



Flachdach

KLIMAGERECHT UND ENERGIEEFFIZIENT

Genutzte Flachdächer mit PU-Dämmung



INHALT

Genutzte Flachdächer mit PU-Dämmung

1 | Klimagerecht bauen mit Flachdächern 3

- 1.1 | Nutzung der Dachflächen und Anforderungen an die Dämmung
- 1.2 | Gründach mit Solarnutzung
- 1.3 | Industrieleichtdach
- 1.4 | Dachterrasse
- 1.5 | Flachdachaufstockung

2 | PU-Vorteile für die Flachdachdämmung 5

3 | Baulicher Wärmeschutz 6

- 3.1 | Nenn- und Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit
- 3.2 | U-Wert-Anforderungen für Flachdächer

4 | Anforderungen an die Druckfestigkeit von Dämmstoffen im Flachdach 8

5 | Witterungsschutz und klimabedingter Feuchteschutz .. 9

- 5.1 | Tauwasser und Rücktrocknung
- 5.2 | Feuchtetechnische Beurteilung genutzter Flachdächer
- 5.3 | Nachweisfreie Flachdachaufbauten nach DIN 4108-3

6 | Genutzte Flachdächer mit unterschiedlichen Tragkonstruktionen 12

- 6.1 | Flachdächer mit PU-Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion
 - Massives Betondach
 - Massives Holzdach
 - Stahlleichtdach
 - Flachdach mit Holzbalkendecke
 - Sanierungsempfehlungen
- 6.2 | Holzdächer mit PU-Aufdachdämmung und einer Dämmung in der Balkenebene
 - Nachweisfrei im Neubau
 - Sanierungsempfehlung

Literatur 31

1 | KLIMAGERECHT BAUEN MIT FLACHDÄCHERN

Der Klimawandel erfordert eine angepasste Bauweise. Klimafreundlich bauen heißt, Gebäude so zu planen und zu bauen, dass sie das ganze Jahr über guten Wohnkomfort bieten, wirtschaftlichen Vorgaben entsprechen und trotzdem Klima und Umwelt schonen. Dabei spielen Faktoren wie eine energieeffiziente Gebäudehülle, der Einsatz energiesparender Technologien und regenerativer Energien eine wichtige Rolle.

Flachdächer lassen sich an den Klimawandel anpassen. Sie bieten zusätzliche Flächenreserven und lassen sich für Begrünung mit

Wasserrückhaltung, Energiegewinnung oder Wohnraumerweiterung nutzen. Das Flachdach ist eine Dachkonstruktion, die ohne Dachschräge auskommt. Das ermöglicht eine effiziente Raumnutzung unterm Dach. Eine gute Wärmedämmung reduziert den Heizwärme- und Kühlbedarf des Gebäudes, was wiederum den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen verringern kann. Die Nachverdichtung mit einer Geschossaufstockung auf dem Flachdach ermöglicht die Nutzung bereits überbauter Flächen ohne weitere Bodenversiegelung.

1.1 Nutzung der Dachflächen und Anforderungen an die Dämmung

Genutzte Flachdächer benötigen eine dauerhaft druckfeste und widerstandsfähige Dämmung. PU-Dämmelemente entsprechen nach DIN 4108-10 dem Anwendungstyp DAA dh (hohe Druckbelastbarkeit) oder DAA ds (sehr hohe Druckbelastbarkeit).

Sie sind hinreichend widerstandsfähig gegen statische und dynamische Lasten, die in genutzten Dächern auftreten. Sogenannte „Trampelpfade“, die sich bei Regen mit Wasser füllen, und Beschädigungen der Abdichtung werden vermieden.

1.2 Gründach mit Solarnutzung

In städtischen Ballungsgebieten bieten Gründächer zusätzlichen Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Sie speichern auf natürliche Art Wasser, binden Staub, erzeugen über die Verdunstung ein eigenes Mikroklima und dämpfen hohe Temperaturen merklich ab. In Kombination mit Solaranlagen lassen sich wichtige Synergieeffekte nutzen: Die Dachbegrünung kann als Auflast zur Windsogsicherung der Solaranlage dienen. Die PV-Module profitieren von der kühleren Oberfläche der Dachbegrünung, heizen sich weniger auf, und der Ertrag der Module steigt. Gleichzeitig spenden sie den Pflanzen Schatten und vermindern die Austrocknung der Vegetationsschicht.

Als Retentionsdach kombiniert das Gründach die Vorteile der Solarenergieerzeugung mit der Funktion der Regenwasserrückhaltung. Mit diesem System können Gebäude nicht nur klimafreundlichen Strom erzeugen, sondern auch aktiv zum nachhaltigen Wassermanagement beitragen.

PU-Dämmelemente bilden eine ideale Grundlage für Grün- und Solardächer: Sie sind hochwärmedämmend und für alle anfallenden Lastfälle ausreichend druckfest.



1.3 Industrieleichtdach

Großflächige Dächer von Industrie-, Handels- und Logistikgebäuden werden bevorzugt in Stahlleichtbauweise errichtet. Sie eignen sich besonders gut als Standort zur Aufstellung von Solaranlagen, kombiniert mit einer extensiven Dachbegrünung. Mit Rücksicht auf die baulichen Gegebenheiten kann der Neigungswinkel der PV-Module frei gewählt werden, was eine optimale Ausnutzung erlaubt. Große Spannweiten bei niedrigem Gewicht, günstige Herstellkosten und kurze Bauzeiten sind die Merkmale dieser Konstruktionen.

Wirtschaftliche Gesichtspunkte spielen auch für die Auswahl der Baumaterialien eine entscheidende Rolle. Leichtdachkonstruktionen zeichnen sich in Verbindung mit einer druckbelastbaren und leichten PU-Dämmung als äußerst wirtschaftliche Bauweise aus. Selbst in Kombination mit Solaranlagen belastet die schlanke

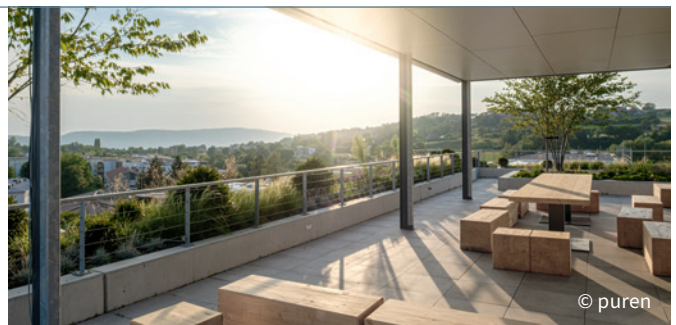


und effiziente PU-Dämmung die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion durch ihr geringes Eigengewicht kaum. Große Industrieleichtdächer können wiederum mit großformatigen PU-Dämmplatten einfach und schnell verlegt werden. Das Verhältnis zwischen Plattengröße und Gewicht ist optimal, die Tragwerke werden kostengünstig ausgeführt.

1.4 Dachterrasse

Eine Dachterrasse bietet vor allem in Ballungsgebieten die Möglichkeit, auch ohne Garten einen idealen Freibereich zu schaffen. Dies gilt nicht nur für Wohngebäude, sondern auch für Büro- und Gewerbebauten. Dachterrassen werden als genutzte Dachflächen eingestuft.

Um die Räume unter der Dachterrasse wirksam vor Hitze und Kälte zu schützen, ist eine sichere Wärmedämmung erforderlich. Druck- und trittfeste PU-Dämmplatten bieten eine hocheffiziente Dämmwirkung bei niedriger Aufbauhöhe. Das bedeutet, dass ein flacher und damit barrierefreier Übergang vom Wohn- oder Arbeitsbereich zur Terrasse geschaffen werden kann und im Sanierungsfall die



Brüstungen nicht erhöht werden müssen. PU-Gefälledämmplatten sorgen für eine sichere Ableitung von Regenwasser.

1.5 Flachdachaufstockung

Die Aufstockung mithilfe eines Staffelgeschosses auf einem bestehenden Flachdach schafft zusätzlichen, hochwertigen Wohnraum, ohne weiteres Bauland in Anspruch zu nehmen und Flächen zu versiegeln.

Die Vorteile der Geschossaufstockung:

- Die vorhandene Infrastruktur des bestehenden Gebäudes wird genutzt.
- Handelt es sich um ein Bestandsgebäude, lässt sich mit der Dachaufstockung in Verbindung mit einer energetischen Sanierung auch die Energieeffizienzklasse verbessern.
- Die Dachflächen des neuen Geschosses können für eine Begrünung, als Terrasse oder für Solarmodule genutzt werden.
- Die Gesamtkosten bei einer Geschossaufstockung sind niedriger als bei einem Neubau. Es fallen keine Grundstücks- und Gründungskosten an. Baurechtliche Anforderungen müssen jedoch beachtet werden.



Aus statischen Gründen wird die Aufstockung häufig in Holz-Leichtbauweise realisiert. Bauphysikalisch sicher sind z. B. Flachdachkonstruktionen mit einer Dampfsperre auf der Massivholzdecke und einer leichten PU-Aufdachdämmung, da hier die Holzkonstruktion des Flachdachs im warmen Bereich liegt. Eventuell vorhandene Baufeuchte in den Holzbauteilen kann zum Raum hin rasch austrocknen.

2 | PU-VORTEILE FÜR DIE FLACHDACHDÄMMUNG

Flachdachdämmungen mit Polyurethan-Hartschaum (kurz: PU-Hartschaum) sind vielseitig, langlebig und effizient. Milliarden kleiner geschlossener Zellen reduzieren die Übertragung von Wärme auf ein Minimum – eine ideale Eigenschaft für sehr

leistungsfähige Dämmelemente. Die technischen Eigenschaften und die Gesundheitsverträglichkeit der Dämmsysteme werden regelmäßig durch unabhängige Institute geprüft und zertifiziert.



Sicherer Wärmeschutz

PU-Dämmstoffe überzeugen mit einer extrem niedrigen Wärmeleitfähigkeit bzw. einer sehr hohen Dämmleistung. Dadurch werden anspruchsvolle U-Wert-Anforderungen, die z. B. in Förderprogrammen vorgegeben sind, mit schlanken Dämmschichten erfüllt.



Hohe bis sehr hohe Druckfestigkeit

Klimagerecht genutzte Dächer benötigen eine dauerhaft druckfeste und widerstandsfähige Dämmung. PU-Dämmplatten mit den Druckfestigkeitsklassen „dh“ (≥ 100 kPa) und „ds“ (≥ 150 kPa) nach DIN 4108-10 halten statischen und dynamischen Druckbelastungen auf Dauer stand und sind für genutzte Flachdächer bestens geeignet. Für besonders anspruchsvolle Anwendungen wie z. B. befahrbare Flächen, Fassadenbefahranlagen oder intensiv genutzte Hofkellerdecken stehen noch höher druckbelastbare PU-Dämmprodukte zur Verfügung.



Objektspezifische Gefälledämmung

Sollen Flachdächer gezielt entwässert werden, wird eine PU-Gefälledämmung unter der Abdichtung verlegt. Die PU-Gefälledämmplatten können individuell vorkonfektioniert werden und ermöglichen so eine exakt definierte Wasserführung. Die Gefälleplanung kann an beliebige U-Wert-Vorgaben angepasst und wahlweise ein-, zwei- oder mehrlagig verlegt werden. Für die U-Wert-Berechnung wird die mittlere Schichtdicke angesetzt. Diese ist nach DIN EN ISO 6946 zu berechnen. Damit kommt jeder Zentimeter Gefälledämmung dem Wärmeschutz zugute. An den Tiefpunkten ist der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 einzuhalten.



