



DACHKONSTRUKTIONEN IN HOLZBAUWEISE MIT PU-DÄMMUNG

Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Feuchteschutz für Höhenlagen bis 1200 m über Normalhöhennull¹

Höhere Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz und klimabedingten Feuchteschutz führen zu immer komplexeren Dachkonstruktionen. Kombinationen aus PU-Aufsparrendämmung bzw. PU-Aufdachdämmung mit einer Zwischensparrendämmung können alle Anforderungen an den Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutz sicher erfüllen.

¹ Seit 1993 ersetzt das Normalhöhennull (NHN) das Normalnull (NN) im Deutschen Haupthöhennetz. Diese Umstellung der Höhenbezugsfläche erfolgte im Zuge der Zusammenführung der Höhennetze der alten und der neuen Bundesländer sowie im Zusammenhang mit der europaweiten Vereinheitlichung der Höhennetze. Die Höhen in diesem System werden in Meter über Normalhöhennull (m ü. NHN) angegeben.

PU-Vorteile für Effizienz-Dächer

1. Dämm Lösungen mit Polyurethan-Hartschaum (PU) sind extrem leistungsfähig und erfüllen 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.
2. Wasserfeste, druckfeste und dauerhafte PU-Dämmelemente geben der Tragkonstruktion Schutz. Die Holzkonstruktion liegt im warmen Bereich und bleibt trocken.
3. Für die Zwischensparren- bzw. die Gefachdämmung ist nur die statisch notwendige Balkenhöhe erforderlich. Bei der Sanierung kann auf eine Aufdopplung verzichtet werden.
4. Die schlanke PU-Dämmung wird wärmebrückenfrei über die Holzkonstruktion und Umfassungswände verlegt.
5. PU-Konstruktionen erfüllen die Anforderungen an den klimabedingten Feuchteschutz und sind bauphysikalisch sicher.

Der mehrschichtige Aufbau von Steil- und Flachdächern macht eine Beurteilung des feuchtetechnischen Verhaltens der Konstruktionen notwendig, d. h. Materialien und Anordnung der einzelnen Schichten sind zum Schutz vor Tauwasserschäden bauphysikalisch aufeinander abzustimmen.

Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Feuchteschutz für Höhenlagen bis 700 m über NHN

In der IVPU Publikation „Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit Polyurethan-Dämmung: Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Feuchteschutz“² wird die Funktionstauglichkeit von mehrschichtigen Steildach- und Flachdachkonstruktionen für Wohngebäude hinsichtlich Wärmeschutz und klimabedingten Feuchteschutz für Höhenlagen bis 700 m ü. NHN nachgewiesen. Neben den bauphysikalischen, technischen und bauaufsichtlichen Anforderungen, die im Neubau oder in der Sanierung von Dächern erfüllt werden müssen, werden auch die technischen Regeln zur Beurteilung des klimabedingten Feuchteschutzes und die Möglichkeiten der Nachweisführung erläutert.

Die Publikation enthält PU-Konstruktionen, für die nach DIN 4108-3 kein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls erforderlich ist und führt PU-Konstruktionen auf, für die ein rechnerischer Nachweis geführt werden muss. 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 Vorteile der hygrothermischen Simulationen liegen darin, dass die unter natürlichen Klima- und Nutzungsbedingungen auftretenden Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Baukonstruktion detailliert abgebildet werden.



² IVPU: Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit Polyurethan-Dämmung Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Wärmeschutz, Stuttgart 1. Auflage 2016

Steildach- und Flachdachkonstruktionen für Höhenlagen bis 1200 m über NHN

Den Nachweis, ob die Dachkonstruktionen hinsichtlich des baulichen Wärmeschutzes und klimabedingten Feuchteschutzes funktionieren, liefern hygrothermische Simulationen auf Grundlage des Projektberichts „Berechnung PIR-Dämmsysteme Steildach und Flachdach“ sowie „Anhang – Materialkenndaten und Randbedingungen von Pirmin Jung Ingenieure“³

WICHTIG FÜR PLANER:

Gültigkeit des rechnerischen Nachweises

Die Funktionstauglichkeit der Dachaufbauten hängt wesentlich von der Beschaffenheit der raumseitigen Bekleidung einschließlich einer eventuell vorhandenen Dampfbremse ab. Die Berechnungen haben für Sanierungslösungen ergeben, dass die diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken ($s_{d,e}$ -Werte) der raumseitigen Bekleidung einschließlich Dampfbremse zwischen 0 bis 10 m liegen müssen.

