



Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit Polyurethan-Dämmung
Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Feuchteschutz



Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit PU-Dämmung	4	5.2.3 Steildachsanieierung mit diffusionsfähiger PU-Aufsparren- und Teilsparrendämmung	19
1 Bauphysikalische und technische Anforderungen	6	5.2.4 Steildachsanieierung mit diffusionsdichter PU-Aufsparren- und Vollsparrendämmung	20
2 Bauaufsichtliche Anforderungen	7	5.2.5 Steildachsanieierung mit diffusionsfähiger PU-Aufsparren- und Vollsparrendämmung	21
2.1 Baulicher Wärmeschutz	7	5.3 Steildachneubau	22
2.2 Klimabedingter Feuchteschutz	8	5.3.1 Planungs- und Ausführungshinweise	22
3 Nachweisfreie Dachkonstruktionen	10	5.3.2 Steildachneubau mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung	23
3.1 Planungs- und Ausführungshinweise	10	5.3.3 Steildachneubau mit diffusionsfähiger PU-Aufsparrendämmung	24
3.2 Steildach	11	5.4 Flachdachneubau	24
3.2.1 Steildach mit PU-Aufsparrendämmung	11	5.4.1 Planungs- und Ausführungshinweise für Dampfbremse und Luftdichtheit	24
3.2.2 Steildach mit PU-Untersparrendämmung	13	5.4.2 Flachdachneubau in Holzbauweise mit diffusionsdichter PU-Aufdachdämmung	25
3.3 Flachdach	13	6 Allgemein gültige Regeln für Steil- und Flachdächer in Holzbauweise	26
4 Rechnerische Nachweise	14	7 Checkliste zur Sanierung von Steildächern	27
4.1 Perioden-Bilanzverfahren	14	7.1 Bestandsaufnahme	27
4.2 Hygrothermische Simulationsverfahren	14	7.2 Planung	27
5 Dachkonstruktionen mit rechnerischem Nachweis (Hygrothermische Simulation)	15	7.3 Ausführung	27
5.1 Gültigkeit des rechnerischen Nachweises	15	8 Quellen	28
5.2 Steildachsanieierung	16	9 Anhang	29
5.2.1 Planungs- und Ausführungshinweise	16		
5.2.2 Steildachsanieierung mit diffusionsdichter PU-Aufsparren- und Teilsparrendämmung	18		

Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit PU-Dämmung

Höhere Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und den klimabedingten Feuchteschutz führen zu immer komplexeren Dachkonstruktionen.

Steildach

Einfache, belüftete Steildachkonstruktionen mit Zwischensparrendämmung, wie sie früher üblich waren, werden den aktuellen Anforderungen an den Wärmeschutz nach Energieeinsparverordnung (EnEV) und an den klimabedingten Feuchteschutz nach DIN 4108-3 kaum mehr gerecht. Mehrschichtige Aufbauten mit zusätzlichen Dämmschichten auf bzw. unter den Sparren sind moderne, effiziente und wirtschaftliche Konstruktionslösungen und werden in unterschiedlichsten Varianten ausgeführt.

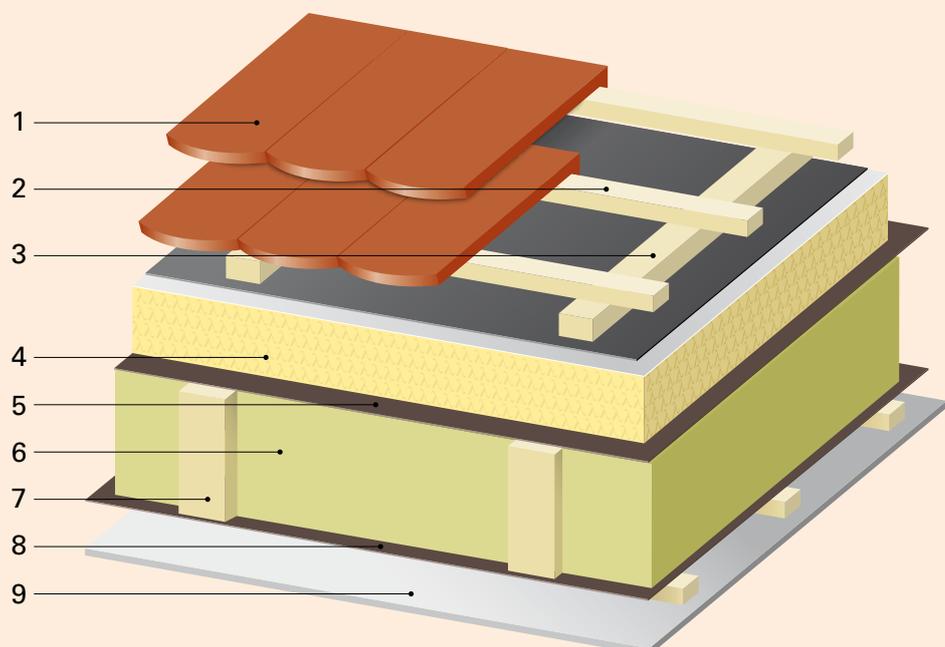
Kombinationen aus einer Aufsparrendämmung mit Polyurethan-Hartschaum (PU) und einer neuen bzw. vorhandenen Zwischensparrendämmung können alle Anforderungen an den Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz sicher erfüllen.

Die fünf wichtigsten Kriterien für PU-Steildachlösungen im Neubau und in der Sanierung sind:

- Die Konstruktionen erfüllen die Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz und sind bauphysikalisch sicher.
- Für die Zwischensparrendämmung ist nur die statisch notwendige Sparrenhöhe erforderlich. Bei der Sanierung kann auf eine Aufdopplung der Sparren verzichtet werden.
- Die schlanke PU-Aufsparrendämmung wird wärmebrückenfrei über Sparren und Umfassungswände verlegt. Sie ist extrem leistungsfähig und erfüllt damit höchste Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz. In der Sanierung können die Vorgaben für eine KfW-Einzelmaßnahmenförderung erfüllt werden, im Neubau die Vorgaben für KfW-Effizienzhäuser 55 und 40.
- Die Verlegung der PU-Aufsparrendämmung erfolgt ausschließlich von außen. Während der Sanierung können die darunter liegenden, ausgebauten Dachräume ohne Beeinträchtigung weiter genutzt werden.
- Bei Sanierungen kann die notwendige Luftdichtheit mit einer vollflächig über die Sparrenlage verlegten Dampfbremse einfach und sicher ausgeführt werden. Die aufwändige und zeitintensive schlaufenförmige Verlegung ist nicht erforderlich.

Steildach – Beispiel für eine PU-Neubaulösung mit U-Wert 0,14 W/(m²·K) Die Funktionstüchtigkeit wurde mit hygrothermischer Simulation berechnet.

- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement WLS 023 mit integrierter wasserführender Ebene
 - 5 Unterdeckbahn optional
 - 6 Vollsparrendämmung WLS 035
 - 7 Sparren
 - 8 Luftdichtheitsschicht/ Dampfbremse
 - 9 Raumseitige Bekleidung
- Pos 8 + 9 zusammen:
 $s_{di} = 2 - 10 \text{ m}$



Flachdach

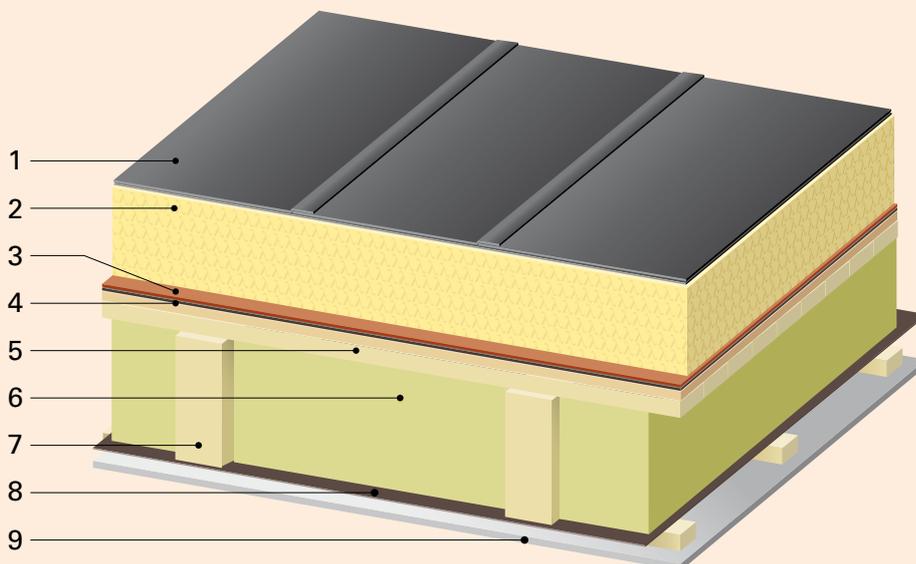
Flachdächer in Holzbauweise gewinnen im Wohnungsneubau zunehmend an Bedeutung. Der umbaute Raum lässt sich bei dieser Dachkonstruktion optimal nutzen. Auch nachträgliche Aufstockungen und Anbauten werden zunehmend mit einem Flachdach versehen. Wurden Flachdächer früher oft als belüftete Konstruktionen ausgeführt, entscheidet man sich heute in der Regel für nicht belüftete Konstruktionen, sogenannte „Warmdächer“. Nicht belüftete Flachdächer mit Volldämmung in der Balkenebene können jedoch bauphysikalische Probleme aufwerfen. Raumseitige, hoch diffusionshemmende Folien (Dampfsperren) behindern in Kombination mit nahezu dampfdichten Dachabdichtungen und wärmespeichernden Schichten (z. B. Kiesschüttung oder Dachbegrünung) die Rücktrocknung der Feuchte aus dem Bauteil. Die Holzbauteile werden feucht, schimmeln und verlieren ihre Tragfähigkeit. Die Lösung sind Konstruktionen mit Aufdachdämmung, bei denen die Holzkonstruktion nicht zwischen einer Dampfsperre und der Dachabdichtung eingeschlossen ist.

Die wichtigsten Kriterien für die PU-Aufdachdämmung im Neubau sind:

- Die PU-Aufdachdämmung bietet einen sehr guten Wärmeschutz, die EnEV-Vorgaben können mit schlanken Konstruktionen erfüllt werden.
- Wasserfeste, druckfeste und dauerhafte PU-Aufdachelemente geben der Tragkonstruktion Schutz. Für die Zwischenbalkendämmung ist nur die statisch notwendige Balkenhöhe erforderlich.
- Die fachgerecht ausgeführte Dampfbremse mit einem s_d -Wert zwischen 2 m und 10 m kann die Feuchteaufnahme während der Bauphase abmindern. Die Holzkonstruktion des Flachdaches liegt im warmen Bereich und bleibt trocken.

Der mehrschichtige Aufbau von Steil- und Flachdächern macht eine Beurteilung des feuchtetechnischen Verhaltens der Konstruktionen notwendig. Die Materialien und die Anordnung der einzelnen Schichten sind zum Schutz vor Tauwasserschäden bauphysikalisch aufeinander abzustimmen. Nachfolgende Kapitel erläutern die Funktionstüchtigkeit von komplexen Dachaufbauten für Wohngebäude hinsichtlich Tauwasserbildung und Schimmelpilzwachstum unter realistischen, ausreichend sicheren Randbedingungen.