Hohe Temperaturbeständigkeit

Das Flachdach ist hohen Temperaturunterschieden ausgesetzt, d. h. einerseits extremen Temperaturen durch Sonneneinstrahlung bis über $+90^\circ\text{C}$, andererseits Kälteeinwirkungen bis etwa -30°C . PU-Dämmstoffe zeichnen sich durch hohe thermische Beständigkeit und gute Dimensionsstabilität aus. Sie können in Abhängigkeit von Rohdichte und Deckschicht dauerhaft in allen bauüblichen Temperaturbereichen verwendet werden, auch bei kurzzeitigen Temperaturbelastungen von bis zu 250°C .



Lange Lebensdauer

PU-Dämmstoffe sind besonders robust und formstabil. Sie bieten eine dauerhaft hohe Dämmleistung und halten ein Gebäudeleben lang.



Materialeffizienz

PU-Dämmstoffe haben eine geringe Rohdichte. Die schlanken PU-Dämmungen sind sehr leicht. Sie belasten durch ihr geringes Eigengewicht von ca. 3 kg/m^2 bei 100 mm Dämmstoffdicke die Dachkonstruktion kaum und bieten sich daher gerade bei statisch ausgereizten Tragwerken als Problemlöser an. Ihr niedriges Flächengewicht schlägt sich nicht nur in einem geringen Rohstoff- und Energieeinsatz nieder, sondern ermöglicht eine besonders ökonomische Bauweise.



QNG-konform

QNG steht für „Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude“. PU-Dämmstoffe mit „pure life“-Zertifizierung erfüllen die stofflichen QNG-Anforderungen an Schadstoffvermeidung in Dämmstoffen.¹ Sie sind gesundheitlich unbedenklich, emissionsfrei und damit für die Verwendung in Innenräumen uneingeschränkt geeignet. Dämmstoffe sparen generell während ihres Lebenszyklus wesentlich mehr Energie ein, als für die Herstellung aufgewendet werden muss. Damit leisten sie immer einen positiven Beitrag zur Nachhaltigkeit.²



Weiterverwertung von PU-Materialresten

Aus sortenreinen PU-Materialresten, die bei der Produktion oder der Verarbeitung an Baustellen anfallen, werden neue PU-Funktionswerkstoffe z. B. für Lichtkuppelbohlen, Attiken oder wärmebrückenfreie Anschlüsse hergestellt.



Fortlaufende Qualitätssicherung

CE-Kennzeichnung, Umwelt-Produktdeklarationen (EPDs), das „Q-Zeichen“ für zertifizierte PU-Dämmstoffeigenschaften und das „pure life“-Siegel für emissions- und schadstoffgeprüfte PU-Dämmstoffe geben Sicherheit für die Planung.

1 | Fraunhofer IBP: Konformität von werkseitig hergestellten PU-Dämmstoffplatten mit dem Qualitätssiegel „Nachhaltiges Gebäude QNG“. IBP-Bericht UHS-002/2023. Juli 2023, Stuttgart und Valley.
2 | Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Graue Energie und Graue Emissionen von Dämmstoffen im Vergleich zum Einsparpotenzial. Forschungsbericht FO-2020/06. Mai 2021, Gräfelfing.

3 | BAULICHER WÄRMESCHUTZ

Der energiesparende Wärmeschutz begrenzt die Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle. Zu den Anforderungen an die Wärmedämmung kommen weitere hinzu: die Vermeidung von Wärmebrücken, die Luft- und Winddichtheit sowie der sommerliche Wärmeschutz.

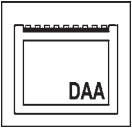
Vorgaben an den Mindestwärmeschutz (nach DIN 4108-2) verfolgen das Ziel, eine Kondensation der Luftfeuchte auf kalten Bauteiloberflächen auszuschließen und damit einem Befall mit Schimmelpilzen und -sporen in Wohnräumen vorzubeugen. Bei Bauteilen, die den energiesparenden Wärmeschutz gewährleisten, ist der Mindestwärmeschutz gegeben.

3.1 Nenn- und Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

Der Wärmeschutznachweis wird gemäß GEG (Gebäudeenergiegesetz) mit dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108-4 berechnet. Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von PU-Hartschaum-Dämmstoffen ist abhängig von der Deckschicht und der Dämmstoffdicke. Für PU-Dämmstoffe setzt er sich aus dem Nennwert mit einem Zuschlag von 3 %, jedoch

mindestens 1 mW, zusammen. Qualitätsüberwachte PU-Dämmstoffe mit Q-Zeichen der Qualitätsgemeinschaft Polyurethan-Hartschaum sind mit dem Nennwert, dem Anwendungstyp nach DIN 4108-10, der Klasse zum Brandverhalten und dem CE-Zeichen gekennzeichnet.

Tabelle 1: Nenn- und Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit sowie Druckfestigkeitswerte für PU-Hartschaum-Dämmstoffe im Flachdach

Anwendungstyp nach DIN 4108-10	Druckfestigkeit nach DIN 4108-10	PU-Dämmstofftyp	Nennwert der Wärmeleitfähigkeit	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit
 DAA Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtung	dh = hohe Druckbelastbarkeit (z. B. genutzte Dachflächen, Terrassen) Nenndruckfestigkeit für PU-Hartschaum: ≥ 100 kPa ds = sehr hohe Druckbelastbarkeit (z. B. Industrieböden, Parkdeck) Nenndruckfestigkeit für PU-Hartschaum: ≥ 150 kPa	PU-Hartschaum-Dämmplatte mit Alu- oder Mineralvliesdeckschicht oder unkaschiert	0,022 bis 0,028 W/(m·K)	0,023 bis 0,029 W/(m·K)^{*)}

^{*)} Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit entspricht Nennwert + 1 mW/(m·K).

3.2 U-Wert-Anforderungen für Flachdächer

Der U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) gilt als entscheidende Größe, wenn die energetische Qualität eines Bauteils bewertet werden soll. Je kleiner der U-Wert, desto geringer der Wärmeabfluss durch das Bauteil. Der U-Wert hat die Maßeinheit $W/(m^2 \cdot K)$

und gibt an, welche Wärmemenge pro Quadratmeter Dachfläche und Stunde fließt, wenn Außen- und Innenluft einen konstanten Temperaturunterschied von einem Kelvin (1 K) aufweisen.

Tabelle 2: Beispielhafte U-Wert-Anforderungen für Flachdächer

	Wohngebäude oder Zonen von Nicht-Wohngebäuden $\geq 19^\circ C$	Nicht-Wohngebäude $12^\circ C$ bis $< 19^\circ C$
Anforderungen Neubau	U-Werte	
GEG (Anlage 1) Neubau Technische Ausführung des Referenzgebäudes	$U \leq 0,20 W/(m^2 \cdot K)$	$U \leq 0,35 W/(m^2 \cdot K)$
GEG (Anlage 5) Neubau Vereinfachtes Nachweisverfahren für ein zu errichtendes Wohngebäude	$U \leq 0,14 W/(m^2 \cdot K)$	Nur für Wohngebäude
GEG Abschnitt 2 Orientierungswerte für Neubauten (entsprechend EH 55)	$U \leq 0,14 W/(m^2 \cdot K)$	$U \leq 0,24 W/(m^2 \cdot K)^{*}$
BEG KfN/BEG NWG Orientierungswerte für klimafreundliche Neubauten mit QNG-Zertifizierung (EH 40 NH)	$U \leq 0,11 W/(m^2 \cdot K)^{**}$	$U \leq 0,19 W/(m^2 \cdot K)^{**}$
Anforderungen Sanierung	U-Werte	
GEG (Anlage 7) Anforderung an Sanierung	$U \leq 0,20 W/(m^2 \cdot K)$	$U \leq 0,35 W/(m^2 \cdot K)$
BEG EM Richtlinie Einzelmaßnahme Sanierung	$U \leq 0,14 W/(m^2 \cdot K)$	$U \leq 0,20 W/(m^2 \cdot K)$
ESanMV Energetische Sanierungsmaßnahmen-Verordnung ***)	$U \leq 0,14 W/(m^2 \cdot K)$	Nur für selbstgenutzte Wohngebäude.

*) Orientierender U-Wert für zu errichtende Gebäude mit $H'_T = 55\%$ (entsprechend GEG Abschnitt 2 Anforderungen Neubauten, Unterabschnitt 2 Nichtwohngebäude).

**) Orientierende U-Werte für zu errichtende Gebäude, U-Werte des vereinfachten Nachweisverfahrens nach GEG Anlage 5 ($H'_T = 70\%$ von $H'_{T,Ref}$), extrapoliert auf die Anforderungen an ein EH 40 ($H'_T = 55\%$ von $H'_{T,Ref}$).

***) Steuerermäßigung nach § 35c EStG für energetische Maßnahmen bei zu eigenen Wohnzwecken genutzten Gebäuden.

4 | ANFORDERUNGEN AN DIE DRUCKFESTIGKEIT VON DÄMMSTOFFEN IM FLACHDACH

Nicht jeder Dämmstoff kann für genutzte Flachdächer eingesetzt werden. Die Aufgabe der Wärmedämmung auf der Dachfläche ist es, die auftretenden Lasten wärmebrücken- und schadensfrei, d. h. verformungsarm, in die tragende Decke abzuleiten. Die Anforderungen an Dämmschichten sind in DIN 4108-10 festgelegt. In genutzten Flachdächern dürfen ausschließlich hoch druckbelastbare Dämmstoffe gemäß DIN 4108-10 eingesetzt werden. Nur diese Dämmstoffe sind hinreichend widerstandsfähig gegen statische und dynamische Lasten, die in genutzten Dächern auftreten. Die Anforderungen an die Druckfestigkeitsklassen nach DIN 4108-10 sind werkstoffspezifisch, also für jede Dämmstoffart gesondert geregelt. PU-Hartschaum-Dämmstoffe, die den Anwendungstypen DAA dh (hohe Druckbelastbarkeit) und DAA ds (sehr hohe Druckbelastbarkeit) entsprechen, sind für genutzte Flachdächer bestens geeignet.

Druckspannung und Druckfestigkeit

Die Druckspannung wird bei einer Stauchung von 10 % der Dicke ermittelt. Als Druckfestigkeit bezeichnet man die maximale, kurzzeitig auftretende Spannung bis zum Erreichen der Bruchgrenze. Die Werte bei 10 % Stauchung erlauben einen Vergleich der Druckfestigkeit verschiedener Dämmstoffe, sind aber als Grundlage für die Bemessung nicht geeignet. Unter baukonstruktiven Gesichtspunkten sollte die Stauchung der Dämmschicht 2 % nicht überschreiten. Bei stärkerer Verformung besteht die Gefahr, dass die Dachhaut beschädigt wird.

Genutzte Dächer müssen für die regelmäßige Begehung geeignet sein, sei es für die Nutzung als Dachterrasse oder für Wartungszwecke bei Grün- und Solardächern. In der Bauphase können auch Baumaterial oder Geräte auf der Dachfläche gelagert werden. Kurzzeitig kann PU-Hartschaum der Anwendungstypen DAA dh bis 60 kPa und DAA ds bis 90 kPa belastet werden, ohne dass die Verformungsgrenze von 2 % überschritten wird. Bei dieser Druckbelastung verhält sich PU-Hartschaum ideal elastisch, das heißt, nach Entlastung stellt sich der Dämmstoff wieder in die ursprüngliche Dicke zurück. Grundsätzlich ist die Dachabdichtung vor scharfen Kanten zu schützen. Um Schäden durch punktuelle mechanische Belastungen zu vermeiden, sollten insbesondere während der Montagearbeiten Laufwege und Lagerflächen durch Abdeckungen geschützt werden. Gleichzeitig sind z. B. Dachaufbauten oder Stelzlager mit ausreichend bemessener Auflagerfläche zu versehen und so einzubauen und zu verankern, dass unplanmäßige Lastspitzen durch Kippen oder Verkranten vermieden werden.