Für Neubaulösungen sind 2 bis 10 m erforderlich. Der Nachweis berücksichtigt auch eine Feuchteinfiltration aus geringfügigen Undichtheiten innerhalb der zulässigen Luftwechselraten.

Die Dämmung der Sparren- bzw. Balkenzwischenräume wird bei Sanierung und Neubau als Vollämmung ohne Luftschicht ausgeführt und bei den Berechnungen mit dem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_D = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ berücksichtigt.

Die Berechnungen gelten jeweils für Konstruktionen mit oder ohne Holzschalung auf den Sparren bzw. der Tragkonstruktion.

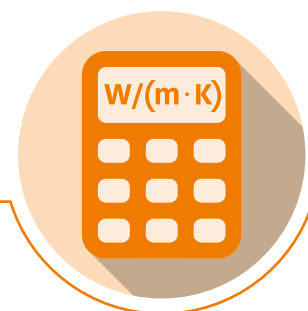
Alle Sanierungs- und Neubaus Ausführungen zeichnen sich dadurch aus, dass die Sparren bzw. die Tragkonstruktion außen mit einer mindestens 80 mm dicken PU-Aufsparrendämmung bzw. PU-Aufdachdachdämmung überdämmt sind. Die Holzkonstruktion liegt damit im warmen Bereich und ist tauwassersicher.

Der Nachweis gilt, sofern nicht anders beschrieben, für

- Höhenlagen bis 1200 m über NHN,
- mitteleuropäisches Klima,
- trocken eingebaute Materialien,
- eine mängelfreie Bauausführung,
- eine durchdringungsfreie, luftdichte Ausführung der Dampfbremse/Luftdichtheitsschicht in der Fläche und an den Anschlüssen.
- eine übliche Wohnnutzung,
- angegebenen Dicken, Materialien und Randbedingungen.

Die Höhenlagen über 800 m ü. NHN sind mit dem Datensatz von Davos berechnet worden und gelten für Lagen mit ähnlichen Temperatur- und Feuchtebedingungen.

Für abweichende Konstruktionen, abweichende Einsatz- und Klimabedingungen, geänderte Parameter, andere Dämmdicken, Gebäude mit dauernd hoher Personendichte, Wellness-Räume, Schwimmbäder ist ein separater rechnerischer Nachweis erforderlich.



³ Pirmin Jung Ingenieure: Berechnung PIR-Dämmsysteme Steildach und Flachdach, Anhang – Materialkenndaten und Randbedingungen, Projekt-Nr. 415.2124, Juni 2016.



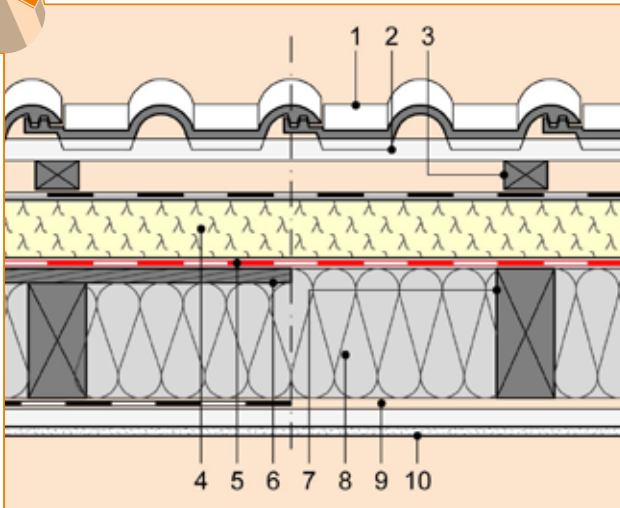
Die beschriebenen Steildach- und Flachdachaufbauten sind feuchtetechnisch sicher. Die Aufbauten bleiben hinsichtlich Tauwasser dauerhaft schadensfrei. Tendenziell ist die hygrothermische Situation umso besser, je dicker die PU-Aufsparrendämmung bzw. PU-Aufdachdämmung ist. Dickere PU-Dämmungen als in den U-Wert-Tabellen angegeben, dürfen deshalb immer verwendet werden. Für die Berechnung der U-Werte der betrachteten Konstruktionen wurde der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit zugrunde gelegt und in der entsprechenden Wärmeleitfähigkeitsstufe (WLS) angegeben.

