



spezial

Flachdächer in Holzbauweise

Vorwort

Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise ermöglichen wirtschaftliche Konstruktionen mit hohem Vorfertigungsgrad und großen Spannweiten. Deshalb handelt es sich um eine nicht nur im Holzhausbau verbreitete Bauweise. Bezüglich des Feuchte- und Holzschutzes ergeben sich für Planer und Ausführende eine Vielzahl von Fragen, die bisher durch Regelwerke nur ungenügend beantwortet werden: Welcher Bauteilaufbau ist bauphysikalisch sinnvoll und dauerhaft funktions-sicher? Soll die Konstruktion belüftet ausgeführt werden oder unbelüftet? Müssen diffusionsdichte Innenschalen verwendet werden oder sind diese eventuell nachteilig?

Die vorliegende Veröffentlichung stellt für Planer und Holzbauer eine Planungshilfe dar, die den aktuellen Stand des Wissens über Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise abbildet und dabei wesentliche Grundlagen für eine fachgerechte Planung aufzeigt. Die Beispielsammlung enthält ergänzend Bauteilaufbauten, die sich in der Praxis bewährt haben.

Inhalt

Seite 3	1	_ Einführung	Seite 38	6	_ Nicht belüftete Konstruktionen
4	2	_ Begriffe, Konstruktionen, Regelwerke	38	6.1	_ Planungsgrundlagen
4	2.1	_ Begriffe	39	6.2	_ Feuchtemanagement
7	2.2	_ Konstruktionen	40	6.3	_ Einfluss der Deckschicht auf das Feuchteverhalten
9	2.3	_ Regelwerke	41	6.4	_ Bewertung des Holzschutzes
11	3	_ Planungsgrundlagen	43	6.5	_ Dynamische Berechnungsverfahren
11	3.1	_ Dachneigung	45	7	_ Ungedämmte Dächer und Dachüberstände
12	3.2	_ Dachabdichtungen	45	7.1	_ Feuchteeinwirkungen
13	3.3	_ Dachdeckungen aus Metall	46	7.2	_ Ausführungsregeln
14	3.4	_ Dachschalungen aus Vollholz	47	7.3	_ Auswahl des Holzes und der Holzwerkstoffe
14	3.5	_ Holzwerkstoffe als tragende und aussteifende Dachschalung	49	7.4	_ Bewertung des Holzschutzes
16	3.6	_ Wärmedämmstoffe	49	7.5	_ Oberflächenbeschichtung
18	4	_ Physikalisch-technologische Grundlagen	50	8	_ Konstruktionsbeispiele
18	4.1	_ Wärmeschutz	62	9	_ Normen, Regelwerke, Literatur
20	4.2	_ Feuchteschutz	62	9.1	_ Normen
25	4.3	_ Holzschutz	62	9.2	_ Regelwerke
27	4.4	_ Schallschutz	63	9.3	_ Literatur
30	4.5	_ Brandschutz			
34	5	_ Belüftete Konstruktionen			
34	5.1	_ Planungsgrundlagen			
34	5.2	_ Belüftungsregeln			
37	5.3	_ Bewertung des Holzschutzes			

1 _ Einführung

Flachdächer in Holzbauweise

Die Holzbauweise hat bei Flachdachkonstruktionen immer eine wichtige Rolle gespielt. Flachdächer in Holzbauweise wurden und werden insbesondere im Wohnungsbau genutzt, nicht zuletzt bei der nachträglichen Verdichtung des städtischen Raumes, etwa bei Aufstockungen oder Anbauten. An Bedeutung gewinnt die konstruktiv-energetische Optimierung bestehender Konstruktionen, denn eine Vielzahl an Flachdachkonstruktionen verschiedenster Bauart muss energetisch ertüchtigt werden. Im Industrie- und Gewerbebau werden Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise bislang nur in geringem Umfang umgesetzt, sie bieten aber große Potenziale.

Ziel der Schrift

Die Schrift soll eine Übersicht der Flachdachkonstruktionen bieten, die nach heutigen Erkenntnissen schadensfreies Bauen in Holzbauweise ermöglichen. Der Schwerpunkt liegt in der Darstellung der fachgerechten bauphysikalischen Ausbildung belüfteter und nicht belüfteter Flachdachkonstruktionen sowie von ungedämmten Dächern und Dachüberständen. Hierzu werden Grundlagen aufbereitet, Konstruktionsvarianten benannt und neuere Nachweismöglichkeiten für die bauphysikalische Funktionstüchtigkeit und die Einstufung in die Gebrauchsklassen des Holzschutzes beschrieben. Die Beispielsammlung von Regelaufbauten enthält konkrete Angaben zu den bauphysikalischen Eigenschaften der Konstruktionen.

Berücksichtigung findet die Einführung einer Vielzahl harmonisierter europäischer Produkt- und Anwendungsnormen, woraus sich für Holz und Holzwerkstoffe sowie für Dämmstoffe neue Bezeichnungen und Zuordnungen zu ihren Anwendungsgebieten ergeben. Außerdem werden neuere Erkenntnisse aus abgeschlossenen und noch laufenden Forschungsarbeiten

benannt, welche noch nicht vollständig in das technische Regelwerk eingeflossen sind, aber in der Überarbeitung z.B. der DIN 68 800 Berücksichtigung finden sollen. Es werden in der Schrift daher neben bewährten Konstruktionen nach den „allgemeinen anerkannten Regeln der Technik“ auch Bauteile nach dem „Stand der Technik“ aufgeführt, also solche, deren Tauglichkeit technisch nachgewiesen ist, ihre langjährige Bewährung aber noch ansteht. Die Anwendung Letzterer sind von den Baubeteiligten immer gesondert zu vereinbaren.

Geltungsbereich der Schrift

Die Schrift behandelt Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise mit Dachabdichtungen sowie flache bzw. flach geneigte Dächer mit Metalldachdeckung, die bis ca 15° Dachneigung Anwendung finden. Die Konstruktionen sind gekennzeichnet durch eine äußere diffusionshemmende bis -dichte Schicht. Dächer mit Dachbegrünung sowie flach geneigte Dächer mit kleinteiliger geschuppter Dachdeckung und Unterschreitung der Regeldachneigung sind nicht Inhalt dieser Schrift. Weil zu den bauphysikalischen Nachweisen begrünter Dachkonstruktionen – insbesondere nicht belüfteter Konstruktionen – noch Forschungsbedarf besteht, werden diese in einer ergänzenden Schrift behandelt.