Bei permanenten Lasten trägt der Dämmstoff eine ausreichende Zeitstanddruckfestigkeit besitzen. Bei der Bemessung ist die zeitabhängige plastische Verformung unter Last (auch als „Kriechen“ bezeichnet) zu berücksichtigen. Diese darf auch bei einer Belastungsdauer von 50 Jahren die Grenze von 2 % nicht übersteigen. PU-Dämmplatten des Anwendungstyps DAA dh erfüllen diese extremen Anforderungen selbst dann, wenn sie permanent über 20 Jahre mit 20 kPa (entsprechend 2.000 kg/m²) belastet werden. Der PU-Anwendungstyp DAA ds ist sogar mit 30 kPa (entsprechend 3.000 kg/m²) belastbar. Diese hohe Dauerhaftigkeit bietet verlässliche Sicherheit gegen Beschädigungen der Dachhaut.

Tabelle 3: Lastfälle und Eigenschaftswerte von PU-Hartschaum-Dämmstoffen

Lastfall	Eigenschaft	Prüfnorm	PU-Dämmstoff DAA dh [kPa]	PU-Dämmstoff DAA ds [kPa]
	Druckspannung/Druckfestigkeit bei 10 % Stauchung	EN 826	100	150
Kurzzeitige statische Belastung, z. B. Materiallagerung während der Bauphase	Druckspannung bei 2 % Stauchung	EN 826	60	90
Windkräfte, Verkehrslasten, Begehung	Dynamische Druckbelastung bei max. 2 % Stauchung	–	60 ^{*)}	90 ^{*)}
Permanente Lasten, z. B. Solaranlage mit Beschwerung	Zeitstanddruckfestigkeit bei Druckbeanspruchung, bei max. 2 % Stauchung	EN 1606	20	30

^{*)} Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München: „Development of a test method to determine walkability“, Test Report 26.05.2010. Gefördert durch PU Europe, Brüssel. Bei dem Prüfverfahren wird der Druck zyklisch bis zur jeweiligen Belastungsstufe aufgebracht. Belastung und Entlastung wechseln sich ab. Dabei sollen die Dämmschichten nicht mehr als 2 % gestaucht und in ihrer Struktur nicht verändert werden. Die bleibende (plastische) Verformung nach der Entlastung soll nicht mehr als 0,5 % betragen. PU-Hartschaum des Anwendungstyps DAA dh wird durch zyklisch wiederkehrende Belastungen bis 60 kPa nicht dauerhaft verformt oder geschädigt. PU-Hartschaum des Anwendungstyps DAA ds kann sogar bis 90 kPa zyklisch belastet werden.

5 | WITTERUNGSSCHUTZ UND KLIMABEDINGTER FEUCHTESCHUTZ

Flachdächer müssen vor Durchnässung von außen und vor Feuchtigkeit aus Innenräumen geschützt werden. Der äußere Schutz vor Regen erfolgt durch die Dachabdichtung. Der innere Schutz gilt dem Tauwasser, der Bauteilfeuchte oder auch einer nutzungsbedingten Feuchtigkeit. Dieser Feuchteschutz wird im Flachdach zumeist durch eine Dampfsperre auf der Tragkonstruktion hergestellt. Feuchtigkeitsprobleme entstehen durch Wasserdampfdiffusion von der warmen zur kalten Bauteilseite. Sie kann nur durch richtig angeordnete und dimensionierte Dampfsperren begrenzt werden. Wird diese Diffusion nicht durch einen geeigneten Schichtaufbau minimiert, entsteht Tauwasser.

Eine luftdicht verklebte und angeschlossene Dampfsperre vermeidet konvektiven Wasserdampftransport und schützt die Dachkonstruktion vor Feuchteschäden. Die Anforderungen an

den Tauwasserschutz sind in der DIN 4108-3 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz“ festgelegt und werden im Merkblatt „Wärmeschutz bei Dach und Wand“ des ZVDH³ erläutert.

Zur Vermeidung von Schimmelbildung darf an der raumseitigen Bauteiloberfläche eine relative Luftfeuchte von 80 % nicht überschritten werden. Die Einhaltung dieser Anforderung ist bei Bauteilen, die den gesetzlichen Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz entsprechen, gegeben, sodass bei üblichen Nutzungsarten wie Wohn- oder Büronutzung kein Schimmelrisiko besteht. Dies gilt insbesondere für nachweisfreie Flachdachkonstruktionen mit PU-Aufdachdämmung nach DIN 4108-3. Deshalb können diese Konstruktionen ohne weiteren Feuchteschutznachweis eingesetzt werden.

5.1 Tauwasser und Rücktrocknung

Im Winter herrscht außen eine geringere Wasserdampfkonzentration als im Gebäudeinneren. Die Folge ist ein Dampfdruckgefälle von innen nach außen. Tauwasser im Bauteilinneren fällt an, wenn der Dampfdruckverlauf an einer oder mehreren Stellen im Schichtenaufbau den dort möglichen Sättigungsdampfdruck überschreitet. Dann ist an dieser Stelle eine 100%ige Luftfeuchtigkeit erreicht, die zu Wasser kondensiert. Ob es dazu kommt, hängt vom Zusammenspiel aus Dampfdruckverlauf und Temperaturverteilung im Bauteil ab, das heißt, von der Schichtenfolge hinsichtlich Diffusionswiderstand und Wärmedurchlasswiderstand.

Sonneneinstrahlung und hohe Temperaturen bewirken Rücktrocknungsvorgänge, bei denen ggf. ausgefallenes Tauwasser zum Innenraum verdunstet. Tauwassermengen, die eine gewisse Grenze nicht überschreiten und denen eine ausreichende

Rücktrocknung gegenübersteht, bleiben dauerhaft unschädlich. Deshalb müssen Reihenfolge und Eigenschaften der Schichten so aufeinander abgestimmt sein, dass aus der diffundierenden Feuchtigkeit kein Übermaß an flüssigem Wasser im Bauteilinneren („Tauwasser“) entstehen kann und gleichzeitig eine ausreichende Verdunstung gesichert ist.

Die Rücktrocknung wird durch Bauteilschichten mit hohem Diffusionswiderstand eingeschränkt, aber auch durch eine Verschattung von außen oder durch Dachbeläge, die zu einer verminderten Aufheizung der Abdichtungsbahn führen (z. B. Gehbeläge, Vegetations- oder Kiesschichten). Die bauphysikalische Beurteilung genutzter Flachdächer ist daher anspruchsvoll. Dies betrifft vor allem das Periodenbilanzverfahren zur Berechnung von Diffusionsvorgängen nach Glaser, das nicht für alle Flachdachaufbauten angewendet werden darf (siehe Kapitel 5.2).

Tauwasserbildung im Bauteilinneren ist nach DIN 4108-3 unschädlich, wenn:

- die Baustoffe, die mit Tauwasser in Berührung kommen, dadurch nicht geschädigt werden;
- das Tauwasser, das im Winter entsteht, im Sommer wieder rückstandsfrei austrocknen kann (nach innen wie nach außen);
- die flächenbezogene Tauwassermenge im Berechnungsverfahren nach DIN 4108-3 Anhang A an der Entstehungsstelle bei saugfähigen Baustoffen insgesamt $1,0 \text{ kg/m}^2$ und bei nicht saugfähigen Baustoffen $0,5 \text{ kg/m}^2$ nicht übersteigt;
- das Tauwasser nicht zur schädlichen Erhöhung der Holzfeuchte führt, d. h. wenn die Holzfeuchte bei Vollholz um nicht mehr als 5 %-Punkte und bei Holzwerkstoffen um nicht mehr als 3 %-Punkte erhöht wird. Diese Grenzen gelten nicht für Holzwohle-Leichtbauplatten und Mehrschicht-Leichtbauplatten nach DIN EN 13168.



Für beidseitig diffusionshemmend geschlossene Holzbauteile sieht die DIN 68800-2 die Berücksichtigung einer zusätzlichen Trocknungsreserve beim Tauwassernachweis vor. Dies dient als Sicherheit gegenüber Kondensatbildung, die entsteht, wenn feuchte Raumluft durch Undichtheiten eindringen kann. Die Trocknungsreserve ist nicht erforderlich, wenn die eindringende Raumluft nur solche Bereiche im Bauteil erreichen kann, die wärmer sind als die Kondensationstemperatur („Taupunkt“) der Raumluftfeuchte.

Relative Luftfeuchte:
 φ = Relative Luftfeuchte
Einheit: %

Die relative Luftfeuchte gibt an, wie viel der maximal möglichen Wasserdampfmenge bereits in der Luft enthalten ist (bzw. wie viel Prozent des Sättigungsdampfdrucks bei einer bestimmten Temperatur erreicht sind). Bei gleicher Wasserdampfmenge in der Luft erhöht sich die relative Luftfeuchte mit sinkender Temperatur.

Äquivalente Luftschichtdicke s_d (s_d -Wert)

Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d (s_d -Wert) ist ein bauphysikalisches Maß für den Wasserdampfdiffusionswiderstand eines Bauteils oder einer Bauteilschicht und definiert so dessen Eigenschaft als Dampfbremse.

Den nachweisfreien Bauteilen in DIN 4108-3 sind unterschiedliche s_d -Werte für die diffusionshemmende Schicht unter der Wärmedämmung zugeordnet. Den s_d -Wert berechnet man aus der werkstoffspezifischen Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ mal der Dicke des Werkstoffes (in Meter):

$$s_d = \mu [-] \cdot d [m]$$

Der s_d -Wert eines Bauteils ergibt sich aus der Summe der s_d -Werte der einzelnen Bauteilschichten. Definition von Bauteilschichten bezüglich ihrer Wasserdampfdurchlässigkeit entsprechend DIN 4108-3:

- diffusionsoffen $s_d \leq 0,5 \text{ m}$
- diffusionsbremsend $0,5 \text{ m} < s_d \leq 10 \text{ m}$
- diffusionshemmend $0,5 \text{ m} < s_d \leq 100 \text{ m}$
- diffusionssperrend $100 \text{ m} < s_d < 1.500 \text{ m}$
- diffusionsdicht $s_d \geq 1.500 \text{ m}$



5.2 Feuchtetechnische Beurteilung genutzter Flachdächer

Heutige Anforderungen an den Wärme- und Feuchteschutz sind häufig nur durch mehrschichtige Bauteile mit einer abgestimmten Schichtenfolge sicher und wirtschaftlich zu erfüllen. Im Flachdach zählen Aufbauten mit einer PU-Aufdachdämmung zu den effizientesten und wirtschaftlichsten Lösungen. Die Kombination mit weiteren Dämmschichten, in der Ebene der Tragkonstruktion oder raumseitig angebracht, erhöht den Stellenwert einer feuchtetechnischen Beurteilung.

Das in DIN 4108-3 verankerte Glaser-Verfahren (Periodenbilanzverfahren) lässt sich nicht für alle Flachdachkonstruktionen ansetzen. Dazu gehören z. B. gedämmte Holzdachkonstruktionen mit Abdichtung auf Schalung oder Beplankung ohne Hinterlüftung der Abdichtungsunterlage, begrünte und bekieste Dachkonstruktionen sowie Dachkonstruktionen mit Plattenbelägen und Holzrosten. Die starke Vereinfachung des Glaser-Verfahrens mit stationären, vereinfachten Rahmenbedingungen (idealisierte Tauwasserperiode und idealisierte Verdunstungsperiode für ein

sogenanntes Blockklima) ermöglicht zwar eine schnelle Ergebnisdarstellung für die anfallende Diffusionsfeuchte und den Wärmedurchgangskoeffizienten eines Bauteils. Die realen Verhältnisse innerhalb des Bauteils werden jedoch nicht dargestellt.

Die feuchtetechnische Beurteilung der Materialkombinationen im Flachdach wird durch die kürzlich ergänzte Auflistung nachweisfreier Bauteile in DIN 4108-3 vereinfacht. Hier werden bauphysikalisch sichere Konstruktionen aufgeführt, für die kein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls infolge Wasserdampfdiffusion erforderlich ist.

Flachdachkonstruktionen, für die das stationäre Berechnungsverfahren nach DIN 4108-3 Anhang A nicht anwendbar ist und die keinem nachweisfreien Aufbau zugeordnet werden können, benötigen einen feuchtetechnischen Nachweis mit hygrothermischer Simulation.