Die Planungs- und Ausführungshinweise zum Diffusionswiderstand der raumseitigen Bekleidung und zur Luft- und Winddichtheit für die nachfolgenden Dachaufbauten sind in der IVPU Publikation „Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit Polyurethan-Dämmung: Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Feuchteschutz“⁴ in Kapitel 5 beschrieben.



⁴ IVPU: Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit Polyurethan-Dämmung Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Feuchteschutz, Stuttgart 1. Auflage 2016

STEILDACHSANIERUNG



Aufbau 1 Steildachsanierung mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung und Vollsparrendämmung

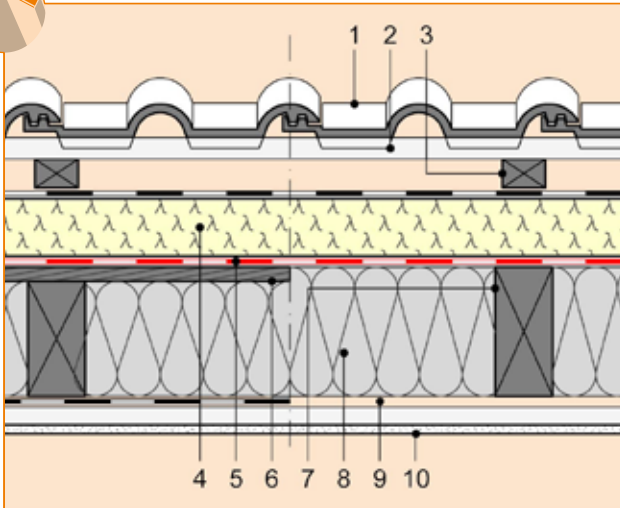
- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement diffusionsdicht mit integrierter wasserführender Ebene, WLS 023
 - 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_{di} = 2 - 10$ m
 - 6 ggf. Holzschalung
 - 7 Sparren
 - 8 Vollsparrendämmung WLS 035
 - 9 ggf. vorhandene Dampfbremse
 - 10 raumseitige Bekleidung
- Pos 9+10 zusammen: $s_{di} = 0 - 10$ m



Tabelle 1
Steildachsanierung mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung und Vollsparrendämmung, ohne oder mit raumseitiger Dampfbremse $s_{di} < 10$ m

Zwischensparren- dämmung Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) Dicke in mm	Höhenlage über NHN in m	U-Wert * in W/(m²·K)					
		≤ 0,14		≤ 0,16		≤ 0,20	
PU-Aufsparrendämmung, Nennwert der Wärmeleitfähigkeit 0,022 W/(m·K), WLS 023, Dicke in mm (in Klammern: U-Wert in W/(m²·K))							
160	bis 1200	120	(0,11)	120	(0,11)	120	(0,11)
140	bis 1200	120	(0,12)	120	(0,12)	120	(0,12)
120	bis 1200	100	(0,14)	100	(0,14)	100	(0,14)

* Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK auf Lattung berücksichtigt. Objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.



Aufbau 2
Steildachsanierung mit diffusionsfähiger
PU-Aufsparrendämmung und Vollsparrendämmung

- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement diffusionsfähig mit integrierter wasserführender Ebene, WLS 026
 - 5 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse $s_d = 2 - 10$ m
 - 6 ggf. Holzschalung
 - 7 Sparren
 - 8 Vollsparrendämmung WLS 035
 - 9 ggf. vorhandene Dampfbremse
 - 10 raumseitige Bekleidung
- Pos 9+ 10 zusammen: $s_{di} = 0 - 10$ m