Die dargestellten Beispiele finden Anwendung im Wohnungs- und Nichtwohnbau sowie im Industrie- und Gewerbebau. Sie können teilweise oder ganz vorelementiert werden. Bei Industriebauten ist die Anwendung von Holzkonstruktionen derzeit auf Dachflächen mit 2.500 m² Brandabschnittsfläche begrenzt. Zur Realisation größerer Dachflächen ohne Brandabschnitt sind daher noch individuelle Bauteilprüfungen oder besondere bauliche Maßnahmen erforderlich, die im Rahmen eines Brandschutzkonzepts im Einzelfall festzulegen sind.



Abb. 1.1:
 Dachterrasse des Einsteinhauses
 in Caputh



Abb. 1.2:
 Nullemissionsfabrik Solvis
 (Architekten Banz + Rieks, Bochum)

2 _ Begriffe, Konstruktionen, Regelwerke

2.1 _ Begriffe

Nachfolgend werden die wichtigsten der verwendeten Begriffe erläutert. Weitere Begriffserläuterungen finden sich in den entsprechenden Regelwerken.

Flachdächer sind Dachkonstruktionen ohne oder mit geringer Dachneigung, die über die gesamte Dachfläche eine wasserundurchlässige Schicht aufweisen. Die Abgrenzung zu geneigten bzw. flach geneigten Dächern erfolgt nach den Flachdachrichtlinien [FDR] bei 10° Dachneigung. Dachneigungen unter 2% werden danach als Sonderkonstruktionen behandelt.

Es wird zwischen **genutzten** und **nicht genutzten** Dachflächen unterschieden. Die meisten Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise sind nicht genutzte Dachflächen, d.h., sie sind nicht für den dauernden Aufenthalt von Personen oder die Nutzung durch Verkehr ausgelegt. Dächer mit extensiver Begrünung zählen ebenfalls zu den nicht genutzten Dachflächen. Bei genutzten Dachflächen handelt es sich z.B. um genutzte Dachterrassen oder für den Holzbau weniger relevante Deckenflächen von Parkhäusern und Dachflächen mit intensiver Begrünung.

Dachabdichtungen schützen das Bauwerk vor Niederschlagswasser. Zu einer Dachabdichtung gehören auch Anschlüsse, Abschlüsse, Durchdringungen und Fugenausbildungen sowie Dachabläufe und Überlauföffnungen. Abdichtungsmaterialien und die Ausführung von Dachabdichtungen für nicht genutzte Dachflächen sind in DIN 18 531 geregelt.

Es wird zwischen lose verlegten, mechanisch befestigten und verklebten Abdichtungen unterschieden.

Dampfdiffusion ist der Feuchtetransport durch Molekülwanderung, verursacht durch den Dampfdruckunterschied der das Bauteil umgebenden Luftschichten. In der Regel liegt im Winter ein Dampfdruckgefälle von der Raumseite nach außen vor, bei Erwärmung der Dachoberseite infolge Sonneneinstrahlung – auch im Winter – kehrt sich die Richtung um. Durch diese **Umkehr- oder Rückdiffusion** besteht die Möglichkeit, dass im Bauteil enthaltene Feuchtigkeit auch zur Raumseite hin austrocknen kann.

Der s_d -Wert, die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke, dient als Maß für den Diffusionswiderstand einer Bauteilschicht. Er berechnet sich aus der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (μ -Wert) des Materials und der Schichtdicke d in Metern: $s_d = \mu \cdot d$ [m]. In DIN 4108-3 wird zwischen diffusionsoffenen ($s_d \leq 0,5$ m), diffusionshemmenden ($0,5$ m $< s_d < 1.500$ m) und diffusionsdichten ($s_d \geq 1.500$ m) Schichten unterschieden.

Dampfbremsen und **Dampfsperren** werden als Funktionsschicht zur Begrenzung des Feuchteintrags durch Dampfdiffusion auf ein für die Konstruktion unkritisches Maß eingesetzt. Bei den dargestellten Konstruktionen unterscheiden die Autoren zwischen Dampfbremsen (2 m $\leq s_d \leq 20$ m) und Dampfsperren ($s_d > 20$ m). Eine Besonderheit sind **feuchtevariable Dampfbremsen** (auch feuchteadaptiv genannt), bei denen sich materialbedingt der Diffusionswiderstand entsprechend der umgebenden Luftfeuchte verändert. Bei trockenem Umgebungs-klima (im Winter auf der Raumseite) weisen sie einen höheren s_d -Wert auf (bis $s_d = 10$ m), bei höheren Luftfeuchtigkeiten (z.B. im Sommer) sinkt der Diffusionswiderstand (bis $s_d = 0,2$ m).

Zur Bemessung sind die produktspezifischen Werte zu beachten.

Konvektion ist der Feuchtetransport durch Luftströmung, resultierend aus Undichtigkeiten der Gebäudehülle. Dieser wird angetrieben durch Druckunterschiede infolge vorherrschender Windverhältnisse oder durch Temperaturunterschiede. Zur Verhinderung von Konvektion wird die Gebäudehülle luftdicht ausgeführt. Durch Konvektion wird im Vergleich zu Diffusionsvorgängen ein Vielfaches an Feuchtigkeit transportiert.

Luftdichtheitsschichten verhindern das Einströmen von warmer Raumluft in kritische (kalte) Konstruktionsbereiche und werden im Regelfall raumseitig entlang der wärmedämmenden Gebäudehülle angeordnet. Planung und Ausführung erfolgen gemäß DIN 4108-7 für alle relevanten Bauteilanschlüsse. Neben der Funktion des Feuchteschutzes hat die Luftdichtung die Aufgabe, unkontrollierte Lüftungsverluste und somit Energieverluste zu minimieren.

Gebräuchliche Materialien zur Herstellung der Luftdichtung sind Holzwerkstoff- und Gipsbauplatten sowie spezielle Baupappen und Folien und Vliesbahnen mit den zugehörigen Verklebungen oder Putze. Die Luftdichtheitsebene sollte, so lange sie noch zugänglich ist, mit einem baubegleitenden Blower-Door-Test (Luftdichtheitsmessung) überprüft werden. Luftdichtheitsschichten übernehmen meist gleichzeitig die Funktion der Dampfbremse bzw. der Dampfsperre.

Winddichtheitsschichten verhindern das Durchströmen der äußeren Dämmschichten sowie die Hinterlüftung der Dämmebene mit kalter Außenluft. Die Winddichtheit gewährleistet die Wirksamkeit der Dämmung und verhindert eine

lokale Abkühlung der raumseitigen Oberflächen. Bei nicht belüfteten Flachdachkonstruktionen fungiert die Dachabdichtung als Winddichtheitsschicht. Bei belüfteten Konstruktionen mit unterlüfteter Dachabdichtung bietet die Winddichtheitsebene eine zusätzliche Sicherheit gegen ggf. abtropfendes Sekundär-Tauwasser. Eine sorgfältig ausgeführte Winddichtheitsebene erhöht die Sicherheit zur Vermeidung von Konvektionsströmen.