5.3 Nachweisfreie Flachdachaufbauten nach DIN 4108-3

Die nachweisfreien Flachdachaufbauten mit PU-Aufdachdämmung nach DIN 4108-3, die in dieser Planungshilfe (Kapitel 6.1.1 bis 6.1.4 und 6.2.1) vorgestellt werden, sind nachgewiesen sicher und benötigen deshalb keinen individuellen Feuchteschnachweis. Das gilt auch bei Verschattung der Dachfläche durch Solarmodule.

Die DIN 4108-3 ist in der MVV TB Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen enthalten und gilt damit als bauaufsichtlich eingeführt und ihre Anforderungen gelten als baurechtlich vorgeschrieben. Die konstruktiven Maßnahmen, die den Wärme- und den Feuchteschutz bei Neubau oder Sanierung eines Daches sicherstellen, können damit vom Handwerker zweifelsfrei beurteilt werden.

6 | GENUTZTE FLACHDÄCHER MIT UNTERSCHIEDLICHEN TRAGKONSTRUKTIONEN

6.1 Flachdächer mit PU-Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion

Ob auf massivem Stahlbeton oder einer leichten Unterkonstruktion – nicht belüftete Flachdächer mit einer Aufdachdämmung oberhalb der Dampfsperre auf der Tragkonstruktion sind nach DIN 4108-3 nachweisfrei und sicher. Das gilt auch für Aufbauten mit einer raumseitigen Unterkonstruktion inklusive geringfügiger raumseitiger Dämmschichten, mit einem maximalen R-Wert von 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands. Durch die Dachabdichtung sind Tragkonstruktion und Wärmedämmung sicher vor Feuchtigkeit geschützt. Die mechanische Belastbarkeit des Schichtenaufbaus ist insbesondere für eine Dachflächennutzung vorteilhaft.

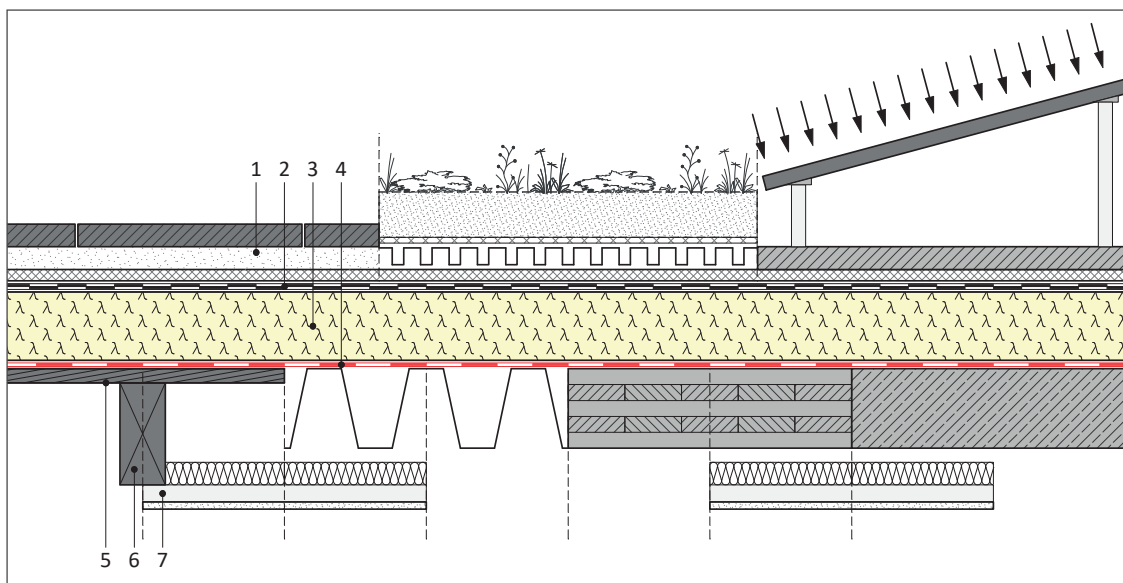
Wärmedurchlasswiderstand (R-Wert)

Der Wärmedurchlasswiderstand beschreibt die Wärmedämmwirkung einer Bauteilschicht, wie z. B. einer Gefach- oder einer Aufdachdämmung. Der R-Wert ist der Quotient aus der betreffenden Schichtdicke d [m] und dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_b [W/(m·K)].

$$R = d/\lambda_b$$

Einheit: [(m²·K)/W]

Grafik 1: Genutzte Dachfläche mit PU-Dämmung oberhalb verschiedener Tragkonstruktionen



- 01 | Auflast/Dachbelag (Plattenbelag, Begrünung, Solaranlagen)
- 02 | Dachabdichtung
- 03 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 04 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100$ m
- 05 | Ggf. Schalung

- 06 | Tragkonstruktion
- 07 | Raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung, **höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands** – in Verbindung mit Schicht 6

Gemäß DIN 4108-3 dürfen in der Dachfläche keine Hölzer oder Holzwerkstoffe in der Dämmebene eingebaut werden. Werden die diffusionsdichten PU-Dämmelemente auf Massivdecken in vollflächigen Klebmassen verlegt, dann kann auf eine zusätzliche diffusionshemmende Schicht zwischen Dämmung und Massivdecke verzichtet werden.

Bei Dachbegrünungen oder massiven Terrassenbelägen in der Bettungsschicht sollte der s_d -Wert der Dachabdichtung ≥ 100 m betragen. Bei diffusionsdichten PU-Dämmelementen mit einem s_d -Wert ≥ 1.500 m kann die Dachabdichtung niedrigere s_d -Werte aufweisen.

Tabelle 4: Dimensionierung der PU-Aufdachdämmung (alukaschiert) mit raumseitiger Bekleidung und Unterkonstruktion (inkl. Dämmung im Gefach mit $R_{\max} \leq 20\%$ von R_{ges})

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	Dämmstoffdicke in mm						
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m ² ·K)	Aufdachdämmung: PU-Hartschaum						
		80	100	120	140	160	180	200
Mineralwolle/ Holzfaser		Dämmung im Gefach ^{*)} mit $R_{\max} \leq 20\%$ von $R_{\text{gesamt}} \text{ (PU + MW/WF)}$						
	0,035 W/(m ² ·K)	30	30	40	50	60	60	70
	0,038 W/(m ² ·K)	30	40	40	50	60	70	80
	0,040 W/(m ² ·K)	30	40	50	60	60	70	80

^{*)} Dämmstoffdicke im Gefach: Werte sind gerundet.

Tabelle 5: Dimensionierung der PU-Aufdachdämmung (mineralvlieskaschiert/unkaschiert) mit raumseitiger Bekleidung und Unterkonstruktion (inkl. Dämmung im Gefach mit $R_{\max} \leq 20\%$ von R_{ges})(inkl. Dämmung im Gefach mit $R_{\max} \leq 20\%$ von R_{ges})

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	Dämmstoffdicke in mm						
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/unkaschiert	0,026 W/(m ² ·K) 0,027 W/(m ² ·K)	Aufdachdämmung: PU-Hartschaum ^{*)}						
		80	100	120	140	160	180	200
Mineralwolle/ Holzfaser		Dämmung im Gefach ^{**)} mit $R_{\max} \leq 20\%$ von $R_{\text{gesamt}} \text{ (PU + MW/WF)}$						
	0,035 W/(m ² ·K)	20	30	40	40	50	60	60
	0,038 W/(m ² ·K)	20	30	40	50	50	60	70
	0,040 W/(m ² ·K)	20	30	40	50	60	60	70

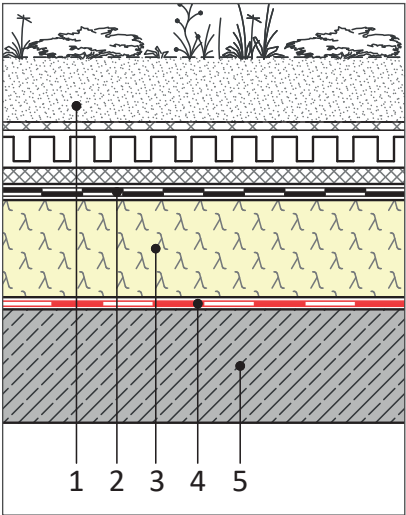
^{*)} Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 027 bei 80 mm ≤ d < 120 mm und mit WLS 026 bei d ≥ 120 mm. Die Dicke der unkaschierten Gefälledämmung aus PU-Blockschaum errechnet sich nicht aus der Mindestdicke sondern aus der mittleren Schichtdicke nach DIN EN ISO 6946.

^{**)} Dämmstoffdicke im Gefach: Werte sind gerundet.

6.1.1 Massives Betondach

Durch ihre hohe Masse bieten massive Stahlbetondächer einen guten Schallschutz. Das heißt nicht nur Schutz vor äußerem Lärm, sondern auch Schutz der Umwelt vor Lärm aus dem Gebäude. Deshalb eignen sich Stahlbetondächer auch für Gewerbebauten, wie etwa Produktions- oder Industriehallen. Ein Massivdach ist mechanisch hoch belastbar und wirkt sich positiv auf

das Innenraumklima aus. Die schweren Dachbauteile verfügen über eine hohe Wärmespeicherfähigkeit und können daher Wärme – etwa durch Sonneneinstrahlung auf die Dachfläche – besser zwischenspeichern als eine Holztragkonstruktion. Das Raumklima ist bei entsprechend guter Wärmedämmung im Obergeschoss ebenso angenehm wie im Erdgeschoss.



Grafik 2: PU-Dämmung auf Massivdecke (Beton)

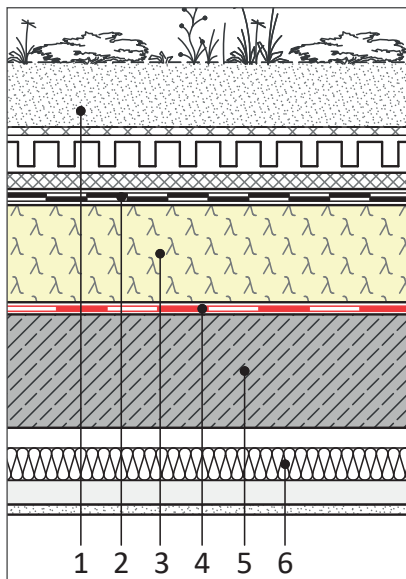
- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Tragkonstruktion (Beton)

Tabelle 6: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf Massivdecke (Beton)

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte $W/(m^2 \cdot K)$				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 $W/(m^2 \cdot K)$	220	160	120	100	60
PU-Hartschaum mineralvlies- kaschiert/ unkaschiert	0,026 $W/(m^2 \cdot K)$ 0,027 $W/(m^2 \cdot K)$	240	180	140	120	80

*) Dämmstoffdicke: Werte sind gerundet.
Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 027 bei $80 \text{ mm} \leq d < 120 \text{ mm}$ und mit WLS 026 bei $d \geq 120 \text{ mm}$. Bei einer unkaschierten Gefälle dämmung aus PU-Blockschaum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} . Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.



Grafik 3: PU-Dämmung auf Massivdecke (Beton) und raumseitiger Bekleidung mit Unterkonstruktion (inkl. Dämmung)

- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Tragkonstruktion (Stahlbeton)
- 6 | Raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung, höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands

Tabelle 7: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf Massivdecke (Beton) sowie der geringfügigen Dämmung in der Unterkonstruktion

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm Aufdachdämmung in Kombination mit raumseitiger Gefachdämmung mit R ≤ 20 % von R _{gesamt} (PU + MW/WF)				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	220	160	120	100	60
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	40 bis max. 70	30 bis max. 60	20 bis max. 40	20 bis max. 30	20
PU-Hartschaum mineralvlies- kaschiert/ unkaschiert	0,026 W/(m²·K) 0,027 W/(m²·K) 0,028 W/(m²·K)	200	160	120	100	60
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	40 bis max. 70	30 bis max. 60	20 bis max. 40	20 bis max. 30	20

*) Dämmstoffdicke im Gefach: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet.