**Flachdach in Holzbauweise – Beispiel für eine PU-Neubaulösung mit U-Wert 0,14 W/(m²·K)
Die Funktionstüchtigkeit wurde mit hygrothermischer Simulation berechnet.**



- 1 Dachabdichtung
- 2 PU-Wärmedämmung
WLS 023
- 3 Dampfbremse $s_d = 2 - 10 \text{ m}$
- 4 Trennlage
- 5 Holzschalung
- 6 Volldämmung des Gefachs
WLS 035
- 7 Tragkonstruktion
- 8 Luftdichtheitsschicht/
Dampfbremse
- 9 Raumseitige Bekleidung

Pos 8 + 9 zusammen:
 $s_{d,i} = 2 - 10 \text{ m}$

1 Bauphysikalische und technische Anforderungen

Beim Neubau oder der Sanierung eines Daches sind eine Reihe von bautechnischen und bauphysikalischen Anforderungen aus vorgegebenen Normen und fachtechnischen Regeln in der jeweils gültigen Fassung zu erfüllen.

Energieeinsparverordnung – EnEV:

Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden

DIN 4102:

Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
Teil 1 – Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
Teil 7 – Bedachungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

DIN 4108:

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden

Beiblatt 2 – Wärmebrücken: Planungs- und Ausführungsbeispiele

Teil 2 – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
Teil 3 – Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
Teil 4 – Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
Teil 6 – Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
Teil 7 – Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
Teil 10 – Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe: Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe

DIN 4109:

Schallschutz im Hochbau: Anforderungen und Nachweise

DIN V 18599:

Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

DIN EN ISO 6946:

Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren

DIN EN 13165:

Wärmedämmstoffe für Gebäude: Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PU) – Spezifikation

DIN EN 13501:

Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten
Teil 1 – Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten
Teil 2 – Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen

DIN EN ISO 13788:

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren

DIN EN 15026:

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation

DIN 68800:

Holzschutz-Teil 2, vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau

Regelwerk des Deutschen Dachdeckerhandwerks:

aufgestellt und herausgegeben vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks – Fachverband Dach, Wand- und Abdichtungstechnik e. V. (ZVDH), Köln:

- Grundregel für Dachdeckungen, Abdichtungen und Außenwandbekleidungen
- Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand

2 Bauaufsichtliche Anforderungen

2.1 Baulicher Wärmeschutz

Mit der neuen Stufe der EnEV 2014 wurde 2016 der Wärmeschutz der Gebäudehülle von Neubauten um durchschnittlich 20 % angehoben. Mit einem U-Wert von 0,14 W/(m²·K) für Dachaufbauten liegen Planer und Ausführende auf der sicheren Seite.

Mit der EnEV 2014 wird die europäische Vorgabe erfüllt, dass Gebäude nur noch einen minimalen Energiebedarf haben sollen, der nach Möglichkeit durch erneuerbare Energien gedeckt wird. Ab 2021 sollen alle neuen Wohngebäude als „Niedrigstenergiegebäude“ errichtet werden. Für öffentliche Gebäude gilt diese Verpflichtung bereits ab 2019.

Außerdem schreibt die EnEV vor, dass die oberste Geschossdecke in einem Bestandsgebäude den Mindestwärmeschutz erfüllen muss. Unter Mindestwärmeschutz versteht man Maßnahmen, die Bauschäden verhindern und z. B. Tauwasser- und Schimmelpilzfreiheit gewährleisten. Ist das darüber liegende Dach nicht gedämmt, muss die oberste Geschossdecke einen U-Wert von 0,24 W/(m²·K) oder besser aufweisen. Wird dieser U-Wert nicht erreicht, müssen Maßnahmen zur Dämmung des Dachbodens oder des Daches ergriffen werden. Für den Gebäudebestand sieht die EnEV 2014 darüber hinaus keine höheren Anforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilen vor.

Die KfW fördert den Neubau von Wohngebäuden mit den KfW-Effizienzhaus-Standards. Neben den bekannten Förderstandards KfW-Effizienzhaus 55 und 40 gibt es seit April 2016 einen weiteren Standard: „KfW-Effizienzhaus 40 Plus“. Die KfW-Förderung für das KfW-Effizienzhaus 70 fällt weg.

Für die Förderung einer Dachsanierung als Einzelmaßnahme (Investitionszuschuss) schreiben die technischen Mindestanforderungen der KfW einen U-Wert von 0,14 W/(m²·K) vor.

U-Wert-Anforderungen an den Wärmeschutz von Dächern:

- EnEV 2014 – Sanierung	für das Steildach	U = 0,24 W/(m ² ·K)
	für das Flachdach	U = 0,20 W/(m ² ·K)
- KfW – Förderung Sanierung Einzelmaßnahme	Dach	U = 0,14 W/(m ² ·K)
- EnEV 2014 – Neubau (Referenzgebäude minus 30 %)		U = 0,14 W/(m ² ·K)
- Niedrigstenergiehausstandard/Passivhausstandard		U = 0,10 W/(m ² ·K)

Höhere Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz bedeutet, in Zukunft besser und nicht unbedingt dicker zu dämmen. Dämmelemente aus Polyurethan-Hartschaum (PU) ermöglichen aufgrund ihrer hohen Dämmleistung schlanke Dachaufbauten.

Der **Nennwert der Wärmeleitfähigkeit** von Polyurethan-Hartschaum liegt je nach Typ zwischen 0,022 W/(m·K) und 0,029 W/(m·K).

Wichtig für Planer: In Deutschland ist der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108-4 maßgebend für die Berechnung des Wärmeschutznachweises gemäß EnEV. Der **Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit** von PU-Hartschaum liegt – je nach Deckschicht – zwischen 0,023 W/(m·K) und 0,029 W/(m·K). Dies entspricht den Wärmeleitfähigkeitsstufen WLS 023 bis WLS 029.

Gute Druckfestigkeit von 100 kPa bzw. 150 kPa und viele Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Werkstoffen ermöglichen ein breites Anwendungsfeld. PU-Dämmstoffe sind überdies temperaturbeständig, wasserfest und schmelzen nicht.

2.2 Klimabedingter Feuchteschutz

Dachkonstruktionen müssen mit extremen Wettersituationen zurechtkommen. Der Feuchteaustausch innerhalb von Bauteilen wird durch ein ständiges Temperatur- und Dampfdruckgefälle zwischen innen und außen angetrieben. Im Winter ist es außen kalt und trocken, im Gebäudeinneren warm und feucht. Die Folge ist ein Dampfdruckgefälle von innen nach außen. Von innen kann Wasserdampf aus der warmen, feuchten Raumluft in den Dachaufbau eindringen und dort zu Tauwasser und Feuchteschäden führen.

Der klimabedingte Feuchteschutz hat die Aufgabe, schädliche Einwirkungen auf die Baukonstruktion durch das Auftreten von Tauwasser innerhalb von Bauteilen und Bauteilschichten zu verhindern. Mit Berechnung der Wasserdampfdiffusion kann der Tauwasserausfall für betroffene Bauteile und Bauteilschichten ermittelt werden.

Die Anforderungen an den Tauwasserschutz sind in folgenden technischen Regelwerken festgelegt:

- DIN 4108-3 (Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung)
- DIN EN ISO 13788 (Wärme- und feuchtechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – raumseitige Oberflächen-temperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren)

Die DIN 4108-3 ist in der Musterliste der technischen Baubestimmungen enthalten und gilt damit als bauaufsichtlich eingeführt. Damit ist auch die Beachtung der Anforderungen nach DIN 4108-3 baurechtlich vorgeschrieben (Vgl. MBO 2002 §3 [3]).

Fachbegriffe aus der Bauphysik:

Wärmebrücken

Wärmebrücken (fälschlicherweise oft auch Kältebrücken genannt) sind örtlich begrenzte Schwachstellen einer Baukonstruktion, durch die mehr Wärme abfließen kann als durch andere, gut gedämmte Flächen. Wärmebrücken bewirken Wärmeverluste, niedrigere Oberflächentemperaturen und verursachen letztendlich einen erhöhten Heizwärmebedarf. Sie können unter Umständen auch zu Bauschäden führen. Nach Energieeinsparverordnung § 7 „Mindestwärmeschutz, Wärmebrücken“ sind Gebäude so auszuführen, dass der Einfluss konstruktiver Wärmebrücken auf den Jahres-Heizwärmebedarf so gering wie möglich ist.

Wärmeleitfähigkeit λ (Lambda-Wert)

Die **Wärmeleitfähigkeit** λ ist eine spezifische Stoffeigenschaft. Je geringer die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes, umso besser ist seine Dämmwirkung. Der λ -Wert hat die Maßeinheit $W/(m \cdot K)$ und definiert den Wärmestrom, der bei einem Temperaturunterschied von einem Grad (1 K) stündlich durch ein 1 Meter dickes Bauteil übertragen wird. Die Wärmeleitfähigkeit ist die Grundlage für die Einteilung der Dämmstoffe in Wärmeleitfähigkeitsstufen (abgekürzt: WLS). Sie wird als dreistellige Zahl, z. B. WLS 023, angegeben. Im Rahmen der CE-Kennzeichnung wird künftig nur die Angabe des Nennwerts der Wärmeleitfähigkeit (λ_D) gefordert. In Deutschland ist der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108-4 maßgebend für die Berechnung des Wärmeschutznachweises gemäß EnEV. Aufgabe des Planers ist es, künftig den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit entsprechend DIN 4108-4 oder den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen Z 23.15-xxx zu ermitteln.

Wärmedurchlasswiderstand R und Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert

Der **Wärmedurchlasswiderstand R** beschreibt die Wärmedämmwirkung einer homogenen Bauteilschicht. Je größer der Wärmedurchlasswiderstand dieser Bauteilschicht, desto größer seine Wärmedämmwirkung. Der R-Wert hat die Maßeinheit $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ und gibt den Widerstand an, den eine homogene Bauteilschicht dem Wärmestrom bei einem konstanten Temperaturunterschied von einem Grad (1 K) auf einer Fläche von 1 m^2 zwischen seinen Oberflächen entgegensetzt. Bei mehrschichtigen Bauteilen addieren sich die Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten. Der R-Wert ist der Quotient aus Dicke d und dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit eines Bauteiles.

$$R = d/\lambda \text{ (nach DIN EN ISO 6946).}$$

Je kleiner der **Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)**, desto geringer der Wärmeabfluss durch das Bauteil. Der U-Wert hat die Maßeinheit $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und gibt an, welche Wärmeleistung durch das Bauteil pro Quadratmeter strömt, wenn die Außen- und Innenfläche einem konstanten Temperaturunterschied von einem Grad (1 K) ausgesetzt ist. Bei mehrschichtigen Bauteilen wird der U-Wert aus der Summe der Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen hintereinander liegenden Bauteilschichten sowie der Wärmeübergangswiderstände zur umgebenden Luft an den beiden Oberflächen berechnet.

Durch ein gut gedämmtes Dach mit einem U-Wert von $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ fließt zehnmal weniger Wärme als durch ein nicht gedämmtes Dach mit einem U-Wert von $1,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Dampfsperren und Dampfbremsen – s_d -Wert

Diffusionshemmende Schichten verhindern das Eindringen von Wasserdampf in Bauteile. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden sie gerne als **Dampfsperren oder Dampfbremsen** bezeichnet. Häufig fungieren sie gleichzeitig als luftdichte Schicht. Je höher der s_d -Wert, desto dampfdichter eine Schicht.