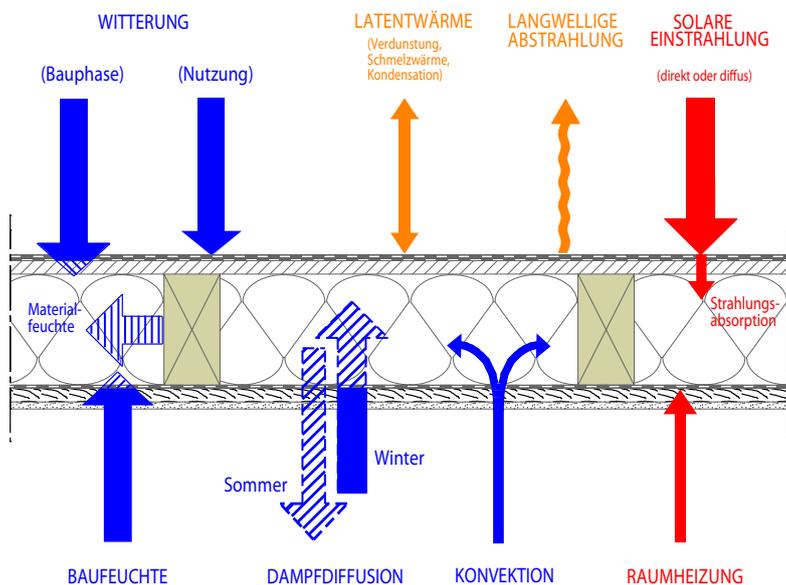
Tauwasser bezeichnet die Feuchtigkeit, die aufgrund starker Abkühlung der Luft (Überschreiten des Wasserdampf-sättigungsdrucks) z.B. an kalten Bauteiloberflächen ausfällt. Zu unterscheiden sind Primärtauwasser und Sekundärtauwasser.

Primärtauwasser bedeutet Tauwasserausfall aufgrund zu großer Wasserdampfbelastung infolge Diffusion oder Konvektion. **Sekundärtauwasser** entsteht z.B. an der Unterseite von Dachschalungen, insbesondere bei nächtlicher Wärmeabstrahlung. Bei konstruktiv richtiger Auslegung des Hinterlüftungsraums kann das Sekundärtauwasser abgelüftet werden.

Harte Bedachungen sind gegen eine Brandbeanspruchung von außen infolge Flugfeuer und strahlender Wärme ausreichend lange widerstandsfähig. Bedachungen, die diese Anforderung nicht erfüllen (weiche Bedachung), sind entsprechend den Anforderungen der Bauordnungen nur unter bestimmten Voraussetzungen für die Gebäudeklassen 1 bis 3 zulässig.

Eine Einstufung in **Nutzungsklassen (NKL 1 bis 3)** erfolgt für Holzbauteile aufgrund der feuchteabhängigen physikalischen Eigenschaften, welche die klimatischen Verhältnisse der Umgebung des Bauwerkes während seiner

Abb. 2.1:
 Einwirkungen bei Flachdachkonstruktionen (verändert aus [1])



Nutzungsdauer kennzeichnen (siehe Tabelle 2.1). Entsprechend den Nutzungsklassen werden die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des verwendeten Holzes und der Holzwerkstoffe modifiziert. Holzwerkstoffe können entsprechend ihren Anwendungsbereichen (trocken, feucht, außen) in den Nutzungsklassen 1 bis 3 verwendet werden. Holz ist in allen Nutzungsklassen verwendbar.

Als **Stand der Technik** wird im Bauwesen der Entwicklungsstand einer Ausführung bezeichnet, welche ihre praktische Eignung im Hinblick auf die angestrebten Ziele insgesamt gesichert erscheinen lässt. Dieser ist aber noch nicht hinreichend und langjährig erprobt und meist nur Spezialisten bekannt, weshalb im Bauwesen statt des Standes der Technik die Einhaltung der **allgemein anerkannten Regeln der Technik** vertraglich gefordert wird. Ausführungen nach dem Stand der Technik sind ausführbar – sonst wäre kein Baufortschritt möglich. Sie sind jedoch gesondert vertraglich zu vereinbaren.

Tabelle 2.1
 Nutzungsklassen nach DIN 1052

Nutzungsklasse	Anwendungsbereich	Holzausgleichsfeuchte	Klimabedingungen	Anwendungsbeispiel in Flachdachkonstruktion
NKL 1	Trockenbereich	5 bis 15% i.d.R. 12%	Temperatur T = 20° C relative Luftfeuchte $\varphi \leq 65\%$	Holzbauteil raumseitig einer Aufdachdämmung
NKL 2	Feuchtbereich	10 bis 20% i.d.R. $\leq 20\%$	Temperatur T = 20° C relative Luftfeuchte $\varphi \leq 85\%$	oberseitige Bepunktung mit Feuchteschutzbahn zum belüfteten Hohlraum (Abb. 2.2)
NKL 3	Außenbereich	12 bis 24% > 20% möglich	Bedingungen, die zu höheren Ausgleichsfeuchten führen	unterlüftete Dachschalung mit Bekiesung oder Begrünung (Abb. 2.3)

2.2 _ Konstruktionen

Belüftete Flachdächer

Belüftete Flachdächer sind zwei- oder mehrschalige Konstruktionen, die aus einer inneren, raumabschließenden Schale, einer Außenschale mit Abdichtung und einem dazwischen liegenden Belüftungshohlraum mit Dämmebene bestehen. Unterschieden wird zwischen Konstruktionen mit

Belüftung in Ebene der Tragkonstruktion bzw. der Dämmung (früher Kaltdach genannt, siehe Abb. 2.2) und vollgedämmten Konstruktionen mit unterlüfteter Dachhaut (siehe Abb. 2.3), bei denen die Dachabdichtung bzw. die Metalldachdeckung auf einer zusätzlichen Unterkonstruktion aufgebracht wird. Die Schadensfreiheit hängt in beiden Fällen maßgeblich von der Funktionstüchtigkeit der Belüftung ab (siehe Kapitel 5).