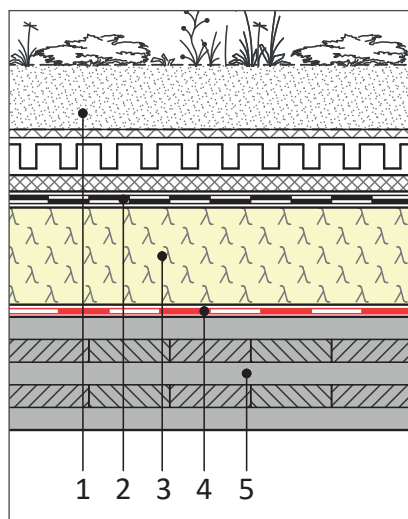
Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 028 bei $d < 80 \text{ mm}$, mit WLS 027 bei $80 \text{ mm} \leq d < 120 \text{ mm}$ und mit WLS 026 bei $d \geq 120 \text{ mm}$. Bei einer unkaschierten Gefächdämmung aus PU-Blockschaum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} . Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

6.1.2 Massives Holzdach

Für ein massives Holzflachdach eignen sich z. B. flächige Brettsperrholz- oder Brettstapelelemente als Deckenkonstruktion. Durch die flächige Lastabtragung lassen sich Bauteile mit geringerer Bauteilhöhe realisieren. So ist für diese Holztragkonstruktion nur die statisch notwendige Höhe erforderlich. Die witterungsunabhängige Produktion der großflächigen, fertig abgebundenen Deckenbauteile im Werk erlaubt einen hohen Vorfertigungsgrad. Die Brettsperrholzelemente sind trocken und tragen daher keine Feuchte in das Bauwerk ein. Im Vergleich zu anderen Massivdecken wie z. B.

Stahlbeton haben sie eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und tragen bereits zum Wärmeschutz bei. Die fachgerecht ausgeführte Dampfsperre, die zwischen Holztragkonstruktion und PU-Aufdachdämmung verlegt wird, stellt den klimabedingten Feuchteschutz und die Luftdichtheit des Bauteils sicher. Die Holzkonstruktion des Flachdachs liegt im warmen Bereich und bleibt trocken. Eventuell vorhandene Baufeuchte in den Holzbauteilen kann zum Raum hin rasch austrocknen.



Grafik 4: PU-Dämmung auf Massivholzdecke

- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Tragkonstruktion (Massivholzdecke)

Tabelle 8: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf Massivholzdecke

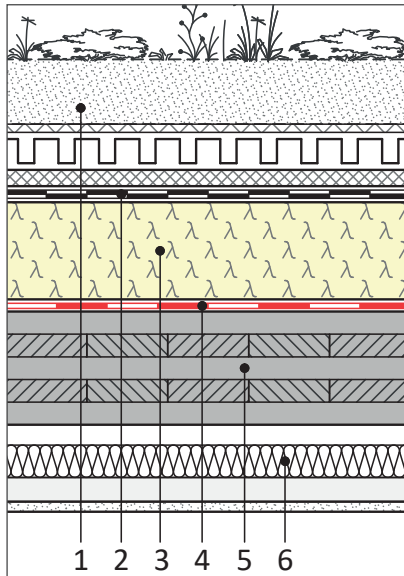
Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte $W/(m^2 \cdot K)$				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 $W/(m^2 \cdot K)$	180	140	100	80	50
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/ unkaschiert	0,026 $W/(m^2 \cdot K)$ 0,027 $W/(m^2 \cdot K)$ 0,028 $W/(m^2 \cdot K)$	200	160	120	100	50

*) Dämmstoffdicke im Gefach: Werte sind gerundet.

Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 028 bei $d < 80 \text{ mm}$, mit WLS 027 bei $80 \text{ mm} \leq d < 120 \text{ mm}$ und mit WLS 026 bei $d \geq 120 \text{ mm}$.

Bei einer unkaschierten Gefälledämmung aus PU-Blockschaum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie einer 120 mm dicken Massivholzdecke. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.



Grafik 5: PU-Dämmung auf Massivholzdecke und raumseitiger Bekleidung mit Unterkonstruktion (inkl. Dämmung)

- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Tragkonstruktion (Massivholzdecke)
- 6 | Raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung, höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands

Tabelle 9: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf Massivholzdecke sowie der geringfügigen Dämmung in der Unterkonstruktion

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm Aufdachdämmung in Kombination mit raumseitiger Gefachdämmung mit R ≤ 20 % von R _{gesamt} (PU + MW/WF)				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	160	140	80	80	50
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	30 bis max. 60	30 bis max. 60	20 bis max. 30	0 bis max. 30	0 bis max. 20
PU-Hartschaum mineralvlies- kaschiert/ unkaschiert	0,026 W/(m²·K) 0,027 W/(m²·K) 0,028 W/(m²·K)	180	140	100	80	50
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	30 bis max. 60	20 bis max. 50	20 bis max. 30	20	0 bis max. 10

*) Dämmstoffdicke im Gefach: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet.

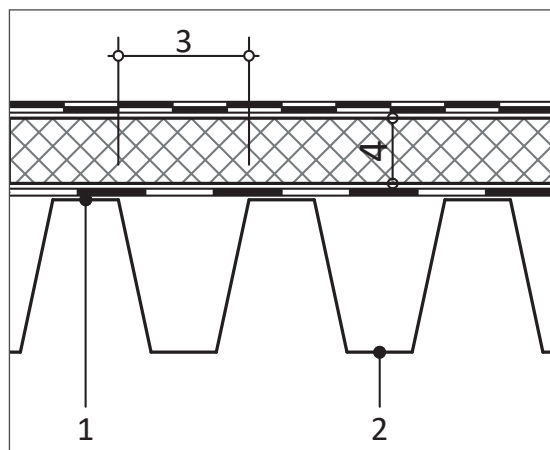
Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 028 bei $d < 80 \text{ mm}$, mit WLS 027 bei $80 \text{ mm} \leq d < 120 \text{ mm}$ und mit WLS 026 bei $d \geq 120 \text{ mm}$. Bei einer unkaschierten Gefächdämmung aus PU-Blockschaum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie einer 120 mm dicken Massivholzdecke. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

6.1.3 Stahlleichtdach

Großflächige Flachdächer werden bevorzugt in Stahlleichtbauweise errichtet. Die besonderen Merkmale einer Industrieleichtdach-Konstruktion sind große Spannweiten bei niedrigem Gewicht, günstige Herstellkosten und kurze Bauzeiten. Es haben sich vor allem Bauweisen mit einer Tragschale aus Trapezprofilblechen in Verbindung mit großformatigen, mechanisch befestigten Dämm-

platten und mechanisch befestigter Abdichtung etabliert. Die großformatigen und schlanken PU-Dämmelemente belasten die Tragfähigkeit der Dachkonstruktion durch ihr geringes Eigengewicht kaum. Das Tragwerk kann kostengünstig ausgeführt werden.



Grafik 6: Überbrückung der lichten Weite zwischen den Obergurten

- 1 | Obergurt
- 2 | Untergurt
- 3 | Lichte Weite (Abstand zwischen zwei Obergurten)
- 4 | Mindestdicke für den Dämmstoff

Bei Trapezprofilblechen muss die notwendige Überbrückung der lichten Weite zwischen den Obergurten berücksichtigt werden. Der Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks empfiehlt in seiner Flachdachrichtlinie Mindestdicken für die Wärmedämmung.

Tabelle 10: Minstdämmstoffdicken auf Trapezprofilblechen – Empfehlungen der Flachdachrichtlinie des ZVDH⁴

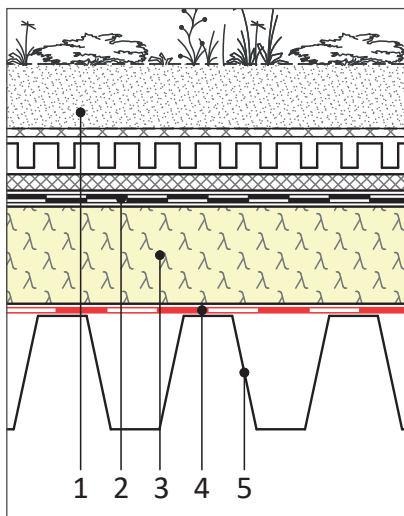
Größte lichte Weite zwischen den Obergurten in mm	Wärmedämmstoff Mindestdicke in mm			
	PU/PUR/PIR	EPS	MW	Schaumglas
70	40	40	50	40
100	50	50	80	50
130	60	60	100	60
150	60	70	120	70
160	70	80	120	80
170	80	90	140	90
180	80	100	140	90

⁴ | Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks und Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Hrsg.): Deutsches Dachdeckerhandwerk – Regelwerk: Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie, Kapitel 3.4 Wärmedämmung, Tabelle 4 Empfohlene Minstdicken auf Trapezprofilen. Ausgabe Dezember 2016 mit Änderungen November 2017, Mai 2019 und März 2020, Köln.

Im Brandfall bilden PU-Dämmstoffe im Stahlleichtdach mit anderen Funktionsschichten ein schützendes System. PU-Hartschaum schmilzt nicht, tropft weder brennend noch nicht brennend ab und glimmt nicht. Die Industriebaulinie lässt die in DIN 18234-2 beschriebenen Dachaufbauten mit PU-Dämmung ohne weiteren Nachweis zu. Eine zusätzliche Schutzschicht wie z. B. für EPS ist nicht erforderlich.

In der Praxis haben großflächige Dächer viele Durchdringungen. Sie sind so auszubilden, dass sie eine Weiterleitung von Bränden behindern. Wie bei nichtbrennbaren Dämmstoffen kann der nach

DIN 18234 rund um Durchdringungen erforderliche Sicherheitsstreifen auch mit PU-Hartschaum nach DIN EN 13165 ausgeführt werden, wobei die Befestiger entlang der Durchdringung einen Abstand von maximal 600 mm aufweisen. Somit können PU-Flachdachdämmungen ohne Materialwechsel an große und mittlere Durchdringungen herangeführt werden. Für die bauaufsichtliche Anforderung „Harte Bedachungen“ gilt: Normalentflammbare PU-Dämmstoffe erfüllen in Verbindung mit den bauüblichen Abdichtungen und Deckungen die Anforderungen der Landesbauordnungen an die Widerstandsfähigkeit gegen Flugfeuer und strahlende Wärme.



Grafik 7: PU-Dämmung auf Trapezprofilblech

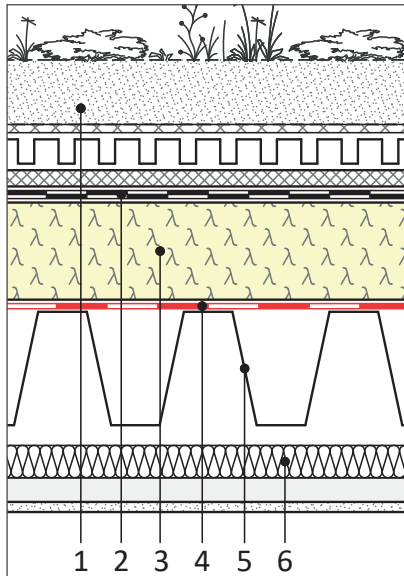
- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Tragkonstruktion (Trapezprofilblech)

Tabelle 11: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf Trapezprofilblech

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	Dämmstoffdicke ^{*)} in mm				
		220	160	120	100	70

^{*)} Dämmstoffdicke im Gefach: Werte sind gerundet.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} . Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.