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 s_d -Wert berechnet man aus der werkstoffspezifischen Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ mal der Dicke des Werkstoffes (in Meter): $s_d = \mu \cdot m$. 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 $s_d < 0,5 \text{ m}$
- diffusionshemmend $0,5 \text{ m} < s_d < 1500 \text{ m}$
- diffusionsdicht $s_d > 1500 \text{ m}$

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl – μ -Wert

Maßgeblich für die Berechnung des Diffusionsverhaltens von Bauteilen ist die **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ** der Bau- und Dämmstoffe. Der μ -Wert ist ein dimensionsloser Materialkennwert. Er gibt an, um wie viel der Wasserdampfdurchlasswiderstand eines Bauteils bzw. Baustoffes größer ist als der einer gleich dicken, ruhenden Luftschicht ($\mu_{\text{Luft}} = 1$). Je größer der μ -Wert, desto dampfdichter ist ein Baustoff. Die μ -Werte für die gebräuchlichsten Baustoffe sind in DIN EN ISO 12572 angegeben.

3 Nachweisfreie Dachkonstruktionen

Für die Beurteilung des klimabedingten Feuchteschutzes ist eine Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse infolge von Diffusionsvorgängen durchzuführen, sofern nicht die Anforderungen an nachweisfreie Bauteile erfüllt werden.

Die in Kapitel 3 beschriebenen Konstruktionsvarianten haben sich bewährt und sind bauphysikalisch sicher. Sie sind entsprechend der Norm DIN 4108-3: 2014-11 Abschnitt 5.3.3 als Dächer eingestuft, für die kein rechnerischer Nachweis des Tauwasseranfalls erforderlich ist.

Voraussetzung dafür ist, dass der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2, die luftdichte Ausführung nach DIN 4108-7 und die Anforderungen an den konstruktiven Holzschutz nach DIN 68800-2 eingehalten sind. Zu den nachweisfreien Bauteilen zählen auch Dachkonstruktionen mit diffusionsdichten und mit diffusionsfähigen PU-Dämmungen, die sich in der Praxis als besonders tauwassersicher erwiesen haben.

3.1 Planungs- und Ausführungshinweise

Die Ausführung der Luftdichtheit hat entsprechend den Anforderungen der DIN 4108-7 „Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen zu erfolgen. Die wärmeübertragende Umfassungsfläche ist einschließlich der Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik auszuführen.

Die Luftdichtheitsschicht befindet sich in der Regel raumseitig, d. h. auf der warmen Seite der Konstruktion. Sie verhindert, dass warme und feuchte Luft durch die raumseitige Bekleidung in die Konstruktion eindringt oder diese für Luftströmungen (Konvektion) durchlässig ist. Die Luftdichtheitsschicht kann gleichzeitig die Funktion einer Dampfsperre oder -bremse übernehmen und damit den Transport von Feuchtigkeit durch Diffusionsvorgänge verhindern.

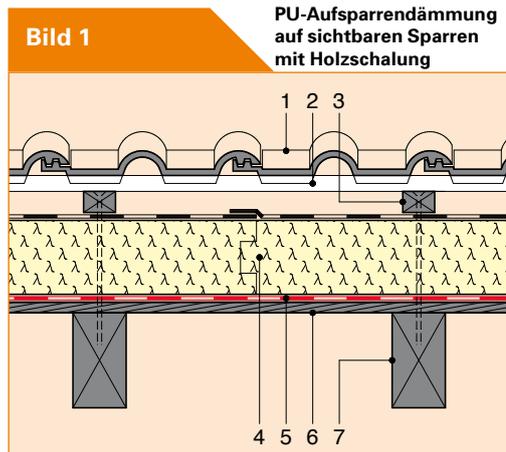
DIN 4108-3 lässt auch Dämmschichten unterhalb der Dampfbremse- oder Dampfsperre zu. Für nachweisfreie Konstruktionen darf der Wärmedurchlasswiderstand von Bauteilschichten unterhalb der Dampfbremse oder Dampfsperre höchstens 20 % des gesamten Wärmedurchlasswiderstandes betragen.

Weiterhin sind in der Norm für nachweisfreie Konstruktionen unterschiedliche s_d -Werte für die diffusionshemmende Schicht unter der Wärmedämmung zugeordnet. Der s_d -Wert hängt dabei auch von der Ausführung der regensichernden Zusatzmaßnahme oberhalb der Wärmedämmung ab. Für Konstruktionen mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung (WLS 023) ist in der Regel eine ausreichende Begrenzung der Wasserdampfdiffusion ab einem s_d -Wert der raumseitigen Dampfbremse von ≥ 10 m gewährleistet. Für nicht diffusionsdichte PU-Aufsparrendämmung (WLS 026/027) reicht in der Regel bereits eine Dampfbremse mit $s_d \geq 3$ m aus.

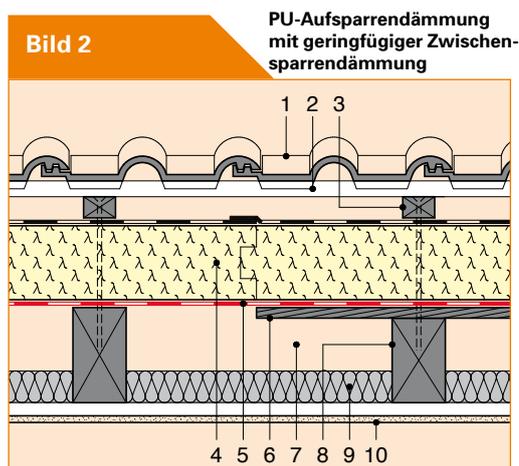
Für die U-Wert-Berechnung der in Kapitel 3.2 und 3.3 beschriebenen Konstruktionen wurde der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit zugrunde gelegt und in der entsprechenden Wärmeleitfähigkeitsstufe (WLS) angegeben.

3.2 Steildach

3.2.1 Steildach mit PU-Aufsparrendämmung



- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Konterlatte
- 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
- 6 Holzschalung
- 7 Sparren



- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Konterlatte
- 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
- 6 ggf. Holzschalung
- 7 Luftschicht, nicht belüftet
- 8 Sparren
- 9 Zwischensparrendämmschicht WLS 040
- 10 Raumseitige Bekleidung

Tabelle 1 Steildach, nachweisfrei, mit PU-Aufsparrendämmung auf sichtbaren Sparren mit Holzschalung

U-Wert* in W/(m ² ·K)			
≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,18	≤ 0,24
PU-Aufsparrendämmung, diffusionsdicht Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023 Dicke in mm			
220	160	120	100
PU-Aufsparrendämmung, diffusionsfähig Nennwert 0,025 W/(m·K), WLS 026 Dicke in mm			
260	180	140	120

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} sowie 19 mm Profilholzschalung berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 1 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

* Die tatsächlich erreichten U-Werte sind z. T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

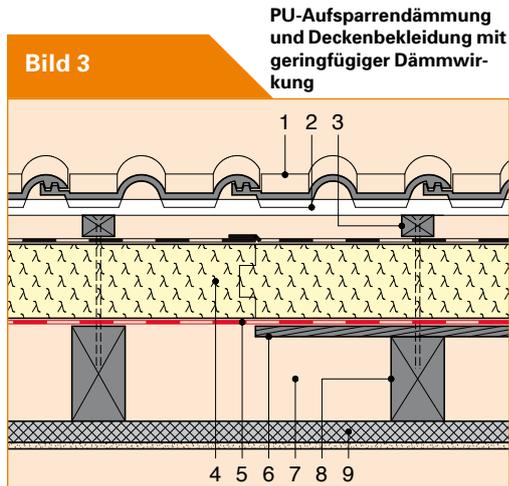
Tabelle 2 Steildach, nachweisfrei, mit PU-Aufsparrendämmung und Zwischensparrendämmung mit geringfügiger Dämmwirkung

Zwischensparrendämmung** WLS 040 Dicke in mm	U-Wert* in W/(m ² ·K)			
		≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,18
PU-Aufsparrendämmung, diffusionsdicht Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023 Dicke in mm				
≤ 60	180	140	100	80
PU-Aufsparrendämmung, diffusionsfähig Nennwert 0,025, 0,026 W/(m·K), WLS 026, 027 Dicke in mm				
≤ 60	220	140	120	100

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13 % Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 2 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z. T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

** Geringfügige Dämmwirkung ≤ 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes.



- | | |
|--|---|
| 1 Dachdeckung | 6 ggf. Holzschalung |
| 2 Dachlatte | 7 Luftschicht, nicht belüftet |
| 3 Konterlatte | 8 Sparren |
| 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene | 9 Raumseitige Bekleidung mit geringer Dämmwirkung |
| 5 Luftdichtheitsschicht/ Dampfbremse | |

Tabelle 3

Steildach, nachweisfrei, mit PU-Aufsparrendämmung und Deckenbekleidung mit geringfügiger Dämmwirkung

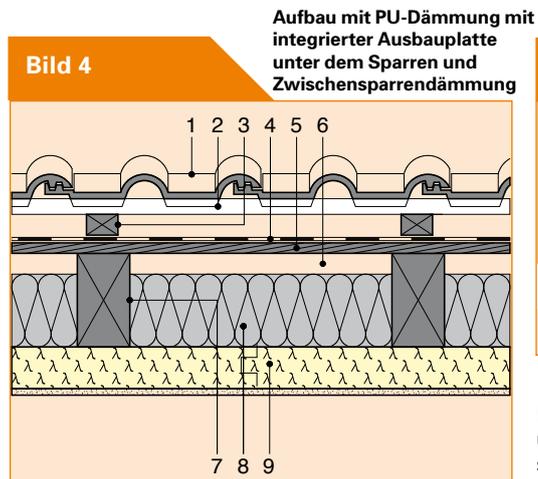
Untersparrendämmung HWL-Platte** Dicke in mm	U-Wert* in W/(m ² ·K)			
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,18	≤ 0,24
	PU-Aufsparrendämmung, diffusionsdicht Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023 Dicke in mm			
20	220	160	120	80
	PU-Aufsparrendämmung, diffusionsfähig Nennwert 0,025, 0,026 W/(m·K), WLS 026, 027 Dicke in mm			
20	240	180	140	100

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Sparrenanteil sowie 20 mm HWL-Platte (DIN 1101) und 15 mm Putz berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 3 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z.T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.
 ** Geringfügige Dämmwirkung ≤ 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes



3.2.2 Steildach mit PU-Untersparrendämmung



- | | |
|-------------------------------|---|
| 1 Dachdeckung | 7 Sparren |
| 2 Dachlatte | 8 Zwischensparrendämmung WLS 040 |
| 3 Konterlatte | 9 PU-Wärmedämmelement diffusionsdicht, integrierter Ausbauplatte, luftdicht verarbeitet und angeschlossen |
| 4 Unterdeckung | |
| 5 Holzschalung | |
| 6 Luftschicht, nicht belüftet | |

Tabelle 4

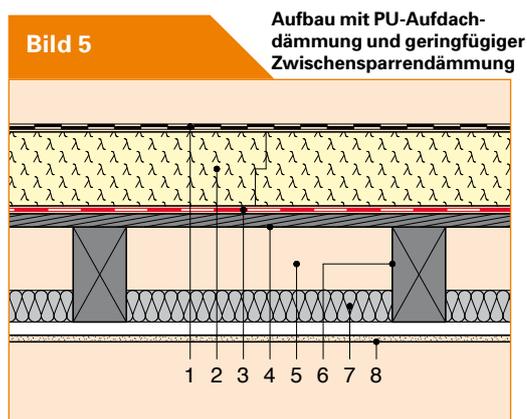
Steildach, nachweisfrei, mit diffusionsdichter PU-Untersparrendämmung und Zwischensparrendämmung

Zwischensparrendämmung WLS 040 Dicke in mm	U-Wert* in W/(m ² ·K)			
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,18	≤ 0,24
	PU-Untersparrendämmung Nennwert 0,022, 0,023 W/(m·K), WLS 023, 024 Dicke in mm			
120	160	100	60	40
100	160	100	80	40

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Sparrenanteil sowie 19 mm Holzschalung und 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 4 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z.T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

3.3 Flachdach



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 Dachabdichtung | 6 Sparren |
| 2 PU-Wärmedämmung | 7 Gefachdämmschicht WLS 040 |
| 3 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_d \geq 100 m$ | 8 raumseitige Deckenbekleidung |
| 4 Holzschalung | |
| 5 Luftschicht, nicht belüftet | |

Tabelle 5

Flachdach, nachweisfrei, mit PU-Aufdachdämmung und Gefachdämmung mit geringfügiger Dämmwirkung

Gefachdämmung** WLS 040 Dicke in mm	U-Wert* in W/(m ² ·K)			
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,18	≤ 0,24
	PU-Aufdachdämmung, diffusionsdicht Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023 Dicke in mm			
≤ 60	180	120	100	80
	PU-Aufdachdämmung, diffusionsfähig Nennwert 0,025, 0,026 W/(m·K), WLS 026, 027 Dicke in mm			
≤ 60	200	140	120	100

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Balkenanteil sowie 24 mm Holzschalung und 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 5 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z.T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

** Geringfügige Dämmwirkung ≤ 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes

4 Rechnerische Nachweise

Für den rechnerischen Nachweis bietet die DIN 4108-3 entweder das Perioden-Bilanzverfahren oder genauere weitergehende Berechnungen (hygrothermische Simulationsverfahren) an.