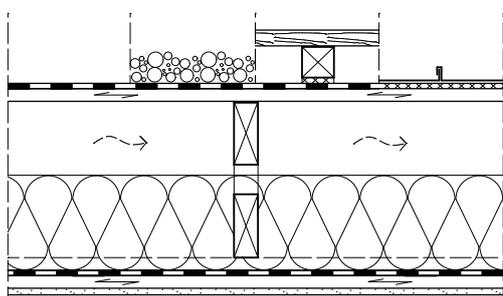


Abb. 2.2:
 Flachdach mit Belüftung in
 Ebene der Tragkonstruktion

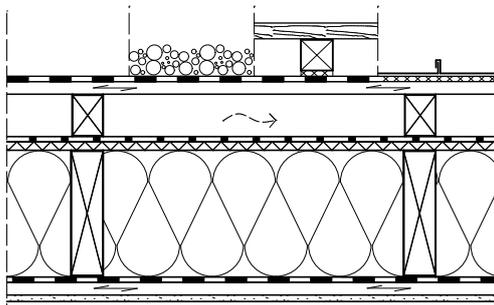


Abb. 2.3:
 Belüftetes Flachdach,
 Volldämmung mit unterlüfteter Dachhaut

Wesentliche Merkmale:

- + Gefälleausbildung durch Tragkonstruktion
- + rechnerisch tauwasserfreies Bauteil
- + aufgrund Belüftung meist kein sommerlicher Hitzestau
- hoher Bauteilaufbau durch Belüftungsebene
- Anfall von Sekundärtauwasser an der Dachschalung möglich
- Dämmung teilweise luftdurchströmt
- Wärmeabfluss durch Belüftung
- Schallimmissionen in Belüftungsebene
- Einfluss wärmespeichernder Deckschichten auf der Dachhaut ist zu beachten
- Konstruktion ist in GK 2 einzustufen

Wesentliche Merkmale:

- + Belüftungshöhe und ggf. Gefälle wird durch Konterlattung hergestellt
- + Tragschale vorelementierbar als geschlossenes Holztafelbauelement
- + Tragkonstruktion GK 0 gemäß DIN 68 800
- + diffusionsoffene, luftdichte Konstruktion
- + aufgrund Belüftung meist kein sommerlicher Hitzestau
- hoher Bauteilaufbau durch zusätzliche Belüftungsebene mit Konterlattung
- Anfall von Sekundärtauwasser an der Dachschalung möglich
- Einfluss wärmespeichernder Deckschichten auf der Dachhaut ist zu beachten

Nicht belüftete Flachdächer

Bei nicht belüfteten Flachdächern handelt es sich um einschalige Konstruktionen (früher Warmdach genannt), bei welchen der Dachaufbau unmittelbar auf der Unterkonstruktion aufliegt. Im Holzbau wird unterschieden zwischen Konstruktionen mit **Dämmung in Ebene der**

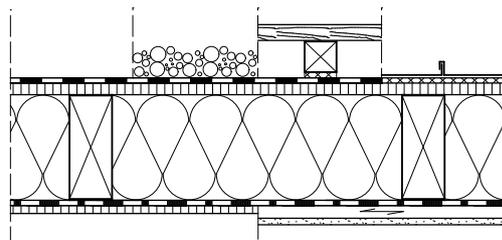


Abb. 2.4:
 Nicht belüftetes Flachdach
 mit Vollwärmung in der Tragebene
 (ggf. mit Installationsebene)

Wesentliche Merkmale:

- + effektive Querschnittsnutzung durch Dämmung in Ebene der aufgelösten Tragekonstruktion
- + vorelementierbar als Holztafelbauelement
- + einfache Anschlussdetails, da keine Be- und Entlüftungsöffnungen
- Dampfsperren verhindern Rücktrocknung von Feuchte im Bauteil
- Einstufung in GK 0 nach DIN 68 800 derzeit nur durch besonderen rechnerischen Nachweis
- wärmespeichernde Deckschichten reduzieren Rücktrocknungsvermögen
- bauphysikalischer Nachweis in Verbindung mit Dachbegrünung, Bekiesung oder Betonwerksteinen derzeit nicht eindeutig möglich

Tragkonstruktion (siehe Abb. 2.4) und Bauteilen vorwiegend mit **Dämmung oberhalb der Tragkonstruktionen** (siehe Abb. 2.5). Letztere sind dadurch gekennzeichnet, dass sich die tragende Holzkonstruktion vollständig im trockenen Raumklima befindet.

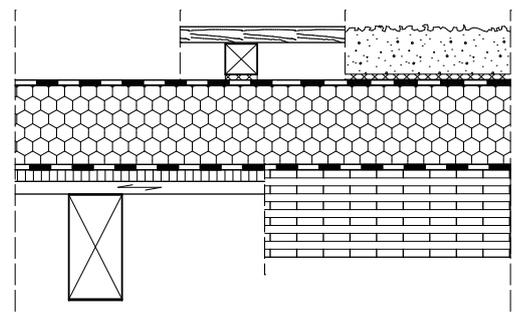


Abb. 2.5:
 Nicht belüftetes Flachdach
 mit Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion
 (stabförmiges oder flächiges Tragsystem)

Wesentliche Merkmale:

- + Holzbauteile nicht tauwassergefährdet
- + Tragkonstruktion GK 0 nach DIN 68 800
- + Dachuntersichten werkseitig herstellbar
- + Dachüberstand durch Stichsparren herstellbar
- + hohe Wärmespeichermassen durch Verwendung von Massivholzbauteilen
- größere Bauteildicken durch Schichtung Dämmung und Tragsystem
- druckfeste Dämmstoffe erforderlich
- Verlauf der Luftdichtheitsebene im Anschlussbereich besonders zu berücksichtigen
- Einfluss wärmespeichernder Deckschichten von untergeordneter Bedeutung

2.3 _ Regelwerke

2.3.1 _ Normen für die Planung und Ausführung

ATV DIN 18 334 – Zimmer- und Holzbauarbeiten ist die maßgebende Ausführungsvorschrift für die Ausbildung der Holzkonstruktion und der Dachschalung. Dämmarbeiten und die Ausführung der Luftdichtheitsebene können auch Leistung des Trockenbaus (ATV DIN 18 340) sein. Eine solche Gewerketrennung ist wegen der besonderen Feuchterisiken durch Dampfkonvektion jedoch grundsätzlich nicht empfehlenswert.

ATV DIN 18 336 – Abdichtungsarbeiten

ist Ausführungsvorschrift für die Abdichtung auf genutzten Decken- bzw. Dachflächen, wozu u.a. begehbare Dachterrassen zählen.

ATV DIN 18 338 – Dachdeckungs- und Dachabdichtungsarbeiten

ist Ausführungsvorschrift für die Dachabdichtung auf nicht genutzten Dachflächen, einschließlich Dächern mit extensiver Begrünung.

ATV DIN 18 339 – Klempnerarbeiten

beinhaltet Ausführungsvorschriften für Metalldachdeckungen (Falz- und Leistendächer) sowie Bauklempnerarbeiten.