Grafik 8: PU-Dämmung auf Trapezprofilblech und raumseitiger Bekleidung mit Unterkonstruktion (inkl. Dämmung)

- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Tragkonstruktion (Trapezprofilblech)
- 6 | Raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung, höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands

Tabelle 12: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf Trapezprofilblech sowie der geringfügigen Dämmung in der Unterkonstruktion

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm Aufdachdämmung in Kombination mit raumseitiger Gefachdämmung mit R ≤ 20 % von R _{gesamt} (PU + MW/WF)				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	180	140	100	80	60
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	40 bis max. 70	30 bis max. 60	20 bis max. 40	20 bis max. 30	20

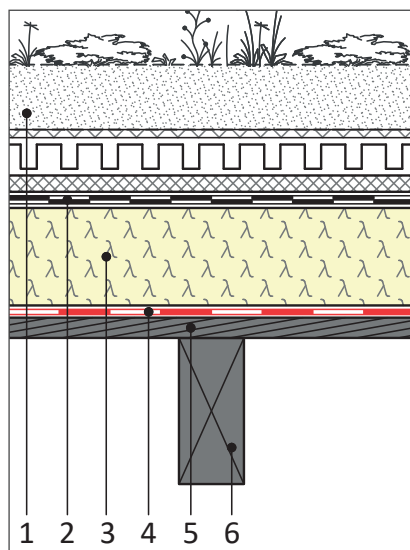
*) Dämmstoffdicke im Gefach: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} . Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

6.1.4 Flachdach mit Holzbalkendecke

Genutzte Flachdächer mit Holzbalkendecken können vor allem im Neubau sicher und wirtschaftlich ausgeführt werden. Wasserfeste, druckfeste und dauerhafte PU-Aufdachdämmplatten geben der Tragkonstruktion Schutz. Für die Holztragkonstruktion ist nur die statisch notwendige Höhe erforderlich. Für den Schallschutz kann in die raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion auch eine geringe Dämmung eingebracht werden. Die Dämmung darf höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands betragen.

Die fachgerecht ausgeführte Dampfsperre, die zwischen der Schalung und PU-Wärmedämmung angeordnet wird, stellt den klimabedingten Feuchteschutz und die Luftdichtheit des Bauteils sicher. Die Holzkonstruktion des Flachdachs liegt im warmen Bereich und bleibt trocken.



Grafik 9: PU-Dämmung auf der Holzbalkendecke mit Schalung

- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Schalung
- 6 | Tragkonstruktion (Holzbalkenkonstruktion mit Schalung)

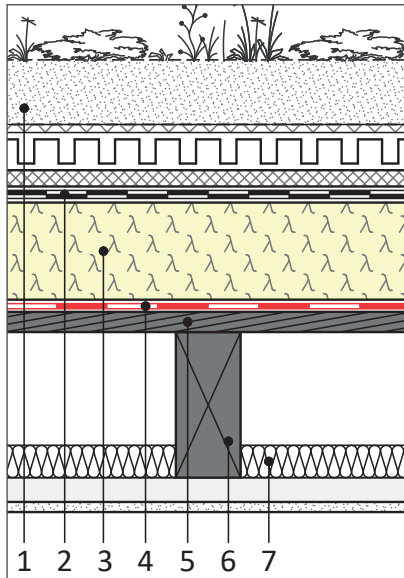
Tabelle 13: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf der Holzbalkendecke mit Schalung

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	200	160	100	100	60
PU-Hartschaum mineralvlies- kaschiert/ unkaschiert	0,026 W/(m²·K) 0,027 W/(m²·K) 0,028 W/(m²·K)	220	180	120	100	70

*) Dämmstoffdicke im Gefach: Werte sind gerundet.

Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 028 bei $d < 80 \text{ mm}$, mit WLS 027 bei $80 \text{ mm} \leq d < 120 \text{ mm}$ und mit WLS 026 bei $d \geq 120 \text{ mm}$. Bei einer unkaschierten Gefälledämmung aus PU-Blockschaum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie eines Holzanteils von 12,3 % (Balken $b/h = 80/200 \text{ mm}$, $a = 650 \text{ mm}$) und einer 24 mm dicken Holzschalung auf der Balkenlage. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.



Grafik 10: PU-Dämmung auf Holzbalkendecke mit Schalung sowie raumseitiger Bekleidung mit Unterkonstruktion (inkl. Dämmung)

- 1 | Auflast/Dachbelag (Beispiel: Dachbegrünung)
- 2 | Dachabdichtung
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds)
- 4 | Dampfsperre, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$
- 5 | Schalung
- 6 | Tragkonstruktion (Holzbalkenkonstruktion mit Schalung)
- 7 | Raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung, höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands

Tabelle 14: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung auf der Holzbalkendecke mit Schalung sowie der geringfügigen Dämmung in der Unterkonstruktion

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm Aufdachdämmung in Kombination mit raumseitiger Gefachdämmung mit R ≤ 20 % von R _{gesamt} (PU + MW/WF)				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	160	140	100	80	50
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	60	20 bis max. 60	0 bis max. 40	20 bis max. 30	20
PU-Hartschaum mineralvlies- kaschiert/ unkaschiert	0,026 W/(m²·K) 0,027 W/(m²·K) 0,028 W/(m²·K)	180	160	140	100	60
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	20 bis max. 60	20 bis max. 60	30	0 bis max. 30	20

*) Dämmstoffdicke im Gefach: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet.

Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 028 bei $d < 80 \text{ mm}$, mit WLS 027 bei $80 \text{ mm} \leq d < 120 \text{ mm}$ und mit WLS 026 bei $d \geq 120 \text{ mm}$. Bei einer unkaschierten Gefächdämmung aus PU-Blockschaum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie eines Holzanteils von 12,3 % (Balken $b/h = 80/200 \text{ mm}$, $a = 650 \text{ mm}$) und einer 24 mm dicken Holzschalung auf der Balkenlage. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

6.1.5 Sanierungsempfehlungen für Aufbauten mit PU-Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion

Sanierungslösungen für genutzte Flachdächer werden durch verschiedenste Parameter wie Dachgeometrie, Art der Dachnutzung, Anschlusshöhen, Gefälle sowie Zustand und Funktionstüchtigkeit des vorhandenen Dachaufbaus bestimmt. Grundvoraussetzung für die Sanierung ist daher eine umfassende Bestandsaufnahme des Dachaufbaus – von der Tragkonstruktion bis zur Dachabdichtung.

Bei jeder Flachdachsanieierung sollte im Vorfeld die Entwässerung und ggf. die Wasserrückhaltung (Retention) geplant werden. Die punktgenaue Ableitung von Niederschlagwasser in die Dachabläufe kann kostengünstig durch PU-Gefälledämmung hergestellt werden.

Sofern die vorhandene Tragkonstruktion und Dampfsperre intakt und funktionsfähig sind, kann in vielen Fällen der vorhandene Schichtenaufbau erhalten und in die Sanierungslösung einbezogen werden. Dies gilt auch für feuchte Dämmschichten aus Hartschaum, die immer noch einen deutlichen Dämmwert aufweisen. Nasse Dämmstoffe und perforierte Dachabdichtung müssen grundsätzlich entfernt werden.⁵

Bei Bitumenabdichtungen müssen Blasen und Wellen in der vorhandenen Dachabdichtung abgestoßen und überarbeitet werden. Bei Foliendächern ist es empfehlenswert, die Abdichtung entlang der Dachränder aufzuschneiden. Vor allem bei Flachdächern in Holzbauweise muss sichergestellt sein, dass die vorhandene Tragkonstruktion bzw. die Schalung funktionstüchtig und tragfähig ist.

Nicht erforderlich ist die Auffüllung der Gefache mit Dämmstoff. Hohlräume mit nicht belüfteter Luftschicht oberhalb einer raumseitigen Bekleidung mit Unterkonstruktion (inkl. geringer Dämmung) sind unproblematisch, wenn im Hohlraum die Taupunkttemperatur nicht unterschritten wird. Liegt die Temperatur der darinstehenden Luftschicht oberhalb des Taupunkts, kann im Hohlraum kein Tauwasser anfallen, und Feuchte kann sich nicht anreichern. Bei der Sanierung der Aufdachdämmung nach DIN 4108-3 muss darauf geachtet werden, dass die Dampfsperre auf der Tragkonstruktion einen s_d -Wert von ≥ 100 m aufweist.

Grundsätzlich muss die Art der geplanten Dachnutzung bei der Planung der energetischen Sanierung berücksichtigt werden.

6.2 Holzdächer mit PU-Aufdachdämmung und einer Dämmung in der Balkenebene

Nicht belüftete Flachdächer mit Holzbalkendecke und einer vorwiegend in der Balkenebene (Gefach) angeordneten Wärmedämmung haben sich in der Baupraxis als kritisch erwiesen. Die für frühere Bauweisen typischen, raumseitig eingebauten hoch diffusionshemmenden Schichten vermindern das Austrocknungsvermögen der Dachkonstruktion. In der Folge kann eindringende Feuchtigkeit (z. B. infolge von Diffusionsvorgängen, durch Konvektion aus Leckagen der Luftdichtheit oder durch Leckagen der Dachabdichtung) oder eingeschlossene Baufeuchte nicht mehr aus der Konstruktion herausdiffundieren. Dauerhaft feuchte Holzbauteile können innerhalb weniger Jahre verrotten und ihre Tragfähigkeit verlieren.

Heute ist man zu Dachkonstruktionen übergegangen, die eine ausreichende Austrocknung nach innen zulassen.

Nach DIN 4108-3 müssen bei nachweisfreien Flachdachaufbauten mit zusätzlichen Dämmschichten in der Balkenebene die Reihenfolge und die Anforderungen an die einzelnen Bauteilschichten unbedingt beachtet werden, um eine Feuchteanreicherung auszuschließen.

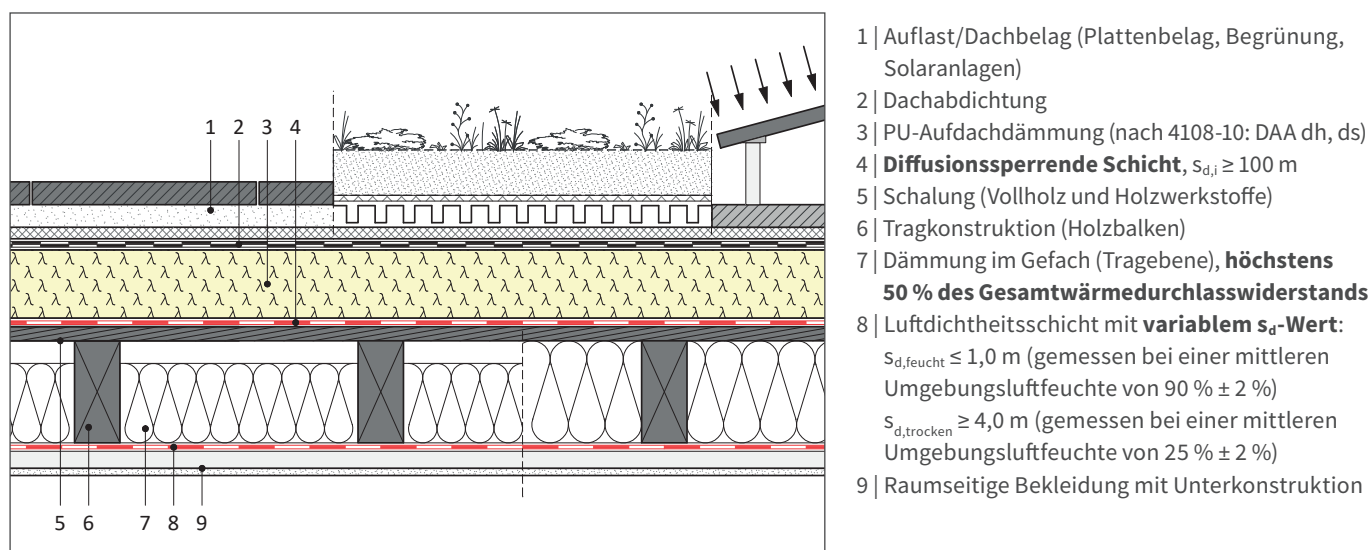
5 | Hohwiller, Frieder H.: Wasser in der Flachdachdämmung. Abriss oder substanzerhaltende Sanierung? Fachbeitrag zum Forschungsvorhaben Nr. 12088 der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) zum Thema „Flachdachsanierung über durchfeuchteter Dämmschicht“, 2001.
Spiker, R., und Oswald, R.: Flachdachsanierung über durchfeuchteter Dämmschicht. Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Bauforschung für die Praxis, Band 61, 2003.