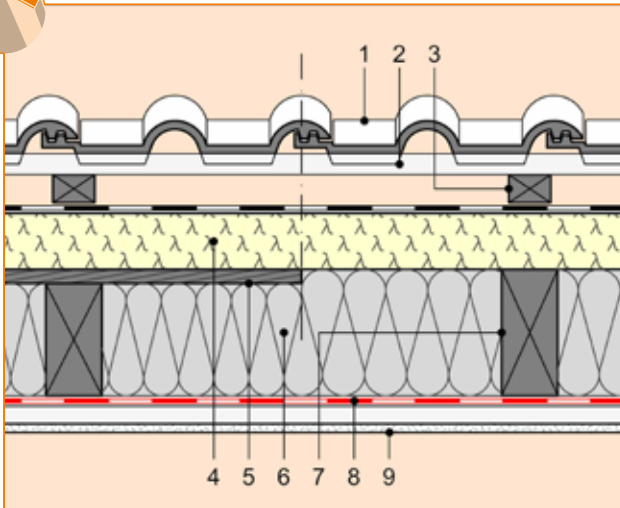


Tabelle 2
Steildachsanierung mit diffusionsfähiger PU-Aufsparrendämmung und
Vollsparrendämmung, ohne oder mit raumseitiger Dampfbremse $s_{di} < 10$ m

Zwischensparren- dämmung Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) Dicke in mm	Höhenlage über NHN in m	U-Wert * in W/(m²·K)					
		≤ 0,14		≤ 0,16		≤ 0,20	
PU-Aufsparrendämmung, Nennwert der Wärmeleitfähigkeit 0,025 W/(m·K), WLS 026, Dicke in mm (in Klammern: U-Wert in W/(m²·K))							
160	bis 1200	140	(0,11)	140	(0,11)	140	(0,11)
140	bis 1200	140	(0,11)	140	(0,11)	140	(0,11)
120	bis 1200	120	(0,13)	120	(0,13)	120	(0,13)

* Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{ser} , 13% Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK auf Lattung berücksichtigt. Objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.

STEILDACHNEUBAU



Aufbau 3

Steildachneubau mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung und Vollsparrendämmung

- 1 Dachdeckung
 - 2 Dachlatte
 - 3 Konterlatte
 - 4 PU-Wärmedämmelement diffusionsdicht mit integrierter wasserführender Ebene, WLS 023
 - 5 ggf. Holzschalung
 - 6 Vollsparrendämmung WLS 035
 - 7 Sparren
 - 8 Dampfbremse
 - 9 raumseitige Bekleidung
- Pos 8 + 9 zusammen: $s_{di} = 2 - 10$ m



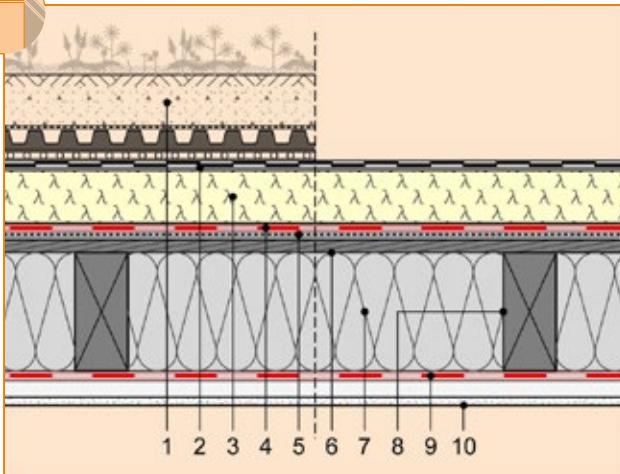
Tabelle 3

Steildachneubau mit diffusionsdichter PU-Aufsparrendämmung und Vollsparrendämmung, mit raumseitiger Dampfbremse, $s_{di} = 2 - 10$ m

Zwischensparrendämmung Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) Dicke in mm	Höhenlage über NHN in m	U-Wert * in W/(m²·K)							
		≤ 0,10		≤ 0,14		≤ 0,16		≤ 0,20	
		PU-Aufsparrendämmung, Nennwert der Wärmeleitfähigkeit 0,022 W/(m·K), WLS 023, Dicke in mm (in Klammern: U-Wert in W/(m²·K))							
200	bis 1200	140	(0,09)	140	(0,09)	140	(0,09)	140	(0,09)
180	bis 1200	140	(0,10)	140	(0,10)	140	(0,10)	140	(0,10)
160	bis 1200	140	(0,10)	120	(0,11)	120	(0,11)	120	(0,11)
140	bis 1200	160	(0,10)	120	(0,12)	120	(0,12)	120	(0,12)

* Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK auf Lattung berücksichtigt. Objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.