DIN 18 531 – Dachabdichtungen – Abdichtungen für nicht genutzte Dächer

mit den Teilen 1 bis 4 gilt für die Planung und Ausführung von Abdichtungen für nicht genutzte Dachflächen aus bahnenförmigen Stoffen aus Bitumen- und Polymerbitumenbahnen sowie aus Kunststoff- und Elastomerbahnen.

DIN 18 195 – Bauwerksabdichtungen

beinhaltet in Teil 5 den Bereich der Bauwerksabdichtungen für genutzte Flachdächer (Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen). Die Ausführung von Beweugungsfugen, Durchdringungen, Übergängen

sowie An- und Abschlüssen ist in den Teilen 8 und 9 der Norm geregelt. Im Beiblatt 1 zur Norm wird die Ausbildung niveaugleicher Türschwelle dargestellt.

DIN EN 13 956 – Abdichtungsbahnen – Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen

ist die europäische Produktnorm dieser Abdichtungsbahnen, die jene Eigenschaften der Bahnen festlegt, damit sie in Europa gehandelt werden dürfen. Die in diesem Zusammenhang eingeführte DIN V 20 000-201 ist als Anwendungsnorm für diese Abdichtungsbahnen in Deutschland zu berücksichtigen

DIN 68 800 – Holzschutz benennt in Teil 2 „Bauliche Holzschutzmaßnahmen“ die baulichen Voraussetzungen für Konstruktionen, um auf chemischen Holzschutz verzichten zu können. In Teil 3 der Norm „Chemischer Holzschutz“ erfolgt die Einstufung der Holzbauteile in Gefährdungsklassen (kurz GK, zukünftig Gebrauchsklassen genannt), und es wird eine Zuordnung zu den erforderlichen Holzschutzmaßnahmen vorgenommen bzw. werden Alternativen benannt. Die gesamte Normenreihe befindet sich derzeit in Überarbeitung.

DIN 4108 – Wärmeschutz und Feuchteschutz

beinhaltet in Teil 3 die Nachweisverfahren des klimabedingten Feuchteschutzes (Dampfdiffusionsnachweis) und benennt Randbedingungen für nachweisfreie Konstruktionen (siehe Kapitel 4.2). In Teil 7 der Norm werden Anforderungen an die Ausführung der Luftdichtheitsebene benannt.

DIN EN 15 026 – Wärme- und feuchte-technisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation

ist eine in 2007 eingeführte Norm, welche die hygrothermischen Nachweisverfahren von Bauteilen regelt.

2.3.2 _ Regeln für Dächer mit Abdichtungen [RDA]

Die vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) herausgegebenen „Regeln für Dächer mit Abdichtungen“ enthalten Grundregeln, Fachregeln, Hinweise, Merkblätter und Produktdatenblätter.

Wesentlicher Bestandteil sind die Fachregeln für Dächer mit Abdichtungen, bekannt als **Flachdachrichtlinien [FDR]**, die für die Ausführung von Abdichtungen auf flachen und geneigten Dachflächen sowie für genutzte und nicht genutzte Dachflächen mit allen für die Funktionsfähigkeit des Dachaufbaus erforderlichen Schichten sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen gelten. Die Fachregeln gelten als *allgemein anerkannte Regel der Technik* und ergänzen die Normung um konkrete Planungs- und Ausführungshinweise. Für die Planung von Flachdächern in Holzbauweise sind außerdem die das Regelwerk ergänzenden **Hinweise Holz und Holzwerkstoffe [H HH]** und das **Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand [MB WS]** zu beachten.

Bezug der Musterbauordnung [MBO 2002] und der Musterrichtlinien über das Informationssystem der Bauministerkonferenz:
www.is-argebau.de

2.3.3 _ Klempnerfachregeln [KFR]

Die Klempnerfachregeln gelten für die Ausführung von Metaldachdeckungen und Klempnerarbeiten. Sie werden in der vorliegenden Schrift berücksichtigt, weil Metaldachdeckungen auf Holzunterkonstruktion z.B. als Doppelstehfalzdeckung ab 3° Dachneigung ausgeführt werden können. Weitere für Flachdachkonstruktionen relevante Merkblätter sind „Belüftete und nicht belüftete Metaldächer aus industriell vorgefertigten Klemm- /Falzprofilen“ und „Metaldachdeckungen aus Edelstahl rollennahtgeschweißt“.

2.3.4 _ Brandschutzbestimmungen

Anforderungen an den Feuerwiderstand von Außenbauteilen werden in den jeweiligen Landesbauordnungen benannt, deren Vorlage die Musterbauordnung ist. Bei Dachbauteilen werden mit Ausnahme von giebelständigen Doppel- und Reihenhäusern keine Anforderungen an den Feuerwiderstand der Dachkonstruktion gestellt. Besondere Anforderungen an die Ausführung der Dachflächen bestehen hinsichtlich des Brandschutzes für Gebäude, die besonderen Richtlinien unterliegen, z.B. der Industriebauvorschrift [IndBauRL] oder Versammlungsstättenverordnung [VstättV].

3 _ Planungsgrundlagen

3.1 _ Dachneigung

Flächen, die für die Auflage einer Dachabdichtung vorgesehen sind, müssen gemäß Flachdachrichtlinie ein Gefälle von mindestens 2% (1,15°) aufweisen. Dächer mit geringerer Neigung – bei ihnen ist mit Wasseransammlung zu rechnen – und begrünte Dächer mit planmäßigem Wasseranstau gelten als Sonderkonstruktionen. Bei der Planung der Dachneigung sind die Durchbiegungen der Tragkonstruktion infolge Schnee- und Nutzlasten sowie infolge Kriechinflüssen zu berücksichtigen. Hierfür müssen die in DIN 1052 vorgeschlagenen Durchbiegungsbeschränkungen beachtet werden. Im Regelfall kann bei Dachneigungen von $\geq 3\%$ von einem ausreichenden Abfließen von Oberflächenwasser ausgegangen werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Abgleiten der Schichten des Dachaufbaus in Richtung des Gefälles verhindert wird. In der Flachdachrichtlinie werden entsprechende Maßnahmen beschrieben, z.B. das Durchziehen von Abdichtungsbahnen bis über den First oder die Verwendung besonderer Klebstoffe. Im Holzbau sind Flachdächer mit Neigung

$\geq 5\%$ generell zu empfehlen. Auf diese Weise wird Staunässe verhindert, und bei belüfteten Konstruktionen wird eine günstigere Durchströmung erzielt (siehe Kapitel 5).