6.2.1 Nachweisfrei im Neubau: Holzbalkenkonstruktion mit PU-Aufdachdämmung und zusätzlicher Dämmung im Gefach

Im Neubau können nicht belüftete Flachdächer mit PU-Aufdachdämmung und einer zusätzlichen Gefachdämmung nach DIN 4108-3 feuchtesicher nachgewiesen werden, wenn auf der Unterkonstruktion eine feuchteadaptive Luftdichtheitsschicht verlegt wird. Die Dampfsperre auf der Schalung wird in Form einer diffusionssperrenden Schicht ($s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$) hergestellt. Die Dämmung im Gefach darf höchstens 50 % des Gesamtwärme-

durchlasswiderstands betragen. Ruhende, nicht belüftete Luftschichten unterhalb der Schalung sind unkritisch und in den Nachweisen einkalkuliert. Die PU-Aufdachdämmung muss so dimensioniert werden, dass die Holzbauteile vor übermäßiger Auffeuchtung geschützt sind. Die Gebäudehöhe ist auf zehn Meter begrenzt.

Grafik 11: Neubau: Holzbalkenkonstruktion mit PU-Aufdachdämmung, zusätzlicher Dämmung im Gefach und feuchteadaptiver Luftdichtheitsschicht



Bei diffusionsdichten PU-Dämmelementen mit einem s_d -Wert $\geq 1.500 \text{ m}$ können die Schichten 2 und 4 niedrigere s_d -Werte aufweisen. Die Gebäudehöhe ist nach DIN 4108-3 auf zehn Meter begrenzt.

Anmerkung in DIN 4108-3:

Bei Aufbauten ohne Dachbelag kann nur unter Verwendung einer Dachabdichtung mit kurzweiliger Strahlungsabsorptionszahl $\geq 0,9$ (z. B. schwarze Abdichtung) bei Gebäudehöhen $\leq 8 \text{ m}$ die Wärmedämmung im Gefach (Tragebene) auf höchstens 60 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands erhöht werden.

**Tabelle 15: Dimensionierung der PU-Aufdachdämmung (alukaschiert)
mit einer zusätzlichen Dämmung im Gefach ($R_{\max} \leq 50\%$ von R_{gesamt})**

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	Dämmstoffdicken in mm						
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m ² ·K)	Aufdachdämmung: PU-Hartschaum ^{*)}						
		80	100	120	140	160	180	200
Mineralwolle/ Holzfaser		Dämmung im Gefach ^{*)} mit $R_{\max} \leq 50\%$ von R_{gesamt} (PU + MW/WF)						
	0,035 W/(m ² ·K)	120	150	180	210	240	270	300
	0,038 W/(m ² ·K)	130	160	190	230	260	290	330
	0,040 W/(m ² ·K)	130	170	200	240	270	310	340

^{*)} Dämmstoffdicke im Gefach: Werte sind gerundet.

**Tabelle 16: Dimensionierung der PU-Aufdachdämmung (mineralvlieskaschiert/unkaschiert)
mit einer zusätzlichen Dämmung im Gefach ($R_{\max} \leq 50\%$ von R_{gesamt})**

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	Dämmstoffdicken in mm						
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/ unkaschiert	0,026 W/(m ² ·K) 0,027 W/(m ² ·K)	Aufdachdämmung: PU-Hartschaum ^{*)}						
		80	100	120	140	160	180	200
Mineralwolle/ Holzfaser		Dämmung im Gefach ^{**)} mit $R_{\max} \leq 50\%$ von R_{gesamt} (PU + MW/WF)						
	0,035 W/(m ² ·K)	100	120	160	180	210	240	260
	0,038 W/(m ² ·K)	110	140	170	200	230	260	290
	0,040 W/(m ² ·K)	110	140	180	210	240	270	300

^{*)} Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 027 bei 80 mm ≤ d < 120 mm und mit WLS 026 bei d ≥ 120 mm. Die Dicke der unkaschierten Gefälledämmung aus PU-Blockschaum errechnet sich nicht aus der Minstdicke sondern aus der mittleren Schichtdicke nach DIN EN ISO 6946.

^{**)} Dämmstoffdicke im Gefach: Werte sind gerundet.

Luftdichtheit herstellen

Die DIN 4108-3 verlangt die Verlegung einer diffusions-sperrenden Schicht auf der Oberseite der Tragkonstruktion (Schalung). Die Luftdichtheitsschicht unterhalb der Tragkonstruktion muss mit einem variablen s_d -Wert ausgeführt werden.

Holzbalkenkonstruktionen mit raumseitiger Luftdichtheitsschicht, die einen festen s_d -Wert aufweist, sind nach DIN 4108-3 nicht nachweisfrei.

Feuchtevariable Dampfbremsen können aufgrund ihrer spezifischen Funktionsweise zu kritischen Feuchtezuständen in der Dachkonstruktion führen. Hohe Luftfeuchtigkeit verringert den Diffusionswiderstand der feuchtevariablen Dampfbremse. Dadurch kann der Feuchteeintrag über Diffusion in den Dachaufbau stark ansteigen. Dieser Effekt wird durch eine hohe Raumtemperatur (z. B. aus dem „Trockenheizen“ eines kürzlich gelegten Estrichs) zusätzlich verstärkt. Der Effekt tritt vor allem im Frühjahr und Herbst auf, bei eingeschränkter Abluftmöglichkeit der Putz- und Estrichfeuchtigkeit und gleichzeitigen Heizbetrieb.

Tabelle 17: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung (alukaschiert) auf der Holzbalkenkonstruktion mit einer zusätzlichen Dämmung im Gefach

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm Aufdachdämmung in Kombination mit raumseitiger Gefachdämmung mit R ≤ 50 % von R _{gesamt} (PU + MW/WF)				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	120	100	80	80	40
Mineralwolle	0,035 W/(m²·K)	140 bis max. 180	90 bis max. 150	40 bis max. 120	20 bis max. 120	40 bis max. 60
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	140	100	80	80	40
Holzfaser	0,038 W/(m²·K)	140 bis max. 230	100 bis max. 160	40 bis max. 130	20 bis max. 130	40 bis max. 60
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	140	100	80	80	40
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	150 bis max. 240	100 bis max. 170	50 bis max. 130	20 bis max. 130	40 bis max. 60

^{*)} Dämmstoffdicke im Gefach: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie eines Holzanteils von 12,3 % (Balken $b/h = 80/200$ mm, $a = 650$ mm) und einer 24 mm dicken Holzschalung auf der Balkenlage. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

Je nach Jahreszeit kann die Rücktrocknung einige Monate in Anspruch nehmen. Um Schimmelrisiken vorzubeugen, sollten die Dämmung in der Balkenebene und das Verlegen der Luftdichtheitsschicht bzw. der Dampfbremse erst nach Abklingen der Feuchtebelastung ausgeführt werden.

Konstruktiven Holzschutz beachten

Balken und andere Holzbauteile dürfen nicht komplett zwischen diffusionssperrenden Schichten eingeschlossen werden, um die Austrocknung unvorhergesehener

Feuchteinträge zu ermöglichen und eine Holzschädigung durch langzeitige Feuchteeinwirkung zu verhindern.

Dämmung in der Balkenebene

Beim Ausfüllen der Gefache mit Dämmstoff müssen aus Gründen des Feuchteschutzes die Hinweise zur Bauphysik in DIN 4108-3 beachtet werden. Die Dämmung im Gefach beträgt höchstens 50 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands.

Tabelle 18: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung (mineralvlieskaschiert/unkaschiert) auf der Holzbalkenkonstruktion mit einer zusätzlichen Dämmung im Gefach

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m ² ·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke ^{*)} in mm Aufdachdämmung in Kombination mit raumseitiger Gefachdämmung mit R ≤ 50 % von R _{gesamt} (PU + MW/WF)				
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/unkaschiert	0,026 W/(m ² ·K) 0,027 W/(m ² ·K) 0,028 W/(m ² ·K)	120	100	80	80	40
Mineralwolle	0,035 W/(m ² ·K)	160	120	70 bis max. 100	30 bis max. 100	40 bis max. 50
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/unkaschiert	0,026 W/(m ² ·K) 0,027 W/(m ² ·K) 0,028 W/(m ² ·K)	120	100	80	80	40
Holzfaser	0,038 W/(m ² ·K)	170	130 bis max. 140	70 bis max. 110	30 bis max. 110	40 bis max. 50
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/unkaschiert	0,026 W/(m ² ·K) 0,027 W/(m ² ·K) 0,028 W/(m ² ·K)	120	100	80	80	40
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m ² ·K)	180	130 bis max. 140	70 bis max. 110	30 bis max. 110	40 bis max. 50

*) Dämmstoffdicke: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet. Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 028 bei d < 80 mm, mit WLS 027 bei 80 mm ≤ d < 120 mm und mit WLS 026 bei d ≥ 120 mm. Bei einer unkaschierten Gefächdämmung aus PU-Blockschaum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie eines Holzanteils von 12,3 % (Balken b/h = 80/200 mm, a = 650 mm) und einer 24 mm dicken Holzschalung auf der Balkenlage. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

6.2.2 Sanierungsempfehlung für den Bestand: Holzbalkenkonstruktion mit PU-Aufdachdämmung und vorhandener Dämmung im Gefach

Bei Flachdächern im Bestand mit Dämmung in der Balkenebene ist in der Regel keine raumseitige feuchteadaptive Luftdichtheitsschicht vorhanden. Stattdessen wurde häufig mit diffusionshemmenden Folien gearbeitet, die die Austrocknung vorhandener oder im Betrieb entstehender Feuchte nach innen behindern. Zudem kann nicht von einer luftdichten Verklebung der raumseitigen Folien ausgegangen werden.

Ist die vorhandene Holzschalung noch intakt, sind die raumseitigen Bauteilschichten bei der Sanierung von oben oft nicht zugänglich und können weder ausgebaut noch ausgetauscht werden.

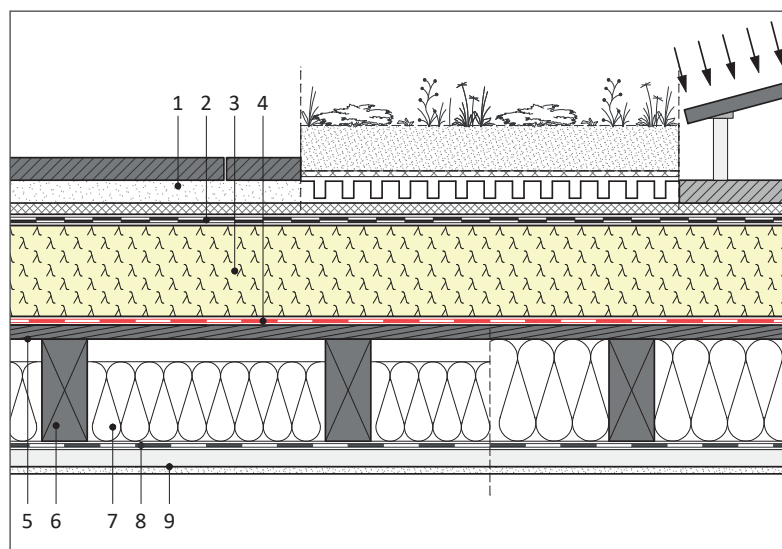
Für viele Holzbalkenkonstruktionen im Bestand sind damit die Voraussetzungen für einen nachweisfreien Aufbau nach DIN 4108-3 nicht gegeben.