4.1 Perioden-Bilanzverfahren

Mit dem Perioden-Bilanzverfahren gemäß DIN 4108-3 können Dachkonstruktionen mit PU-Aufsparrendämmung gegebenenfalls in Kombination mit einer Zwischensparrendämmung rechnerisch nachgewiesen werden. Für einen rechnerisch tauwasserfreien Gesamtaufbau muss die PU-Aufsparrendämmung in der Regel etwas dicker bemessen werden als Dämmschichten zwischen den Sparren. Als Faustregel hat sich die „+4 Regel“ über Jahre bewährt. Die PU-Aufsparrendämmung ist dabei mindestens vier Zentimeter dicker als die Zwischensparrendämmung.

Das Perioden-Bilanzverfahren geht von vereinfachten Randbedingungen aus. Eine idealisierte Tauwasserperiode und eine idealisierte Verdunstungsperiode werden jeweils mit konstanten Werten als sogenanntes Blockklima angesetzt. Die Klimabedingungen in den Übergangszeiten bleiben unberücksichtigt. Mit dem einfachen Berechnungsverfahren werden die realen Verhältnisse innerhalb eines Bauteiles jedoch nicht dargestellt. Beispielsweise können weder das Austrocknungsverhalten von Bauteilen, noch der Feuchte-transport innerhalb von Schichten oder Materialien berücksichtigt werden.

Viele Konstruktionen, die sich in der Praxis als funktionstauglich erwiesen haben, können mit dem Perioden-Bilanzverfahren nicht nachgewiesen werden. Für diese Konstruktionen ist ein genauerer Nachweis über hygrothermische Simulation möglich.

4.2 Hygrothermische Simulationsverfahren

Für genauere und weitergehende Berechnungen des Wärme- und Feuchteverhaltens von Bauteilen und Bauelementen verweist die DIN 4108-3 im Anhang D auf hygrothermische Simulationsverfahren mittels Computermodellen.

Die Grundlage hierfür liefert die europäische Norm DIN EN 15026. Die Vorteile der hygrothermischen Simulationen liegen darin, dass die unter natürlichen Klima- und Nutzungsbedingungen auftretenden Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Baukonstruktion detailliert abgebildet werden:

- Die Tauwasserentstehung und die Tauwasser-austrocknung werden durchgehend über einen längeren Zeitraum z. B. über 5 Jahre, simuliert.
- Hygrothermische Simulationsverfahren greifen auf reale Klimadaten und die realitätsnahe Abbildung von Wasserdampf- und Wärmeströmen zurück.
- Eventuelle Konvektionseffekte werden bei der Simulation berücksichtigt. Die Konstruktion bleibt selbst bei kleinen Fehlstellen in der Luftdichtheitsschicht schadensfrei.
- Zur Berücksichtigung von eventuellen zusätzlichen Feuchteinträgen in die Konstruktion, z. B. durch Undichtheiten in der Gebäudehülle oder Bautoleranzen, kann zwischen der pauschalen Trocknungsreserve oder dem IBP-Infiltrationsmodell gewählt werden.

5 Dachkonstruktionen mit rechnerischem Nachweis (Hygrothermische Simulation)

Die in Kapitel 5 beschriebenen Konstruktionen wurden auf der Grundlage „Hygrothermischer Untersuchungen an Steil- und Flachdachaufbauten mit PU-Aufsparren-/Aufdachdämmung („Kombi-Dämmung“) für Sanierung und Neubau“¹ nachgewiesen. Damit erfüllen sie die bauaufsichtlichen Anforderungen.

5.1 Gültigkeit des rechnerischen Nachweises

Die Funktionstauglichkeit der Dachaufbauten hängt ganz wesentlich von der Beschaffenheit der raumseitigen Bekleidung einschließlich einer eventuell vorhandenen Dampfbremse ab. Die Nachweise gelten für Sanierungslösungen mit einem Diffusionswiderstand (s_d -Wert) der raumseitigen Bekleidung einschließlich Dampfbremse von 0 m bis 10 m. Für Neubaulösungen ist ein s_d -Wert von 2 m bis 10 m erforderlich. Der Nachweis berücksichtigt auch eine Feuchteinfiltration durch übliche Undichtheiten der raumseitigen Bekleidung und Dampfbremse.

Die Dämmung der Sparren- bzw. Balkenzwischenräume kann als Teil- und als Volldämmung ausgeführt sein. Die Berechnungen gelten jeweils für Konstruktionen mit oder ohne Holzschalung auf den Sparren bzw. der Tragkonstruktion.

Alle Sanierungs- und Neubaus Ausführungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Sparren der Holzkonstruktion außen mit einer mindestens 80 mm dicken PU-Aufsparrendämmung bzw. PU-Aufdachdämmung überdämmt sind. Die Holzkonstruktion liegt damit im warmen Bereich und ist „tauwassersicher“

Der Nachweis gilt, sofern nicht anders beschrieben, für

- trocken eingebaute Materialien,
- eine mängelfreie Bauausführung,
- eine durchdringungsfreie, luftdichte Ausführung und luftdichte Anschlüsse der Dampfbremse/Luftdichtheitsschicht,
- eine übliche Wohnnutzung,
- für mitteleuropäisches Klima,
- angegebenen Dicken, Materialien und Randbedingungen.

Für abweichende Konstruktionen, abweichende Einsatz- und Klimabedingungen, geänderte Parameter, andere Dämmdicken, Gebäudenutzungen mit hoher Personendichte, Wellness-Räume, Schwimmbäder sowie für Höhenlagen ab 700 m über NN ist ein separater rechnerischer Nachweis erforderlich.

Die in Kapitel 5 beschriebenen Steildach- und Flachdachaufbauten sind feuchte-technisch sicher. Die Aufbauten bleiben hinsichtlich Tauwasser und luftfeuchtebedingter Schimmelbildung dauerhaft schadensfrei.

Tendenziell ist die hygrothermische Situation umso besser, je dicker die PU-Aufsparrendämmung bzw. PU-Aufdachdämmung ist. Dickere Dämmungen als in den U-Wert-Tabellen angegeben, dürfen deshalb immer verwendet werden.

Für die Berechnung der U-Werte der beschriebenen Konstruktionen wurde der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit zugrunde gelegt und in der entsprechenden Wärmeleitfähigkeitsstufe (WLS) angegeben.

¹ Dr. Martin H. Spitzner: Hygrothermische Untersuchungen an Steil- und Flachdachaufbauten mit PU-Aufsparren-/PU-Aufdachdämmung („Kombi-Dämmung“) für Sanierung und Neubau. Bericht-Nr. 2015-04. München, Oktober 2015.

5.2 Steildachsanierung

5.2.1 Planungs- und Ausführungshinweise

Dampfdiffusionswiderstand der raumseitigen Bekleidung

Die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke der vorhandenen raumseitigen Bekleidung kann (einschließlich einer eventuell vorhandenen raumseitigen Dampfbremse) einen s_d -Wert von 0 m bis 10 m aufweisen. Da bei Sanierungen nicht mit erhöhten Feuchteinträgen aus den Innenräumen (z. B. durch Baufeuchte) zu rechnen ist, funktionieren die nachgewiesenen Konstruktionen auch ohne raumseitige Dampfbremse (d. h. mit $s_d = 0$). Andererseits ist bei $s_d = 10$ m noch ein ausreichendes Austrocknungspotenzial in den Innenraum gegeben.

Hinweis: Ist raumseitig eine Dampfbremse vorhanden, z. B. eine PE-Folie mit einem s_d -Wert ≥ 10 m, kann die Aufsparrendämmschicht nach dem Perioden-Bilanzverfahren dimensioniert werden.

Zwischensparrendämmung im Bestand

Ist zwischen den Sparren eine Mineralwollendämmung (WLS 040 oder WLS 045) im Bestand vorhanden und noch funktionsfähig, kann diese im Aufbau verbleiben. Anderenfalls wird sie durch eine neue Zwischensparrendämmung (z. B. Mineralwolle mit WLS 035) ersetzt.

Nach Herstellerangaben weisen Aluminiumkaschierungen alter Rollisol-Dämmschichten s_d -Werte von etwa 10 m auf. Im Einbauzustand und unter Berücksichtigung der Alterung ist mit einem effektiven s_d -Wert zwischen 2 m und 10 m zu rechnen. Dies bedeutet, dass eine vorhandene Rollisol-Dämmung bei der Sanierung im Dach verbleiben kann, sofern raumseitig keine weitere Dampfbremse vorhanden ist.

Hohlräume in der Ebene der Zwischensparrendämmung

Hohlräume mit nichtbelüfteter Luftschicht oberhalb der Zwischensparrendämmung sind unproblematisch, wenn im Hohlraum die Taupunkttemperatur nicht unterschritten wird.

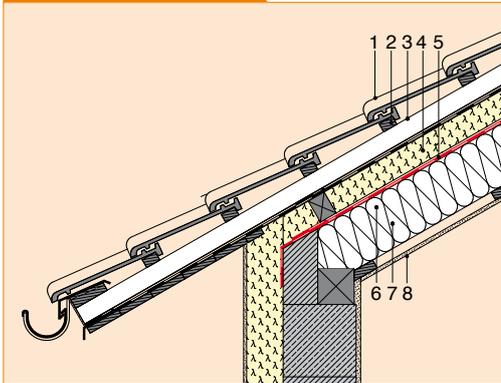
Liegt die Temperatur der darin stehenden Luftschicht oberhalb des Taupunktes, kann im Hohlraum kein Kondensat anfallen und damit keine Feuchteanreicherung entstehen. Bei einer lückenlosen PU-Aufsparrendämmung liegen die Holzbauteile und der eventuell vorhandene Luftraum zwischen den Sparren auf der warmen Seite der Konstruktion. Auch wenn durch Fehlstellen feuchte Raumluft in den Hohlraum gelangen sollte, kommt es nicht zum Tauwasserausfall.