Abb. 3.1:
Stehendes Wasser auf einem 0°-Dach

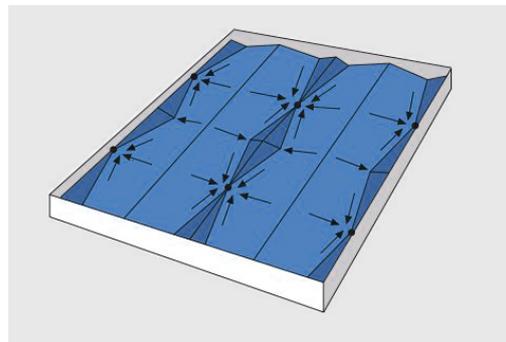


Abb. 3.2:
Gefälleausbildung großer Dachflächen z.B. durch Gefälledämmung mit Punktentwässerung

Tabelle 3.1
Dachneigungen in Grad [°] und Prozent [%]

Grad → Prozent	Prozent → Grad	
1° 1,8%	2% 1,15°	Sonderkonstruktion (< 2%)
2° 3,4%	3% 1,72°	behinderter Wasserablauf (< 3%)
3° 5,2%	4% 2,29°	empfohlener Dachneigungsbereich ($\geq 5\%$)
4° 7,0%	5% 2,86°	
5° 8,8%	6% 3,43°	
10° 17,6%	10% 5,71°	
15° 26,8%	15% 8,53°	

[1 cm = 1%]

Tabelle 3.2

Auswahl an Abkürzungen und Bezeichnungen von gängigen Dachabdichtungsbahnen für nicht genutzte Dächer (nach E DIN 18 531-2)

Bitumen- und Polymerbitumenbahnen
DD = Dachdichtungsbahn
PYE = Polymerbitumen mit thermoelastischen Elastomeren (SBS) vergütet
PYP = Polymerbitumen mit thermoplastischen Kunststoffen (aPP) vergütet
S4/S5 = Schweißbahn mit Bahndicke in mm
G 200 = Glasgewebeeinlage mit 200 g/m ²
PV 200 = Polyestervlieseinlage mit 200 g/m ²
V 60 S4 = Bitumenschweißbahn mit Glasvlieseinlage 60 g/m ²
V 13 = Glasvlies-Bitumendachbahn (nur als Trennlage)
G 200 S4 = Schweißbahn aus Oxidationsbitumen m. Glasgewebeeinlage, 4 mm dick
PYE-PV 200 S5 = Polymerbitumen-Schweißbahn mit Polyestervlieseinlage 200 g/m ² , 5 mm dick
Kunststoff- und Elastomerbahnen
ECB = Ethylencopolymerisat-Bitumen
EVA = Ethylen-Vinylacetat-Terpolymer
FPO = Flexibles Polyolefin
PE-C = Chloriertes Polyethylen
PIB = Polyisobutylen
PVC-P = weichmacherhaltiges Polyvinylchlorid
TPE = Thermoplastisches Polymer
EPDM = Ethylen-Propylen-Dien Polymer
IIR = Isobutylen-Isopren-Copolymer

3.2 _ Dachabdichtungen

Anforderungen an Abdichtungen für nicht genutzte Dächer sind in DIN 18 531 beschrieben. Die Dachfläche wird entsprechend ihrer thermischen und mechanischen Belastungen in Beanspruchungsklassen eingestuft, die Abdichtungssysteme werden nach Eigenschaftsklassen unterschieden. Die erforderlichen Abdichtungsmaterialien, die Lagenanzahl bzw. die Materialdicken werden gemäß Anforderungen an die Gebäudenutzung (Anwendungskategorien) und der vorliegenden Beanspruchung bestimmt. Die Regelungen gelten für Abdichtungen aus Bitumen- und Polymerbitumenbahnen sowie für Kunststoff- und Elastomerdichtungsbahnen. Andere Abdichtungssysteme müssen über eine bauaufsichtliche Zulassung geregelt werden. Abdichtungen aus Flüssigkunststoffen sind nach ETAG 005 geregelt, Hinweise enthalten die Flachdachrichtlinien.

Die Auswahl der Abdichtungssysteme, insbesondere die Entscheidung, ob Kunststoff- oder Bitumendachbahnen verwendet werden, hängt meist von individuellen Präferenzen der Planer, ggf. auch der Ausführenden ab. Während sich

Abb. 3.3:
Bitumendachbahnen



Abb. 3.4:
Kunststoffdachbahn



Bitumenbahnen aufgrund der größeren Dicke durch ihre Robustheit gegenüber mechanischen Einwirkungen (z.B. auch bei Hagelschlag) auszeichnen, haben Kunststoffdachbahnen den Vorteil, sich leicht an Einbauten anpassen zu lassen. Elastomerbahnen zeichnen sich durch die Möglichkeit einer individuellen, vollflächigen Vorfertigung und ihre Flexibilität aus. Die lose Verlegung von Abdichtungsbahnen erleichtert den Rückbau und die stoffliche Verwertung der hierbei anfallenden Bauabfälle.

Über Dachschalungen aus Holz ist vor Aufbringen von Abdichtungen eine Trennlage anzuordnen. Dadurch werden Längenänderungen der Dachabdichtung bei Temperaturschwankungen ermöglicht und die Übertragung von Bewegungen der Dachschalung resultierend aus Schwinden und Quellen infolge Feuchteschwankungen vermindert. Wird z.B. bei Aufdachdämmsystemen auf einer Holzschalung als Dampfbremse eine Dachbahn G 200 S4 mit der beschieferten Seite nach unten verlegt, kann auf eine solche Trennlage verzichtet werden. Bei Kunststoffabdichtungen sind Bahnen mit einer speziellen Vlieskaschierung verfügbar, die den Zweck einer Trennlage erfüllen.

3.3 _ Dachdeckungen aus Metall

Metalldachdeckungen finden im Flachdachbereich im Regelfall bei Dachneigungen ab 3° Anwendung (siehe Tabelle 3.3). Da Metalldachdeckungen keine in der Fläche geschlossenen Systeme sind, werden bei Dachneigungen unterhalb 7° besondere Maßnahmen zur Herstellung der Dichtigkeit erforderlich, z.B. das Einlegen von Dichtbändern in den Falzen.

Aufgrund eines möglichen Tauwasseranfalls auf der Rückseite der Metalldachdeckung ist auf Dachschalungen aus Holzwerkstoffplatten eine geeignete Trennlage anzuordnen. Bewährt haben sich diffusionsoffene, strukturierte Trennlagen mit einem 6 bis 8 mm dicken Polyamid- bzw. Polypropylengeflecht (siehe Abb. 3.6). Durch die entstehende Dränageschicht kann bei geeigneten Dachflächen durch Sekundärtauwasser anfallende Feuchtigkeit abgeführt werden. Außerdem reduziert eine solche Trennlage die Geräuschentwicklung bei Starkregen um 6 bis 11 dB (je nach Hersteller). Die Verwendung solcher Trennlagen wird bei unbelüfteten Dächern auch auf Vollholzschalungen sowie auf mit Holzschutzmittel behandelten Schalungen empfohlen.