FLACHDACHNEUBAU



Aufbau 4

Flachdachneubau in Holzbauweise mit diffusionsdichter PU-Aufdachdämmung und Voldämmung des Gefachs

- 1 ggf. Dachbegrünung / Bekiesung
 - 2 Dachabdichtung
 - 3 PU-Wärmedämmung diffusionsdicht, WLS 023
 - 4 Dampfbremse $s_{di} = 2 - 100$ m
 - 5 Trennlage
 - 6 Holzschalung
 - 7 Voldämmung des Gefachs WLS 035
 - 8 Tragkonstruktion
 - 9 Luftdichtheitsschicht/Dampfbremse
 - 10 raumseitige Bekleidung
- Pos 8 + 9 zusammen: $s_{di} = 2 - 10$ m



Tabelle 4

Flachdachneubau mit diffusionsdichter PU-Aufdachdämmung und Voldämmung des Gefachs, mit raumseitiger Dampfbremse $s_{di} = 2 - 10$ m

Gefachdämmung Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/(m·K) Dicke in mm	Höhenlage über NHN in m	U-Wert * in W/(m ² ·K)							
		≤ 0,10		≤ 0,14		≤ 0,16		≤ 0,20	
		PU-Aufdachdämmung, Nennwert der Wärmeleitfähigkeit 0,022 W/(m·K), WLS 023, Dicke in mm (in Klammern: U-Wert in W/(m ² ·K))							
200	bis 1200	120	(0,10)	100	(0,11)	100	(0,11)	100	(0,11)
180	bis 1200	120	(0,10)	100	(0,11)	100	(0,11)	100	(0,11)
160	bis 1200	140	(0,10)	80	(0,13)	80	(0,13)	80	(0,13)
140	bis 1200	140	(0,10)	80	(0,14)	80	(0,14)	80	(0,14)

* Bei der Berechnung des U-Wertes sind die Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} , 13% Sparrenanteil sowie 12,5 mm GK auf Lattung berücksichtigt. Objektspezifische Besonderheiten, z. B. nach DIN EN ISO 6946 wurden nicht berücksichtigt.

Rechenwerkzeuge, Randbedingungen und Materialparameter

Nachfolgende Erläuterungen basieren auf dem Bericht „Berechnung PIR-Dämmsysteme Steildach und Flachdach“ von Pirmin Jung Ingenieure⁵

Rechenwerkzeuge

Die Berechnungen der aufgeführten Dachkonstruktionen wurden auf der Basis von Simulationen mit dem Computer-Programm WuFi® für einen Zeitraum von 10 Jahren durchgeführt.

Zur Berücksichtigung eventueller zusätzlicher Feuchteinträge in die Zwischensparrendämmung wurde bei den Berechnungen eine Luftinfiltration nach dem IBP-Infiltrationsmodell vorgesehen.

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 Gefach wurden berücksichtigt.

Randbedingungen und Materialparameter

Dachorientierung

- Nord (ungünstigster Fall)
- Steildachneigung: 30°
(Der kritischste Fall wurde durch Vergleichsrechnungen mit den Neigungen 20°, 30° und 45° ermittelt. Bei der Neigung von 30° sind die Resultate etwas schlechter als für die Neigung 45°)
- Flachdachneigung: 0° bis 5°

PU-Aufsparrendämmung bzw. PU-Aufdachdämmung

Die Dicke der PU-Dämmung wird in 20 mm-Schritten so gewählt, dass das fertig sanierte Dach insgesamt die in den Tabellen jeweils genannten Ziel-U-Werte erreicht.