Luft- und Winddichtheit

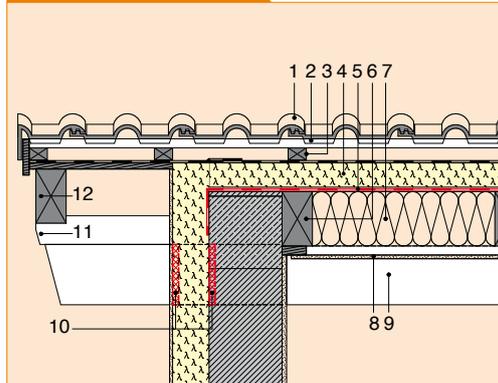
Außenbauteile wie Dächer und Wände müssen luftdicht ausgeführt werden, damit die Raumluft nicht durch Fugen nach außen oder in das Bauteil eindringen kann. Bei Dächern von Bestandsgebäuden ist die geforderte Luftdichtheit in der Regel nicht gegeben, auch wenn der Dachraum bereits ausgebaut ist. Bei den Sanierungslösungen wird deshalb auf den Sparren unterhalb der PU-Aufsparrendämmung eine separate Bahn verlegt, die gleichzeitig die Funktion der Luftdichtheitsschicht und der Dampfbremse übernimmt. Diese Bahn wird vollflächig über die Sparrenlage verlegt und dient während der Bauphase als Witterungsschutz. Sie wird in der Fläche und an allen Anschlüssen/Durchdringungen luftdicht verlegt und angeschlossen.

Hinterlüftungsöffnungen oberhalb der vorhandenen Zwischensparrendämmung sind vor dem Verlegen der Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse luftdicht und wärmebrückenfrei zu verschließen, z. B. durch Ausmauern oder Anbringen von Stellbrettern in den traufseitigen Sparrenzwischenräumen.

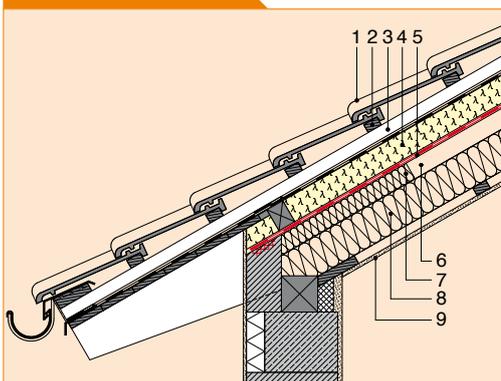
Dauerhaft luftdichte Anschlüsse an Traufe und Ortgang sind für die Funktionstüchtigkeit des Dachs besonders wichtig. Die nachfolgend dargestellten Details zeigen beispielhafte Lösungen. Sie sind als Anregung für die Planung und Ausführung zu verstehen.

Bild 6
Traufschluss ohne durchlaufenden Sparren

Traufschluss ohne durchlaufenden Sparren mit erhöhter, ausragender Konterlatte, Luftdichtheitsschicht oberhalb der Sparren

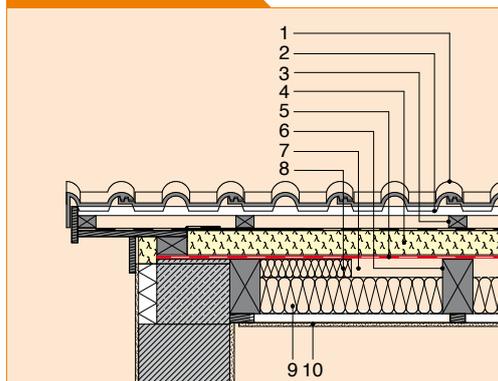
- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Erhöhte Konterlatte
- 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_d = 2-10$ m
- 6 Sparren
- 7 Vorhandene Zwischensparrendämmung
- 8 Vorhandene raumseitige Bekleidung

Bild 7
Ortganganschluss mit Flugsparren

Ortganganschluss mit Flugsparren, Luftdichtheitsschicht oberhalb der Sparren

- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Konterlatte
- 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_d = 2-10$ m
- 6 Sparren
- 7 Vorhandene Zwischensparrendämmung
- 8 Vorhandene raumseitige Bekleidung
- 9 Pfette
- 10 Abdichtung umlaufend
- 11 Aufdopplung Pfette
- 12 Flugsparren

Bild 8
Traufschluss mit durchlaufendem Sparren

Traufschluss mit durchlaufendem Sparren, Luftdichtheitsschicht oberhalb der Sparren

- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Konterlatte
- 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_d = 2-10$ m
- 6 Sparren
- 7 Wärmedämmung der ruhenden Luftschicht im Traufbereich
- 8 Vorhandene Zwischensparrendämmung
- 9 Vorhandene raumseitige Bekleidung

Bild 9
Ortganganschluss mit durchlaufendem Sparren

Ortganganschluss mit durchlaufendem Sparren, Luftdichtheitsschicht oberhalb der Sparren

- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Konterlatte
- 4 PU-Dämmung mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_d = 2-10$ m
- 6 Sparren
- 7 Luftschicht nicht belüftet
- 8 Wärmedämmung der nicht belüfteten Luftschicht im Ortgangbereich
- 9 Vorhandene Zwischensparrendämmung
- 10 Vorhandene raumseitige Bekleidung

5.2.2 Steildachsanieierung mit diffusionsdichter PU-Aufsparren- und Teilsparrendämmung

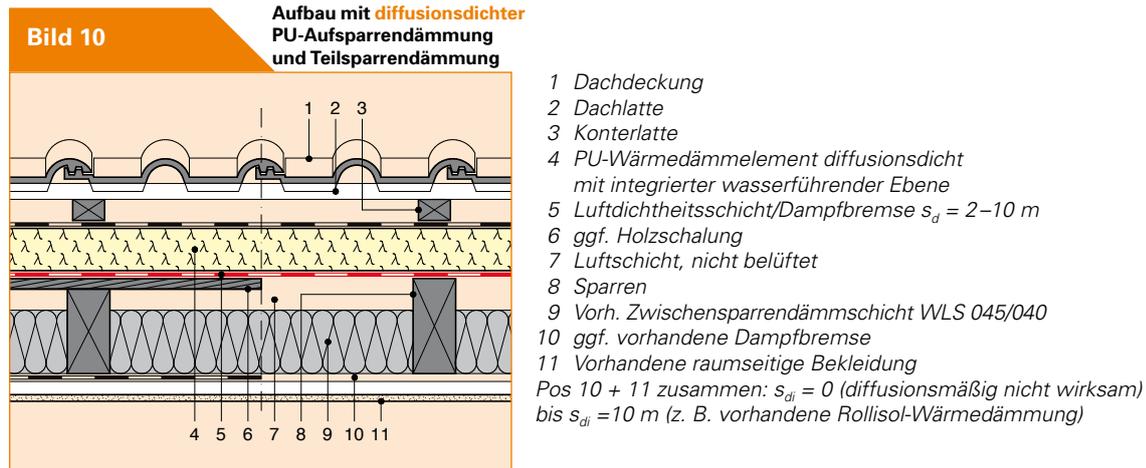


Tabelle 10

Steildachsanieierung mit PU-Aufsparrendämmung, diffusionsdicht, mit Teilsparrendämmung, ohne oder mit raumseitiger Dampfbremse $s_{d,i} \leq 10$ m

Zwischensparrendämmung Bestand WLS 040/045 Dicke in mm	U-Wert* in W/(m ² ·K)			
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,18	≤ 0,24
	PU-Aufsparrendämmung Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023 Dicke in mm			
120	180	120	80	80
80	180	120	80	80
60	200	140	100	80
nur HWL 40 mm	200	140	120	80

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13 % Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK berücksichtigt. Die letzte Tabellenzeile bezieht sich auf einen Dachaufbau ohne Zwischensparrendämmung mit durchgehend 4 cm Holzwoleleichtbauplatte und Putzschicht unter den Sparren. Die Berechnung wurde für die in Bild 10 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z. T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

5.2.3 Steildachsanierung mit diffusionsfähiger PU-Aufsparren- und Teilsparrendämmung

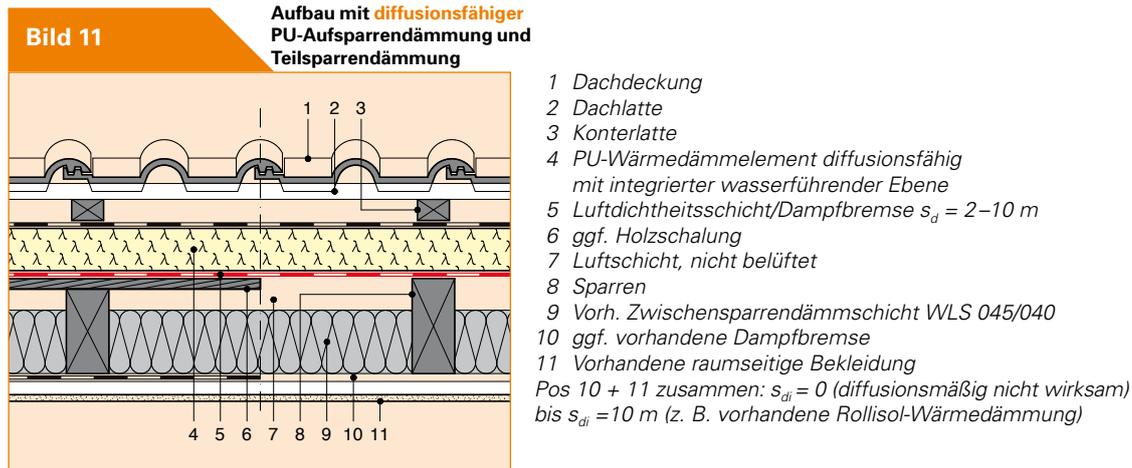


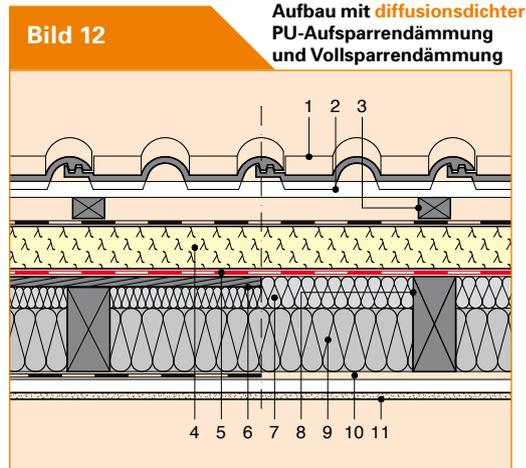
Tabelle 11 Steildachsanierung mit PU-Aufsparrendämmung, diffusionsfähig, mit Teilsparrendämmung, ohne oder mit raumseitiger Dampfbremse $s_{di} \leq 10 \text{ m}$

Zwischensparrendämmung Bestand WLS 040/045 Dicke in mm	U-Wert* in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			
	$\leq 0,10$	$\leq 0,14$	$\leq 0,18$	$\leq 0,24$
	PU-Aufsparrendämmung Nennwert 0,025, 0,026 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, WLS 026, 027 Dicke in mm			
120	200	120	80	80
80	200	140	100	80
60	220	140	120	80
nur HWL 40 mm	240	160	120	100

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13 % Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK berücksichtigt. Die letzte Tabellenzeile bezieht sich auf einen Dachaufbau ohne Zwischensparrendämmung mit durchgehend 4 cm Holzwoleleichtbauplatte und Putzschicht unter den Sparren. Die Berechnung wurde für die in Bild 11 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z. T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