Abb. 3.5 a-c:

Beispiele für Metalldeckungssysteme

a Doppelstehfalz

b Winkelstehfalz

c Leistendeckung als Klicksystem

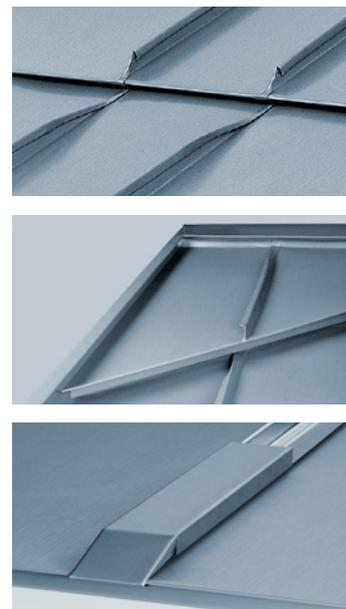


Abb. 3.6:

Trennlage unter Stehfalzdeckung



Tabelle 3.3

Dachneigungen bei Metalldachdeckungen nach Klempnerfachregeln [KFR]

Dachneigung	Metalldachdeckung
< 3°	rollennahtgeschweißte Edelstahldeckung
≥ 3°	Doppelstehfalzdeckung, bis < 7° mit Sondermaßnahmen, z.B. Dichtbandeinlage, Falzerhöhung oder Unterdach
≥ 3° bis 15°	zusätzliche Maßnahmen bei Titanzink, z.B. Trennlage mit Dränagefunktion
≥ 3°	Leistendeckung

Minstdicken für
 Dachschalungen nach
 [KFR] und [RDA]:
Vollholz: $d \geq 24$ mm
Holzwerkstoffe: $d \geq 22$ mm

3.4 _ Dachschalungen aus Vollholz

Tragende Dachschalungen aus Vollholz müssen aus besäumten Brettern oder Bohlen mindestens der Sortierklasse S 10 bzw. der Festigkeitsklasse C 24 hergestellt werden. Eine Zuordnung von Festigkeitsklassen zu Sortierklassen enthält Tabelle 3.4. Die Minstdicke der Schalung beträgt nach ATV DIN 18 334 $d_{\min} = 24$ mm, die Maximalbreite der Schalbretter ist bei Flachdächern auf 160 mm begrenzt [H HH]. Unter Dachabdichtungen sind Schalungen stets miteinander durch Nut und Feder zu verbinden.

Dachschalungen müssen wie alle Bauschnitthölzer aus Nadelholz grundsätzlich trocken eingebaut und vor Feuchteeinwirkungen während der Bauphase geschützt werden. Als obere Grenze für „trocken“ gilt eine massenbezogene Holzfeuchte von $u_m = 20\%$; für den Holzhausbau werden Holzfeuchtigkeiten von max. 18% verlangt. Aufgrund der Sensibilität unbelüfteter Flachdachkonstruktionen gegenüber Feuchteeinwirkungen soll die Holzfeuchte hier 15% nicht überschreiten; bei belüfteten Konstruktionen kann aufgrund der Möglichkeit des ungehinderten Nachtrocknens die Holzfeuchte bis 20% betragen.

3.5 _ Holzwerkstoffe als tragende und aussteifende Dachschalung

Dachschalungen aus Holzwerkstoffen müssen sowohl für Dachabdichtungen als auch für Metalldeckungen eine Minstdicke von 22 mm aufweisen. Die in Abhängigkeit der Nutzungsklasse als tragende und aussteifende Beplankung verwendbaren Holzwerkstoffplatten sind in Tabelle 3.5 aufgeführt. Die bisher aus DIN 68 800-2 bekannten „Holzwerkstoffklassen“ wurden ersetzt durch eine Aufteilung in „Technische Klassen“, welche eine Zuordnung in die verschiedenen Nutzungsklassen ermöglichen. Holzwerkstoffe als Befestigungsebene von Dachdeckungen oder Dachabdichtungen müssen mindestens in Nutzungsklasse 2 anwendbar sein. Die bisher im Regelwerk nicht zulässigen Span- und OSB-Platten sind zukünftig verwendbar, wenn die Platten eine feuchteunempfindliche PMDI-Verleimung aufweisen (siehe Tabelle 3.5).

Grundsätzlich dürfen nur solche Produkte eingebaut werden, die einen Verwendbarkeitsnachweis erbringen, d.h., sie müssen der bauaufsichtlich eingeführten Produktnorm DIN EN 13 986 entsprechen (Bauregelliste B) oder über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (DIBt) bzw. eine

Tabelle 3.4
 Zuordnung der Sortierklassen zu den Festigkeitsklassen¹⁾

Sortierklassen nach DIN 4074-1		Festigkeitsklassen nach DIN 1052:2004-08
Visuell (S)	Maschinell (M)	
S 7 ²⁾	C 16 M ²⁾	C 16 ²⁾
S 10	C 24 M	C 24
S 13	C 30 M	C 30

¹⁾ Zuordnung gilt nur für trocken sortiertes Holz (z.B. NH S10 TS) mit $u \leq 20\%$
²⁾ Anwendung von S 7/C 16 zur Zeit noch nicht für Dachschalungen zulässig

europäisch-technische Zulassung (ETA) geregelt sein. Holzwerkstoffe gemäß DIN EN 13 986 verfügen über eine CE-Kennzeichnung und müssen die in der nationalen Anwendungsnorm DIN V 20 000-1 festgelegten ergänzenden und abweichenden Anforderungen erfüllen (siehe IDH spezial 10/2006).

Bei Dachschalungen aus Holzwerkstoffplatten wird empfohlen, kleinteilige Formate einzusetzen, um deren feuchtebedingte Längenänderungen durch eine größere Fugenanzahl kompensieren zu können. Dadurch werden Verformungen der Dachkonstruktion vermieden, beispielsweise das Aufwölben bei Feuchtezunahme der oberseitigen Schalung im Winter. Dieser Effekt kann auch durch starke Rücktrocknung einer raumseitigen Beplankung im Winter entstehen. Die

Länge von OSB-Platten wird gemäß Klempnerfachregeln auf 2,5 m begrenzt. Plattenbreiten unter einem Meter sind für die Herstellung von Tafелеlementen jedoch nur bedingt geeignet.

