) Abdichtung und Dränung am Bau, *Deutsche Bauzeitschrift (DBZ)* Nr.1, S. 95–108.
- [17] DIN 18130-1:1998-05 (1998) *Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche*, Beuth, Berlin.
- [18] DIN 18533-1:2017-07 (2017) *Abdichtung von erdbe-rührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze*, Beuth, Berlin.
- [19] DIN 4095:1990-06 (1990) *Baugrund – Dränung zum Schutz baulicher Anlagen – Planung, Bemessung und Aus-führung*, Beuth, Berlin.
- [20] Bonk, M. (Hrsg.) (2010) *Lufsky Bauwerksabdichtung*, 7. Aufl., Vieweg+Teubner, Wiesbaden.
- [21] DIN EN 12087:2013-06 (2013) *Wärmedämmstoffe im Bauwesen – Bestimmung der Wasseraufnahme bei langzeiti-gem Eintauchen*, Dt. Fassung EN 12087:2013, Beuth, Ber-lin.
- [22] DIN EN 12091:2013-06 (2013) *Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Verhaltens bei Frost-Tau-Wechselbeanspruchung; Dt. Fassung EN 12091:2013*, Beuth, Berlin.
- [23] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfall-wirtschaft und Kulturbau e. V. (BWK), *Ermittlung des Be-messungswasserstandes für Bauwerksabdichtungen BWK-Merkblatt*, 2009, Band M 8, Fraunhofer IRB Verlag, Sin-delfingen.
- [24] DIN EN 826:2013-05 (2013) *Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Verhaltens bei Druckbe-anspruchung*, Dt. Fassung EN 826:2013, Beuth, Berlin.
- [25] Findley, W. N. (1944) *Creep characteristics of plastics*, in Symposium on Plastics, American Society for Testing Materials, Philadelphia.
- [26] DIN EN 1606:2013-05 (2013) *Wärmedämmstoffe für das Bauwesen – Bestimmung des Langzeit-Kriechverhal-tens bei Druckbeanspruchung; Dt. Fassung EN 1606:2013*, Beuth, Berlin.
- [27] BASF SE (2016), *Styrodur – Chemische Beständig-keit*, PMFS 1601 BD01, Ludwigshafen.
- [28] Deutsche FOAMGLAS, 92761 Wärmedämmstoffe FB 600 05-08 GRo DFG/0202/FB600 Hochbau/0508/S/W.
- [29] CEN/TS 16637-2:2014 (2014) *Construction pro-ducts – Assessment of release of dangerous substances – Part 2: Horizontal dynamic surface leaching test*, CEN, Brüssel.
- [30] Fachvereinigung Polystyrol-Extruderschäumstoff (FPX) (Hrsg.), *Merkblatt Wärmeschutz erdbe-rührter Bau-teile*, Ausgabe 2013, Rossdorf.
- [31] FFL Forschungsgesellschaft Landschaftsentwick-lung Landschaftsbau e. V. (1994) *Verfahren zur Unters-uchung der Durchwurzelungsfestigkeit von Wurzelschutzbah-nen/Schichten bei Dachbegrünungen*, Bonn.
- [32] G. Zimmermann, G. (1995) Zum Langzeitverhal-ten von Perimeterdämmung, *Deutsches Architektenblatt (DAB)*, Heft 6.
- [33] Hafer, K. (2004) *Langzeitverhalten von Wärme-dämmplatten aus extrudierten Polystyrol-Hartschaumplat-ten (XPS)*, PERIMATE INS von DOW, im Grundwas-serbereich; Auftraggeber DOW Deutschland GmbH & Co OHG, Ingenieurbüro Bauwerksabdichtungen Dipl.-Ing. Klaus Hafer, Hennef.
- [34] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), *Nutzdauern von Bauteilen für Lebenszy-kusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*, Stand 24.02.2017.
- [35] Amtsblatt der Europäischen Union, Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisier-ter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, Brüssel, 2011.
- [36] DIN 4108-10:2015-12 (2015) *Wärmeschutz und Ener-gie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezoge-ne Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig her-gestellte Wärmedämmstoffe*, Beuth, Berlin.
- [37] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt (2016) *Allge-meine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.5-216*, Berlin.
- [38] DIN 18533-1:2017-07 (2017) *Abdichtung von erdbe-rührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze*, Beuth, Berlin.
- [39] Fouad, N. A. (2013) Bauwerksabdichtungen, In *Lehr-buch der Hochbaukonstruktion*, 4. Aufl., Springer Vieweg, Hannover.
- [40] Korff, H.-K. (2009) Perimeterdämmung – Aufga-ben, Anforderungen und Ausführung, *Mauerwerk 13* (6), S. 352–358.
- [41] DIN EN 1991-1-1:2010-12 (2010) *Eurocode 1: Ein-wirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkun-gen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau*, Dt. Fassung EN 1991-1-1:2002+AC:2009, Beuth, Berlin.
- [42] DIN 1055-100:2001-03 (2001) *Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung – Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln* [Dokument zu-rückgezogen], Beuth, Berlin.
- [43] Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München (2011) Untersuchungsbericht D1-11-013 *Untersuchung des Langzeitverhaltens von extrudiertem Polystyrol-Hart-schaum (XPS) in der Anwendung. Perimeterdämmung ohne drückendes Wasser*, München.

- [44] Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (2011) Untersuchungsberichte D1-10-003a und D1-10-004a *Untersuchung eines Praxisobjekts. Perimeterdämmung im drückenden Grundwasser*, München.
- [45] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt (2016) *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.5-223 BASF SE – Perimeterdämmsystem unter Verwendung von extrudergeschäumten Polystyrol-Hartschaumplatten „Styrodur 3035/4000/5000 CS“*, Berlin.
- [46] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt (2016) *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.5-225 DOW Deutschland Anlagengesellschaft mbH-Perimeterdämmsystem unter Verwendung von extrudergeschäumten Polystyrol-Hartschaumplatten ROOFMATE SL-A/SL-A-P, FLOORMATE 500-A/500-A-P/700-A/700-A-P*, Berlin.
- [47] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt (2016) *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.33-1539, Jackon Insulation GmbH – Perimeterdämmsystem unter Verwendung von extrudergeschäumten Polystyrol-Hartschaumplatten „Jackodur KF 300/500/700 Standard“*, Berlin.
- [48] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt (2017) *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.33-2082, URSA Deutschland GmbH – Perimeterdämmsystem unter Verwendung von extrudergeschäumten Polystyrol-Hartschaumplatten URSA XPS D N-III TWINS*, Berlin.
- [49] Deutsches Institut für Bautechnik DIBt (2017) *Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.33-2084 BASF SE – Perimeterdämmsystem unter Verwendung von extrudergeschäumten Polystyrol-Hartschaumplatten „Styrodur 3000 SQ“*, Berlin.

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München
Lochhamer Schlag 4
82166 Gräfelfing
Deutschland

Telefon +49 89 85800 0
Telefax +49 89 85800 40
info@fiw-muenchen.de
www.fiw-muenchen.de