5.2.4 Steildachsanieierung mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung und Vollsparrendämmung



- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement diffusionsdicht mit integrierter wasserführender Ebene
 - 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_d = 2-10 \text{ m}$
 - 6 ggf. Holzschalung
 - 7 Neue Zwischensparrendämmung WLS 035
 - 8 Sparren
 - 9 Vorhandene Zwischensparrendämmung WLS 045/040
 - 10 ggf. vorhandene Dampfbremse
 - 11 Vorhandene raumseitige Bekleidung
- Pos 10 + 11 zusammen: $s_{d,i} = 0$ (diffusionsmäßig nicht wirksam) bis $s_{d,i} = 10 \text{ m}$ (z. B. vorhandene Rollisol-Wärmedämmung)

Tabelle 12

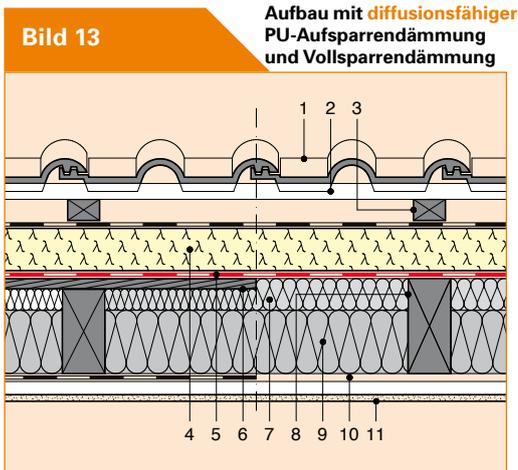
Steildachsanieierung mit PU-Aufsparrendämmung, diffusionsdicht, mit Vollsparrendämmung, ohne oder mit raumseitiger Dampfbremse $s_{d,i} \leq 10 \text{ m}$

Zwischensparrendämmung Neu: Nennwert 0,035 W/(m·K) Bestand: WLS 040/045 Dicke in mm (Neu/Bestand)	U-Wert* in W/(m ² ·K)			
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,16	≤ 0,18
	PU-Aufsparrendämmung Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023 Dicke in mm			
200 (60/140)	140	80	80	80
180 (40/140)	140	80	80	80
160 (40/120)	160	100	80	80
140 (40/100)	160	100	80	80
120 (40/80)	160	100	80	80

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13 % Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 12 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z. T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

5.2.5 Steildachsanierung mit diffusionsfähiger PU-Aufsparren- und Vollsparrendämmung



- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement diffusionsfähig mit integrierter wasserführender Ebene
 - 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_{di} = 2-10 \text{ m}$
 - 6 ggf. Holzschalung
 - 7 Neue Zwischensparrendämmung WLS 035
 - 8 Sparren
 - 9 Vorhandene Zwischensparrendämmung WLS 045/040
 - 10 ggf. vorhandene Dampfbremse
 - 11 Vorhandene raumseitige Bekleidung
- Pos 10 + 11 zusammen: $s_{di} = 0$ (diffusionsmäßig nicht wirksam) bis $s_{di} = 10 \text{ m}$ (z. B. vorhandene Rollisol-Wärmedämmung)

Tabelle 13

Steildachsanierung mit PU-Aufsparrendämmung, diffusionsfähig, mit Vollsparrendämmung, ohne oder mit raumseitiger Dampfbremse $s_{di} \leq 10 \text{ m}$

Zwischensparrendämmung Neu: Nennwert 0,035 W/(m·K) Bestand: WLS 040/045 Dicke in mm (Neu/Bestand)	U-Wert* in W/(m²·K)			
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,16	≤ 0,18
	PU-Aufsparrendämmung Nennwert 0,025, 0,026 W/(m·K), WLS 026, 027 Dicke in mm			
200 (60/140)	140	80	80	80
180 (40/140)	160	100	80	80
160 (40/120)	180	100	80	80
140 (40/100)	180	120	100	80
120 (40/80)	200	120	100	80

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 13 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

* Mit den Dämmstoffkombinationen sind die tatsächlich erreichten U-Werte z. T. deutlich niedriger als die vorgegebenen U-Werte.

5.3 Steildachneubau

5.3.1 Planungs- und Ausführungshinweise

Dampfdiffusionswiderstand der raumseitigen Bekleidung

Durch Innenputz- und Estricharbeiten werden im Neubau erhebliche Feuchtemengen freigesetzt. Werden die Innenarbeiten nach Dämmung der Sparrenzwischenräume ausgeführt, ist ein Feuchteeintrag ins Sparrengefach unvermeidlich. Eine fachgerecht ausgeführte Dampfbremse kann die Feuchtebelastung abmildern, aber nicht restlos unterbinden. Gleichzeitig behindern raumseitige Dampfbremsen die Rücktrocknung nach innen. Sehr dichte Dampfbremsen führen daher zu einer langzeitigen Feuchtebelastung der Gefachbereiche und hohem Schimmelpotenzial. Dampfbremsen mit einem konstanten s_d -Wert zwischen 2 m und 10 m bieten einen ausreichenden Schutz vor dem Eintrag von Baufeuchte und lassen gleichzeitig eine rasche Verdunstung zu.

Hinweis: 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 Ablüftmöglichkeit der Putz- und Estrichfeuchtigkeit und gleichzeitigem Heizbetrieb.

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

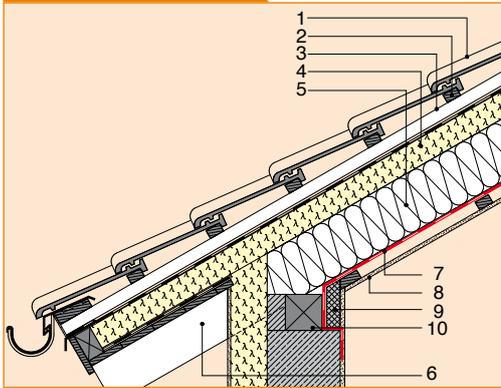
Luftdichtheit

Beim Neubau wird die geforderte Luftdichtheit mit einer raumseitig unterhalb der Zwischensparrendämmung angeordneten Luftdichtheitsschicht realisiert. In der Regel werden dazu Bahnen/Folien verwendet, die gleichzeitig die Funktion einer Dampfbremse erfüllen.

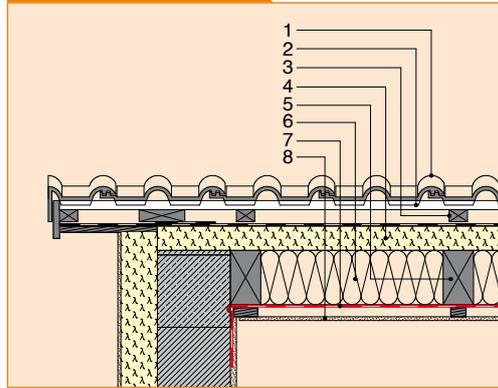
Die Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse ist dauerhaft dicht an die Umfassungskonstruktion anzuschließen. Die Anschlüsse z. B. an Mauerwerk oder an Holzrahmenkonstruktionen und ebenso an Durchdringungen, Kamine und Dachflächenfenster sind besonders sorgfältig auszuführen.

Unterhalb der Aufsparrendämmung kann optional eine Unterdeckbahn als Witterungsschutz verlegt werden. Sie schützt den Dachaufbau vor Feuchtigkeit während der Bauphase und erleichtert die Herstellung winddichter Anschlüsse, insbesondere bei zeitlich verzögertem Ausbau des Dachgeschosses und bei nicht ausgebautem Spitzboden.

Dauerhaft luftdichte Anschlüsse an Traufe und Ortgang sind für die Funktionstüchtigkeit des Daches besonders wichtig. Die nachfolgend dargestellten Details zeigen beispielhafte Lösungen, sie sind als Anregung für die Planung und Ausführung zu verstehen.

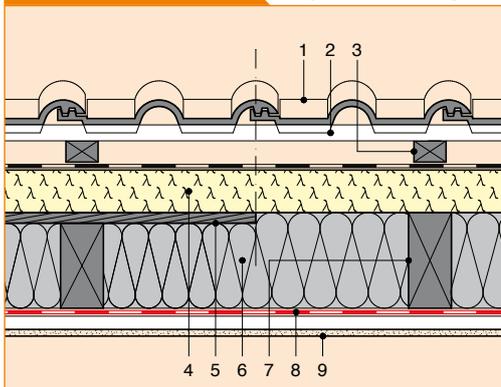
Bild 14
Traufanschluss mit durchgehendem Sparren

Traufanschluss mit durchgehendem Sparren, Luftdichtheitsschicht unter dem Sparren

- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Konterlatte
- 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Zwischensparrendämmung
- 6 Sparren
- 7 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
- 8 Raumseitige Deckenbekleidung
- 9 Putzträgerplatte
- 10 Pfette

Bild 15
Ortganganschluss ohne außen liegende Sparren

Ortganganschluss ohne außen liegende Sparren, Luftdichtheitsschicht unter dem Sparren

- 1 Dachdeckung
- 2 Dachlatte
- 3 Konterlatte
- 4 PU-Wärmedämmelement mit integrierter wasserführender Ebene
- 5 Sparren
- 6 Zwischensparrendämmung
- 7 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
- 8 Raumseitige Deckenbekleidung

5.3.2 Steildachneubau mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung

Bild 16
Steildachneubau mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung und Vollsparrendämmung


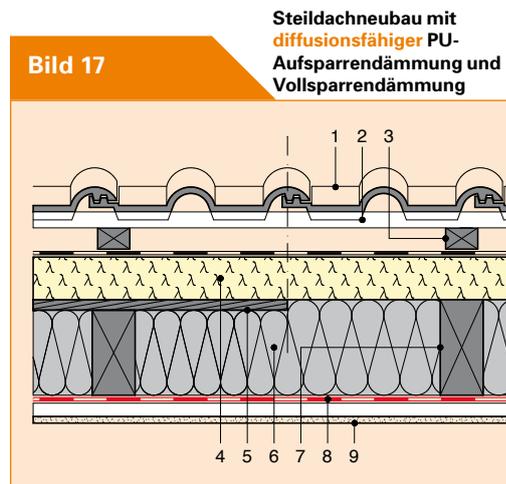
- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement diffusionsdicht mit integrierter wasserführender Ebene
 - 5 ggf. Holzschalung
 - 6 Vollsparrendämmung WLS 035
 - 7 Sparren
 - 8 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
 - 9 Raumseitige Bekleidung
- Pos 8 + 9 zusammen: $s_{di} = 2 - 10 \text{ m}$

Tabelle 16
Steildachneubau mit PU-Aufsparrendämmung, diffusionsdicht, mit Vollsparrendämmung, raumseitige Dampfbremse $s_{di} = 2 - 10 \text{ m}$

Zwischensparrendämmung Nennwert 0,035 W/(m·K)	U-Wert in W/(m ² ·K)							
	≤ 0,10		≤ 0,14		≤ 0,16		≤ 0,18	
Dicke in mm	PU-Aufsparrendämmung Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023							
	Dicke in mm (tatsächlicher U-Wert in Klammern)							
200	120	(0,10)	80	(0,12)	80	(0,12)	80	(0,12)
180	120	(0,10)	80	(0,13)	80	(0,13)	80	(0,13)
160	140	(0,10)	80	(0,14)	80	(0,14)	80	(0,14)
140	160	(0,10)	100	(0,13)	80	(0,15)	80	(0,15)
120	160	(0,10)	100	(0,14)	80	(0,16)	80	(0,16)

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13 % Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 16 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

5.3.3 Steildachneubau mit diffusionsfähiger PU-Aufsparrendämmung



- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement diffusionsfähig mit integrierter wasserführender Ebene
 - 5 ggf. Holzschalung
 - 6 Vollsparrendämmung WLS 035
 - 7 Sparren
 - 8 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
 - 9 Raumseitige Bekleidung
- Pos 8 + 9 zusammen: $s_{di} = 2-10 \text{ m}$

Tabelle 17

Steildachneubau mit PU-Aufsparrendämmung, diffusionsfähig, mit Vollsparrendämmung, mit raumseitiger Dampfbremse $s_{di} = 2 \text{ bis } 10 \text{ m}$

Zwischensparrendämmung Nennwert 0,035 W/(m·K)	U-Wert in W/(m ² ·K)							
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,16	≤ 0,18				
Dicke in mm	PU-Aufsparrendämmung Nennwert 0,025, 0,026 W/(m·K), WLS 026, 027							
	Dicke in mm, (tatsächlicher U-Wert in Klammern)							
200	140	(0,10)	80	(0,12)	80	(0,13)	80	(0,13)
180	140	(0,10)	80	(0,14)	80	(0,14)	80	(0,14)
160	160	(0,10)	100	(0,13)	80	(0,15)	80	(0,15)
140	160	(0,10)	100	(0,14)	80	(0,16)	80	(0,16)
120	180	(0,10)	120	(0,13)	100	(0,15)	80	(0,17)

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13 % Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 17 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objekt-spezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946, wurden nicht berücksichtigt.