Holzbalkenkonstruktionen mit vorhandener raumseitiger Dämmung können jedoch mit einer PU-Aufdachdämmung zu einem genutzten Flachdach saniert werden. Dies gilt sowohl für Warmdächer als auch für Kaltdächer. Bei belüfteten Dachkonstruktionen wird die Belüftungsebene durch eine entsprechende Detaillierung der Dachrandanschlüsse stillgelegt und zur ruhenden Luftschicht umgewandelt.

Ein feuchtetechnischer Nachweis für eine bauphysikalisch sichere Sanierung kann durch hygrothermische Simulationsverfahren geführt werden.⁶ Dabei werden die Feuchteaus-tauschvorgänge unter realen Klima- und Nutzungsbedingungen abgebildet. Tauwasserentstehung und Verdunstung werden über mehrere Jahre hinweg berechnet und eventuelle Konvektionseffekte wie z. B. Fehlstellen in der Luftdichtheitsschicht berücksichtigt.

Zur Sicherheit werden für das Berechnungsmodell ungünstige Voraussetzungen gewählt: Den Feuchteinträgen durch Diffusion steht eine sehr geringe Verdunstungsleistung entgegen. Der Feuchteeintrag wird wie für eine Dampfbremse mit $s_{d,i} = 2 \text{ m}$ angesetzt, dem eine Austrocknungsleistung mit einem angenommenen $s_{d,i} = 10 \text{ m}$ entgegensteht. Die Dicke der PU-Aufdachdämmung ist in Abhängigkeit von der vorhandenen Gefachdämmung so dimensioniert, dass Schäden durch konvektiven Feuchteeintrag vermieden werden. Dies erfordert einen Wärmedurchlasswiderstand der PU-Aufdachdämmung von mindestens 60 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands der beiden Dämmebenen. Das entspricht einem Verhältnis der R-Werte von Aufdachdämmung zu Gefachdämmung von 3:2.

Grafik 12: Sanierung: Bestehende Holzbalkenkonstruktion PU-Aufdachdämmung und vorhandene Dämmung im Gefach



- 1 | Auflast/Dachbelag (Plattenbelag, Begrünung, Solaranlagen)
- 2 | Dachabdichtung, $s_d \geq 100 \text{ m}$
- 3 | PU-Aufdachdämmung (nach 4108-10: DAA dh, ds), **mindestens 60 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands der beiden Dämmebenen**
- 4 | Diffusionssperrende Schicht, $s_{d,i} \geq 100 \text{ m}$, gleichzeitig Luftdichtheitsschicht
- 5 | Schalung (Vollholz und Holzwerkstoffe)
- 6 | Tragkonstruktion (Holzbalken)
- 7 | Vorhandene Dämmung im Gefach (Tragebene)
- 8 | **Vorhandene Dampfbremse, ggf. nicht luftdicht**
- 9 | Raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion

Bei diffusionsdichten PU-Dämmelementen mit einem s_d -Wert $\geq 1.500 \text{ m}$ kann die Dachabdichtung niedrigere s_d -Werte aufweisen.

Bei der hygrothermischen Simulation wurde eine Verschattung durch aufgeständerte PV-Module in die Berechnung einbezogen.

Gebäude oder Gebäudeteile, in denen mit einer erhöhten Feuchtelast zu rechnen ist, z. B. Räume mit ständig hoher Personendichte, Wellnessräume oder Schwimmbäder, müssen individuell nachgewiesen werden.

6 | Prof. Dr. Martin H. Spitzner: Bericht MHS-2024-06-13. Gutachterliche Stellungnahme zum Feuchteeintrag in Flachdächer mit bestehender Holzbalkenkonstruktion, vorhandener Dämmung im Gefach, PU-Aufdachdämmung und genutzter Dachfläche: Feuchtetechnischer Nachweis mittels hygrothermischer Simulation gemäß DIN 4108-3. Kurztitel: Genutzte PU-Flachdächer in der Sanierung. 2024, München.

Tabelle 19: Empfohlene Dimensionierung bei vorhandener Gefachdämmung mit einer PU-Aufdachdämmung ($R_{PU} \geq 60\%$ von R_{gesamt})

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	Dämmstoffdicke in mm								
Mineralfaser	0,035 W/(m ² ·K)	Vorhandene Gefachdämmung WLS 035								
		40	60	80	100	120	140	160	180	200
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m ² ·K)	PU-Aufdachdämmung mit $R_{PU} \geq 60\%$ von $R_{gesamt (PU + MW)}$								
		80 ^{**}	80 ^{**}	80	100	120	140	160	180	200
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/ unkaschiert ^{*)}	0,026 W/(m ² ·K) 0,027 W/(m ² ·K)	80 ^{**}	80	100	120	140	160	180	200	200
Mineralfaser/ Holzfaser	0,040 W/(m ² ·K)	Vorhandene Gefachdämmung WLS 040								
		40	60	80	100	120	140	160	180	200
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m ² ·K)	PU-Aufdachdämmung mit $R_{PU} \geq 60\%$ von $R_{gesamt (PU + MW/WF)}$								
		40	60	70	90	110	130	140	160	180
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/ unkaschiert ^{*)}	0,026 W/(m ² ·K) 0,027 W/(m ² ·K)	80 ^{*)}	80 ^{*)}	80	100	120	140	160	180	200

*) Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 027 bei 80 mm ≤ d < 120 mm und mit WLS 026 bei d ≥ 120 mm. Die Dicke der unkaschierten Gefälledämmung aus PU-Blockschaum errechnet sich nicht aus der Minstdicke sondern aus der mittleren Schichtdicke nach DIN EN ISO 6946.

**) Minstdicke der Überdämmung mit PU-Hartschaum nach Bericht MHS-2024-06-13. Siehe Fußnote 6, Seite 28.

Tabelle 20: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung (alukaschiert) auf der Holzbalkenkonstruktion mit einer vorhandenen Dämmung im Gefach

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke^{*)} in mm Aufdachdämmung mit $R_{PU} \geq 60\%$ von $R_{gesamt} (PU + MW/WF)$ in Kombination mit vorhandener Gefachdämmung				
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	140	100	80	80	80^{**)}
Mineralwolle	0,035 W/(m²·K)	100 bis max. 140	90 bis max. 100	40 bis max. 90	20 bis max. 80	max. 80
PU-Hartschaum alukaschiert	0,023 W/(m²·K)	140	100	80	80	80^{**)}
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	110 bis max. 160	100 bis max. 110	50 bis max. 80	20 bis max. 80	max. 80

*) Dämmstoffdicke im Gefach: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet.

**) Mindestdicke der Überdämmung mit PU-Hartschaum nach Bericht MHS-2024-06-13. Siehe Fußnote 6, Seite 28.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie eines Holzanteils von 12,3 % (Balken b/h = 80/200 mm, a = 650 mm) und einer 24 mm dicken Holzschalung auf der Balkenlage. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 21: U-Werte und Dicke der PU-Dämmung (mineralvlieskaschiert/unkaschiert) auf der Holzbalkenkonstruktion mit einer vorhandenen Dämmung im Gefach

Dämmstoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	max. U-Werte W/(m²·K)				
		0,11	0,14	0,20	0,24	0,35
		Dämmstoffdicke^{*)} in mm PU-Aufdachdämmung mit $R_{PU} \geq 60\%$ von $R_{gesamt} (PU + MW/WF)$ in Kombination mit vorhandener Gefachdämmung				
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/unkaschiert^{**)}	0,026 W/(m²·K) 0,027 W/(m²·K)	160	120	80	80	80^{***)}
Mineralwolle	0,035 W/(m²·K)	100 bis max. 140	80 bis max. 100	60	30 bis max. 60	max. 60
PU-Hartschaum mineralvlieskaschiert/unkaschiert^{**)}	0,026 W/(m²·K) 0,027 W/(m²·K)	140	120	80	80	80^{***)}
Mineralwolle/ Holzfaser	0,040 W/(m²·K)	140	100 bis max. 120	70	30 bis max. 70	max. 70

*) Dämmstoffdicke im Gefach: Mindestwert zum Erreichen der U-Wert-Anforderung, Maximalwert gemäß R-Wert-Vorgaben nach DIN 4108-3. Werte sind gerundet.

**) Mineralvlieskaschierter PU-Hartschaum mit WLS 027 bei 80 mm ≤ d < 120 mm und mit WLS 026 bei d ≥ 120 mm. Bei einer unkaschierten Gefälledämmung aus PU-Blockschäum wird für die U-Wert-Berechnung nicht die Mindestdicke angesetzt, sondern die nach DIN EN ISO 6946 ermittelte mittlere Schichtdicke.

***) Mindestdicke der Überdämmung mit PU-Hartschaum nach Bericht MHS-2024-06-13. Siehe Fußnote 6, Seite 28.

U-Werte unter Berücksichtigung der Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie eines Holzanteils von 12,3 % (Balken b/h = 80/200 mm, a = 650 mm) und einer 24 mm dicken Holzschalung auf der Balkenlage. Weitere Bauteilschichten und objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

LITERATUR

Hohwiller, Frieder H.:

Wasser in der Flachdachdämmung. Abriss oder substanz-erhaltende Sanierung? Fachbeitrag zum Forschungsvorhaben Nr. 12088 der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungs-vereinigungen (AiF) zum Thema „Flachdachsanierung über durchfeuchteter Dämmschicht“, 2001.

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München:

„Development of a test method to determine walkability“, Test Report 26.05.2010, Gräfelfing, Germany.

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. München:

Graue Energie und Graue Emissionen von Dämmstoffen im Vergleich zum Einsparpotenzial. Forschungsbericht FO-2020/06. Mai 2021, Gräfelfing.

Fraunhofer IBP:

Konformität von werkseitig hergestellten PU-Dämmstoffplatten mit dem Qualitätssiegel „Nachhaltiges Gebäude QNG“. IBP-Bericht UHS-002/2023. Juli 2023, Stuttgart und Valley.

Spiker, R., und Oswald, R.:

Flachdachsanierung über durchfeuchteter Dämmschicht. Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Bau-forschung für die Praxis, Band 61, 2003.

Spitzner, Dr. Martin H.:

Bericht 2015-04. Hygrothermische Untersuchungen an Steil- und Flachdachaufbauten mit PU-Aufsparren-/PU-Aufdachdämmung („Kombi-Dämmung“) für Sanierung und Neubau. Oktober 2015, München.

Spitzner, Prof. Dr. Martin H.:

Bericht MHS-2024-06-13. Gutachterliche Stellungnahme zum Feuchteintrag in Flachdächer mit bestehender Holzbalken-konstruktion, vorhandener Dämmung im Gefach, PU-Aufdach-dämmung und genutzter Dachfläche. Feuchtetechnischer Nachweis mittels hygrothermischer Simulation gemäß DIN 4108-3. Kurztitel: Genutzte PU-Flachdächer in der Sanierung. 2024, München.

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Hrsg.):

Deutsches Dachdeckerhandwerk – Regelwerk.

Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand. April 2024, Köln.

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks und

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (Hrsg.):

Deutsches Dachdeckerhandwerk – Regelwerk: Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie, Kapitel 3.4 Wärmedämmung, Tabelle 4: Empfohlene Mindestdicken auf Trapezprofilen.

Ausgabe Dezember 2016 mit Änderungen November 2017, Mai 2019 und März 2020, Köln.

INTERESSE GEWECKT? WIR BERATEN SIE GERNE PERSÖNLICH:



puren gmbh

Rengoldshauser Straße 4 | 88662 Überlingen
Telefon +49 (0) 7551 8099-0
info@puren.com | www.puren.com

Herausgeber:

IVPU Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V.
Heilbronner Straße 154 | 70191 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711 29 17 16
ivpu@ivpu.de | www.daemmt-besser.de