- PU-Dämmung, diffusionsdicht, mit beidseitiger Aluminiumkaschierung:
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit: 0,022 W/(m·K)
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit: 0,023 W/(m·K)

- PU-Dämmung, diffusionsfähig, mit beidseitiger Mineralvlieskaschierung:
Nennwert der Wärmeleitfähigkeit:
0,026 W/(m·K) bei Dicken von 80 mm bis 119 mm,
0,025 W/(m·K) bei Dicken \geq 120 mm
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit:
0,027 W/(m·K) bei Dicken von 80 mm bis 119 mm,
0,026 W/(m·K) bei Dicken \geq 120 mm.

Zwischensparrendämmung

Es wird generell mit neuer Vollsparrendämmung gerechnet.

- Mineralwolle, Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit: 0,035 W/(m·K)
- $\mu = 1$

Dampfbremse auf den Sparren (Steildach)

- Lage: zwischen der Zwischensparrendämmung und der Aufsparrendämmung
- s_d -Wert: 2 bis 10 m

Vorhandene raumseitige Dampfbremse und vorhandene raumseitige Bekleidung

- s_d -Wert 0 m (d. h. diffusionstechnisch nicht wirksam) bis 10 m

Raumseitige Dampfbremse im Neubau

- s_d -Wert: 2 bis 10 m

⁵ Pirmin Jung Ingenieure: Berechnung PIR-Dämmsysteme Steildach und Flachdach, Anhang – Materialkenndaten und Randbedingungen, Projekt-Nr. 415.2124, Juni 2016.

Außenklima

Folgende Klimabedingungen werden betrachtet:

- Höhenlagen bis 600 m ü. NHN: Zürich, 556 m ü. NHN, kaltes Jahr
- Höhenlagen von 600 bis 800 m ü. NHN: Holzkirchen, 680 m ü. NHN, Feuchtereferenzjahr
- Höhenlagen von 800 bis 1200 m ü. NHN: Davos, 1590 m ü. NHN, kaltes Jahr

Für Höhenlagen ab 800 m ü. NHN kann es innerhalb kurzer geographischer Entfernungen zwischen verschiedenen Tal- und Höhenlagen und Himmelsrichtungen sehr unterschiedliche Werte für die Sonneneinstrahlung und Regenbelastung geben.

Es entstehen sogenannte Mikroklima mit sehr unterschiedlichen Temperatur- und Feuchtwerten, die zu abweichenden Berechnungsergebnissen führen können. Die Gültigkeit und Anwendung der berechneten Konstruktionen ist für die jeweiligen Projekte und Standorte gesondert zu beurteilen, ggf. ist ein separater rechnerischer Nachweis erforderlich.

Innenklima

Wohngebäude: „mittlere Feuchtelast nach DIN EN 15026“

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

Beurteilungskriterien

Die Auswertung der Berechnungen erfolgt über die Interpretation der Ergebnisgrafiken wie der Gesamtwassergehalt, der Wassergehalt der Mineralfaserdämmung, sowie der Holzschalung. Direkt unter der Dampfbremse auf dem Sparren wird die relative Feuchtigkeit am Sparren bzw. der Zwischensparrendämmung betrachtet.

Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt gibt eine Übersicht darüber, ob die Gesamtkonstruktion im Verlaufe der Jahre aufweicht oder austrocknen kann. Kriterium für eine positive Bewertung ist die Austrocknung der Gesamtkonstruktion. Eine Aufweitung darf nicht gegeben sein.

Feuchtegehalt der Dämmung

Der Feuchtegehalt im Dämmstoffe darf zu keinem Zeitpunkt über 1 Volumenprozent steigen.

Feuchtegehalt der Holzbauteile

Holzbauteile dürfen nicht durch entstehende Feuchte geschädigt werden. Die Holzfeuchte aller beteiligten Holzbauteile darf einen Wert von 20 Masseprozent nicht übersteigen.



Quellen

IVPU:

Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit Polyurethan-Dämmung: Baulicher Wärmeschutz und klimabedingter Wärmeschutz, Stuttgart, 1. Auflage 2016.

Pirmin Jung Ingenieure:

Berechnung PIR-Dämmsysteme Steildach und Flachdach, Anhang – Materialkenndaten und Randbedingungen, Projekt-Nr. 415.2124, Juni 2016.