5.4 Flachdachneubau

5.4.1 Planungs- und Ausführungshinweise für Dampfbremse und Luftdichtheit

Nicht belüftete Flachdächer sind an der Oberseite, insbesondere bei einer Ausführung mit bituminösen Dachbahnen, nahezu diffusionsdicht. Beim Einbau raumseitiger Dampfsperren kann eindringende Feuchtigkeit nicht mehr aus der Konstruktion herausdiffundieren. Holzbauteile, die zwischen dampfdichten Schichten eingeschlossen sind, werden feucht und verrotten. Der Einbau von raumseitigen Dampfsperren mit $s_d \geq 100 \text{ m}$ in Holzkonstruktionen mit einem nach außen dampfsperrenden Dachaufbau entspricht nicht mehr den Regeln der Technik.

Die hygrothermischen Simulationen haben gezeigt, dass die raumseitige Bekleidung einschließlich der Dampfbremse unter der Gefachdämmung eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von $s_d = 2 \text{ m} - 10 \text{ m}$ aufweisen muss, um eine ausreichend Rücktrocknung nach innen zuzulassen.

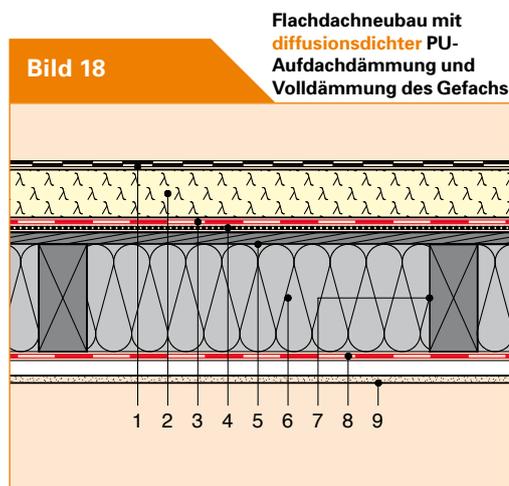
Beim Neubau können Innenputz- und Estricharbeiten erhebliche Feuchtemengen freisetzen. Werden die Innenarbeiten nach Dämmung der Balkenzwischenräume ausgeführt, ist ein Feuchteintrag in das Gefach unvermeidlich. Eine fachgerecht ausgeführte Dampfbremse

mit einem s_{di} -Wert zwischen 2 m und 10 m kann die Feuchtelast auf ein unschädliches Maß abmindern, aber nicht restlos unterbinden. Abhängig von der Jahreszeit kann die Rücktrocknung einige Monate in Anspruch nehmen. Um Schimmelrisiken vorzubeugen, sollten die Dämmung der Balkenzwischenräume und das Verlegen der Luftdichtheitsschicht

bzw. Dampfbremse erst nach Abklingen der Feuchtebelastung ausgeführt werden.

Die Dampfbremse übernimmt gleichzeitig die Funktion der erforderlichen Luftdichtheitsschicht und ist dauerhaft luftdicht in der Fläche, an die Umfassungskonstruktion und an Durchdringungen anzuschließen.

5.4.2 Flachdachneubau in Holzbauweise mit diffusionsdichter PU-Aufdachdämmung



- 1 Dachabdichtung
 - 2 PU-Wärmedämmung diffusionsdicht
 - 3 Dampfbremse $s_{di} = 2-10$ m
 - 4 Trennlage
 - 5 Holzschalung
 - 6 Volldämmung des Gefachs WLS 035
 - 7 Tragkonstruktion
 - 8 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
 - 9 Raumseitige Bekleidung
- Pos 8 + 9 zusammen: $s_{di} = 2-10$ m

Tabelle 18

Flachdachneubau mit PU-Aufdachdämmung diffusionsdicht, mit Vollämmung des Gefachs, raumseitige Dampfbremse $s_{di} = 2$ bis 10 m

Zwischensparrendämmung Nennwert 0,035 W/(m·K)	U-Wert in W/(m ² ·K)							
	≤ 0,10	≤ 0,14	≤ 0,16	≤ 0,18				
Dicke in mm	PU-Aufdachdämmung Nennwert 0,022 W/(m·K), WLS 023							
	Dicke in mm, (tatsächlicher U-Wert in Klammern)							
200	120	(0,10)	80	(0,12)	80	(0,12)	80	(0,12)
180	120	(0,10)	80	(0,13)	80	(0,13)	80	(0,13)
160	140	(0,10)	80	(0,13)	80	(0,13)	80	(0,13)
140	140	(0,10)	80	(0,14)	80	(0,14)	80	(0,14)
120	160	(0,10)	100	(0,13)	80	(0,15)	80	(0,15)

Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Sparrenanteil sowie 24 mm Holzschalung und 12,5 mm GK berücksichtigt. Die Berechnung wurde für die in Bild 17 genannte Schichtenfolge durchgeführt. Weitere objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.

Hinweise zur Flachdachsanie rung

Spezielle Sanierungslösungen für Flachdächer in Holzbauweise werden in dieser Schrift nicht behandelt.

Sofern vorhandene Dämmschichten und Schalungen funktionsfähig erhalten sind, können sie in die Sanierung einbezogen werden. In diesem Fall bietet ein nach dem Perioden-

Bilanzverfahren nachgewiesener Warmdachaufbau, bestehend aus Dampfsperre, PU-Dämmschicht und Abdichtung, oberhalb der Tragwerksebene eine sehr gute, anwendungs- und tauwassersichere Lösung. Bei größerer Schädigung werden Flachdächer in der Regel komplett entkernt und neu aufgebaut. Damit wird eine Neubausituation geschaffen.

6 Allgemein gültige Regeln für Steil- und Flachdächer in Holzbauweise

Regel 1: Wärmedämmung möglichst auf der Außenseite anordnen

Liegt die Wärmedämmung auf der Außenseite, wird die Holzkonstruktion zuverlässig gegen Wind und Wetter geschützt. Die lückenlose Dämmschicht auf den Sparren oder den Dachbalken sorgt dafür, dass die tragenden Holzelemente warm und trocken bleiben. Auch Trauf und Ortganganschlüsse werden überdämmt. Wärmebrücken werden vermieden. Die Feuchtesicherheit wird erhöht, weil ausführungsbedingte Luftundichtigkeiten auf der Innenseite keine Schäden verursachen.

Was warm ist, bleibt trocken. Was trocken bleibt, hält ein Bauteilleben lang.

Regel 2: Luftdichtheit herstellen

Dächer im Bestand sind meist nicht luftdicht. Ein unkontrollierter Luftaustausch durch Außenbauteile verursacht nicht nur erhöhte Wärmeverluste, sondern kann auch zu Feuchteschäden führen. Wird das Dach saniert, muss die Luftdichtheit nachträglich hergestellt werden. Am einfachsten geschieht das von der Außenseite, um die laufende Nutzung der Räume unter dem Dach nicht zu beeinträchtigen.

Die Verlegung einer luftdichten und diffusionshemmenden Bahn auf der Oberseite der Tragkonstruktion ist einfach und sicher.

Regel 3: Unterströmung durch Kaltluft verhindern

Luftdichte und diffusionshemmende Bahnen müssen so am Baukörper angeschlossen werden, dass Luftströme unter der Aufsparren- oder Aufdachdämmung unterbunden werden. Die Anschlüsse sind von oben gut zugänglich und sicher beherrschbar. Eine sorgfältige Planung vor Ausführung der Baumaßnahme sorgt für perfekte Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit auch im Detail.

Wärmedämmung kann nur wirken, wenn ihre Unterströmung durch Kaltluft verhindert wird.

Regel 4: Konstruktiven Holzschutz beachten

Sparren und andere Holzbauteile dürfen nicht komplett zwischen diffusionsdichten Schichten eingeschlossen werden, um die Austrocknung unvorhergesehener Feuchteinträge zu ermöglichen und eine Holzschädigung durch langzeitige Feuchteinwirkung zu verhindern.

Dächer mit außen liegender Wärmedämmung und diffusionsoffenen Innenbekleidungen sind sicherer, weil Feuchte nach innen austrocknen kann.

Regel 5: Gefache zwischen Sparren und Dachbalken intelligent nutzen

Eine komplette Ausfüllung der Hohlräume zwischen den Sparren oder Dachbalken mit Dämmstoff ist bei dieser Konstruktionsweise nicht erforderlich, da die Gefache im warmen Bereich liegen. Perforationen der Innenbekleidung, z. B. durch elektrische Leitungen, sind unkritisch.

Gefache unter Aufsparren- oder Aufdachdämmung können für die Verlegung von elektrischen und sanitären Installationen genutzt werden.

7 Checkliste zur Sanierung von Steildächern²

7.1 Bestandsaufnahme

Vorhandene Dachkonstruktion prüfen:

- Können Lasten durch den Einbau zusätzlicher Dämmungen aufgenommen werden? (Die zusätzliche Belastung durch PU-Aufsparrendämmung ist mit 3 bis 8 kg/m² sehr gering und kann in der Regel vernachlässigt werden.)
- Wie ist der Zustand der statisch tragenden Dachkonstruktion?
- Ist eine Schalung auf den Sparren vorhanden?
- Sind Dämmschichten vorhanden? Wenn ja, auf Erhaltungszustand, Lage, Dämmdicke, Wärmeleitfähigkeit prüfen.
- Sind Dampfbremsen/Dampfsperren vorhanden? Wenn ja, auf Ausführung und s_d-Wert prüfen.
- Wie ist die raumseitige Deckbekleidung ausgeführt?
- Sind Hinterlüftungsöffnungen oberhalb der vorhandenen Zwischensparrendämmung vorhanden?

7.2 Planung

- Ist eine Baugenehmigung erforderlich?
- Sind statische Nachweise erforderlich (z. B. bei Veränderung der Dachgeometrie, Einbau von Gauben, Aufstockungen etc.)?
- Sollen Fördermittel in Anspruch genommen werden? Prüfen, welche aktuellen Förderprogramme (KfW, BAFA, Energieversorger, Land, Kommunen) zur Verfügung stehen. Bei geplanter Inanspruchnahme eines Förderprogrammes sind Fristen und Förderbedingungen zu beachten.

- Wird die Wärmedämmung neu eingebaut? Die aktuellen gesetzlichen Anforderungen an den Wärmeschutz sind zu beachten, siehe dazu Kapitel 2.1. Wenn Fördermittel in Anspruch genommen werden sollen, gelten höhere Anforderungen. Generell sollte beachtet werden, dass bis zur nächsten Sanierung 40 bis 50 Jahre vergehen können. Der Wärmeschutz sollte sich daher schon heute am künftigen Niedrigstenergiestandard für Gebäude orientieren.
- Dimensionierung und Auswahl der Dämmschichten werden entsprechend dem geplanten U-Wert unter Berücksichtigung eventuell vorhandener, funktionsfähiger Dämmschichten vorgenommen.
- Ausführung der vorbereitenden Arbeiten zum Anschluss der Luftdichtheitsschicht, z. B. Verschließen evtl. vorhandener traufseitiger Hinterlüftungsöffnungen oder Glattstrich am Ortgangmauerwerk muss in die Planung aufgenommen werden.
- Ausführung der Luftdichtheitsschicht, einschließlich der Vorgaben zur Ausführung an Durchdringungen und Anschlüssen, muss beachtet werden.

7.3 Ausführung

- Auswahl geeigneter Fachbetriebe
- Abstimmung des Bauablaufes bei getrennter Ausführung verschiedener Gewerke
- Fachregeln des ZVDH

² Spezielle Sanierungslösungen für Flachdächer in Holzbauweise werden in dieser Schrift nicht behandelt.

8 Quellen

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

IVPU:
Steildach dämmen mit Polyurethan-Hartschaum.
Stuttgart, 2. Auflage, Januar 2013.

IVPU:
Aus Forschung und Technik Nr. 6:
Luft- und Winddichtheit bei der Steildachdämmung
mit Polyurethan-Hartschaum.
3. Auflage, Mai 2014.

IVPU:
Flachdach dämmen mit Polyurethan-Hartschaum.
Stuttgart, Oktober 2011.

9 Anhang

Nachfolgende Erläuterungen basieren auf dem Bericht: Hygrothermische Untersuchungen an Dachkonstruktionen mit PU-Aufsparren- bzw. PU-Aufdachdämmung³.

Rechenwerkzeuge

Die Untersuchungen der aufgeführten Dachkonstruktionen mit rechnerischem Nachweis wurden auf der Basis von Simulationen mit den Computer-Programmen WuFi® und DELPHIN® durchgeführt, die Bewertung des Schimmelrisikos erfolgte mittels WuFi® Bio.

Da für Konstruktionen mit PU-Aufsparren- bzw. PU-Aufdachdämmung der Ansatz mit einer pauschalen Trocknungsreserve zu unrealistischen Vorgaben führt, wurde das IBP-Infiltrationsmodell verwendet, um eventuelle zusätzliche Feuchteinträge in die Konstruktionen zu berücksichtigen und damit die Berechnungen realitätsnäher modellieren zu können.

Die U-Werte wurden nach DIN EN ISO 6946 für Bauteile mit homogenen und nicht homogenen Schichten berechnet. Die Flächenanteile der Sparren/Balken zu den Sparrenzwischenräumen/dem Gefache wurden berücksichtigt

Randbedingungen und Materialparameter Dachkonstruktion (Steildach)

- Steildachneigung: 45°
- Steildachorientierung: Nord (ungünstigster Fall)
(Bei Voruntersuchungen stellten sich die Ergebnisunterschiede zwischen nordorientierten Dächern mit Neigungen von 45°, 35°, 25° gegenüber der Horizontalen als gering heraus. Die Voruntersuchungen ergaben in Summe die ungünstigsten Ergebnisse für Nordorientierung und 45° Neigung.)

Dachkonstruktion (Flachdach)

- Flachdachneigung: 0° bis 5°
- Flachdachorientierung: beliebig

Dicke der PU-Aufsparrendämmung (Steildach)

Die Dicke der PU-Aufsparrendämmung wird in 20 mm-Schritten so gewählt, dass das fertig sanierte Dach insgesamt die in den Tabellen jeweils genannten Ziel-U-Werte 0,24 / 0,18 / 0,16/0,14/0,10 W/(m²·K) erreicht.

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

PU-Dämmung mit Aluminiumkaschierung: WLS 023.

PU-Dämmung mit Mineralvlieskaschierung:

WLS 029 bei Dicken < 80 mm,

WLS 027 bei Dicken von 80 mm bis 119 mm,

WLS 026 bei Dicken ≥ 120 mm.

Dicke der PU-Aufdachdämmung (Flachdach)

Die Dicke der PU-Aufdachdämmung wird in 20 mm-Schritten so gewählt, dass das Dach insgesamt die in den Tabellen jeweils genannten Ziel-U-Werte 0,18/0,16/0,14/0,10 W/(m²·K) erreicht.

Neue Zwischensparrendämmung

- Mineralwolle der WLS 035

- $\mu = 1$

Vorhandene Zwischensparrendämmung

- Mineralwolle der WLS 045 (für die U-Wert-Berechnung) und

- WLS 040 (für die Simulationsrechnung)

Dampfbremse auf den Sparren (Steildach)

- Lage: zwischen der Zwischensparrendämmung und der Aufsparrendämmung

- s_d -Werte: 2 m bis 10 m

Vorhandene raumseitige Dampfbremse und vorhandene raumseitige Bekleidung

- s_d -Wert 0 m
(d. h. diffusionstechnisch nicht wirksam)

- s_d -Wert 10 m (entspricht dem s_d -Wert einer evtl. noch vorhandenen „Rollisol“-Zwischensparrendämmung mit aufkaschierter Aluminiumfolie)

³ Dr. Martin H. Spitzner: Hygrothermische Untersuchungen an Steil- und Flachdachaufbauten mit PU-Aufsparren-/PU-Aufdachdämmung („Kombi-Dämmung“) für Sanierung und Neubau. Bericht-Nr. 2015-04. München, Oktober 2015.

Außenklima

Die Berechnungen erfolgen mit dem Außenklima „Holzkirchen, Feuchtereferenzjahr (2005/2006)“, (intern wurde mit dem Außenklima „Holzkirchen 1991“ zur Absicherung gegengerechnet). Die verwendeten Klimadatensätze repräsentieren ungünstige Klimabedingungen für den Standort Deutschland. Ungünstigere Klimaverhältnisse herrschen nur in wenigen Extremlagen, wie z. B. in den Höhenlagen der Alpen oder der Mittelgebirge. Höhenlagen über 700 m über NN sind nicht mit abgedeckt, dafür ist ein separater rechnerischer Nachweis erforderlich.

Innenklima

Als Innenklima wird für die rechnerische Schimmelbewertung von Wohngebäuden das Klima „mittlere Feuchtelast nach DIN EN 15026“ als maßgeblich angesehen. 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.

Beurteilungskriterien

Tauwasser sowie Feuchtegehalt der Zwischensparrendämmung (Mineralwolle)

- Die numerisch berechnete Tauwassermenge (T_w) an der Unterseite der Dampfbremse/ Luftdichtheitsschicht darf zu keinem Zeitpunkt im Simulationsverlauf einen Wert von 250 g Wasser/m² überschreiten. Dies ist die Hälfte der nach DIN 4108-3:2014-11 zulässigen Tauwassermenge beim stationären Nachweisverfahren („Glaser“-Berechnung) an Berührungsschichten, wenn eine oder beide der sich berührenden Materialien nichtsaugend sind.
- Das Tauwasser darf nicht abtropfen. Dies wird durch das oben formulierte Kriterium $T_w \leq 250$ g Wasser/m² sichergestellt.

Feuchtegehalt der Aufsparren- bzw. der Aufdachdämmung (PU)

- Der Feuchtegehalt im Dämmstoff soll zu keinem Zeitpunkt über 1 Volumenprozent steigen.

Feuchtegehalt der Holzbauteile

- Holzbauteile dürfen nicht durch entstehende Feuchte geschädigt werden. Um dies zu gewährleisten, darf die Holzfeuchte aller beteiligten Holzbauteile (v. a. Sparren, Schalung auf den Sparren) einen Wert von 20 Massenprozent nicht übersteigen.
- Dies wird zusätzlich zu den eindimensionalen Berechnungen durch zweidimensionale Berechnungen an ausgewählten Fällen mit besonders hoher resultierender Holzfeuchte überprüft und sichergestellt.

Schimmelbildung

- Die Schimmelbildung an der Dampfbremse bzw. in der Zwischensparrendämmung (Mineralwolle direkt unterhalb der Dampfbremse) wird mit dem Schimmelwachstumsmodell in WuFi Bio analysiert.
- Die Schimmelbildung darf für die jeweilige Substratklasse einen Schimmelindex (Mould Index MI nach Vitanen und Ritschkoff empirisch) von MI = 2 nicht übersteigen.
- Die Bewertungen mit dem MI (Mould Index) bedeuten:

Index: Beschreibung:

- | | |
|----|---|
| 0: | kein Wachstum |
| 1: | ein wenig Wachstum |
| 2: | mäßiges Wachstum unter dem Mikroskop erkennbar, Bedeckung mehr als 10 % |
| 3: | ein wenig mit bloßem Auge sichtbares Wachstum, dünne Hyphen sind zusätzlich mikroskopisch erkennbar |
| 4: | sichtbares Wachstum, Bedeckung mehr als 10 % |
| 5: | Bedeckung mehr als 50 % |
| 6: | dichte Bedeckung, 100 % |



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



Sie finden uns unter **PUonline**

Polyurethan-Hartschaum (PUR/PIR) Dämmstoffhersteller

**Karl Bachl Kunststoff-
verarbeitung GmbH & Co. KG**
www.bachl.de

**Kingspan Insulation
GmbH & Co. KG**
www.kingspaninsulation.de

RECTICEL Dämmsysteme GmbH
www.recticel-daemmsysteme.de

Paul Bauder GmbH & Co. KG
www.bauder.de

Linzmeier Bauelemente GmbH
www.linzmeier.de

Remmers Baustofftechnik GmbH
www.remmers.de

IKO Insulations BV
www.enertherm.eu

puren gmbh
www.puren.com

Steinbacher Dämmstoff GmbH
www.steinbacher.at

Rohstoffhersteller

BASF Polyurethanes
www.pu.basf.de

Hinweis:
Bitte entnehmen Sie die aktuellsten Informationen zu
unseren Mitgliedern dem Mitgliedsverzeichnis unter:
www.daemmt-besser.de/verband/mitglieder

BorsodChem Zrt.
www.borsodchem-group.com

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

Division insulation
www.insulation.com

Gastmitglieder

Amcor Flexibles Singen GmbH
www.amcor.com

IFBS
www.ifbs.eu

...pe GmbH
www.polyurethanes.com

Huntsman (Germany) GmbH
www.huntsman.com/pu

Braas GmbH
www.braas.de

**INVENTEC Performance Chemicals –
Group Dehon
DKF GmbH**
www.inventec.dehon.com

LANXESS Deutschland GmbH
www.lanxess.de

**Hydro Aluminium
Rolled Products GmbH**
www.hydro.com/de/deutschland

**vliepa GmbH
Vlies-, Papier- und
Kunststoffveredlung**
www.vliepa.com