> IDH spezial 10/2006
INFORMATIONSDIENST HOLZ
 spezial 10/2006:
 „Die europäische Normung von Holzwerkstoffen für das Bauwesen“ [2]

Abb. 3.7:

CE-Kennzeichnung von Holzwerkstoffen am Beispiel einer OSB-Platte OSB/3



CE-Zeichen

- 1 Kennnummer der Zertifizierungsstelle und Bezeichnung des Konformitätszertifikats
- 2 Adresse des Herstellers
- 3 Jahr der Kennzeichnung
- 4 Bezugsnorm: EN 13 986
- 5 Plattentyp (technische Klasse nach Anhang A der DIN EN 13 986) und Nenndicke der Platte
- 6 Formaldehydklasse
- 7 Brandverhalten nach DIN EN 13 501-1

Tabelle 3.5

Technische Klassen von Holzwerkstoffen für die tragende Verwendung

Zuordnung der technischen Klasse zu den Nutzungsklassen	NKL 1	NKL 2	NKL 3
OSB- Platten nach DIN EN 300 ¹⁾	OSB/2	OSB/3 OSB/4	—
Kunstharzgebundene Holzspanplatten nach DIN EN 312 ¹⁾	P4, P6	P5, P7	—
Massivholzplatten nach DIN EN 13 353 ²⁾	SWP/1	SWP/2	SWP/3
Sperrholz nach DIN EN 636	trocken	feucht	außen ³⁾
Mittelharte Holzfasерplatten nach DIN EN 622-3 ^{2) 4)}	MBH.LA1 MBH.LA2	MBH.HLS1 MBH.HLS2	— —
MDF-Platten nach DIN EN 622-5 ^{2) 4)}	MDF.LA	MDF.HLS	—
Zementgebundene Holzspanplatten nach DIN EN 634-1	•	•	o ⁵⁾

¹⁾ Gemäß Klempnerfachregeln (2008) können OSB- und Spanplatten als Befestigungsebene in NKL 2 dann eingesetzt werden, wenn sie über eine vollständige PMDI-Verklebung verfügen

²⁾ Die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften für bautechnische Zwecke werden über allgemeine bauaufsichtliche Zulassung geregelt

³⁾ Die Anwendung in NKL 3 ist abhängig von der Auswahl der Holzart und der Verleimung

⁴⁾ Gemäß Klempnerfachregeln nicht für Metaldachdeckungen geregelt

⁵⁾ Anwendung in NKL 3 erfordert gesonderten baurechtlichen Hinweis

3.6 _ Wärmedämmstoffe

Aufdachdämmungen

Dämmstoffe sind bei Flachdächern immer dann einer besonders hohen Beanspruchung ausgesetzt, wenn sie als Aufdachdämmung direkt unterhalb der Abdichtung eingesetzt werden. Schaumkunststoffe zeichnen sich hierbei durch gute Dämmeigenschaften bei gleichzeitig hohen Druckfestigkeiten aus, können aber verformungsanfällig durch Schwinden und Temperatureinwirkungen sein. Nichtbrennbare Mineralfaserdämmstoffe sind bei Brandschutzanforderungen vorteilhaft und erfahren keine Volumenänderungen infolge Temperaturschwankungen. Sie neigen bei mechanischer Belastung zur Komprimierung und können nur bei nicht genutzten Flachdächern als Aufdachdämmung eingesetzt werden. Holzfaserdämmstoffe zeichnen sich durch eine gute Elastizität und eine hohe spezifische Wärmespeicherkapazität aus, sie sind jedoch feuchteempfindlicher und ausschließlich als normalentflammbare Baustoffe lieferbar. Ähnlich verhalten sich Korkdämmungen. Bei den seltener verwendeten Schaumglasdämmstoffen handelt es sich um ein mechanisch belastbares, dampfdichtes und auch sehr teures Material.

Zwischensparrendämmung und Einblasdämmstoffe

Als Dämmstoffe unter tragenden Dachschalungen werden vorwiegend weiche Faserdämmstoffe aus Mineralwolle, Zellulosefasern, Holzfaser und andere Naturdämmstoffe eingesetzt. Die Dämmung kann zwischen die Tragkonstruktion geklemmt bzw. lose auf eine Unterkonstruktion aufgelegt werden. Eine Besonderheit sind die im Holzbau verbreiteten Einblasdämmstoffe, meist aus Zellulosefasern. Damit lassen sich fugenlose Dämmungen selbst in schwer zugänglichen Bereichen herstellen.

Hierfür stehen auch nichtbrennbare mineralische Granulate zur Verfügung.

Die verschiedenen Anwendungstypen und die Produkteigenschaften werden durch Kurzbezeichnungen und eigenschaftsbezogene Zusatzbezeichnungen gekennzeichnet (siehe Tabelle 3.7). Die Mindestanforderungen an Dämmstoffe für die verschiedenen Anwendungszwecke, z.B. Mindestdruckfestigkeiten und Wasseraufnahmefähigkeit, sind in DIN V 4108-10 festgelegt. Besonders zu beachten ist bei der Angabe der Wärmeleitfähigkeit die Unterscheidung zwischen dem Nennwert (λ_D) und dem Bemessungswert (λ), wobei Letzterer für die Nachweise der Energiebilanz anzuwenden ist.



Abb. 3.8:
 Belüftetes Flachdach, gleichmäßig gedämmt mit Steinwollegranulat

Abb. 3.9:
 Beispiel der Kennzeichnung eines Wärmedämmstoffes

XX-Flachdachdämmplatte				
	Anwendungsfall nach DIN 4108-10		Qualitätstyp: XX 035 DAA dm	
	DAA dm			EAN Code XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
	Nennstärke XX mm	Format XX mm x XX mm		
	Kanten XX	Platten XX Stück	Fläche XX m ²	Brandverhalten B1 (DIN 4102) Zul.-Nr.
Wärmeleitfähigkeit Bemessungswert: 0,035 W/mK				
		[Hersteller] [Anschritt] [letzten zwei Ziffern des Jahres] [Zertifikat-Nummer]		
DIN EN 131XX [Produktbezeichnung] Euroklasse E $R_D = XX \text{ m}^2/\text{K/W}$ Nennstärke XX mm XX EN 131XX-T1-W1-S1-P3-B5 50-CS(10)100-DS(N)5-DLT(1)5				

Tabelle 3.6

Eigenschaften von Dämmstoffen und Zuordnung zu üblichen Anwendungsbereichen

Bezeichnung		baurechtliche Grundlage	Brandverhalten		übliche Anwendungsbereiche ³⁾
			Baustoff-klasse ¹⁾	Euro-klasse ²⁾	
MW	Mineralwolle	DIN EN 13 162	A1/A2		DZ, DAA, DAD
EPS	Polystyrol-Hartschaum	DIN EN 13 163	B1	E	DAD, DAA
XPS	Polystyrol-Extruderschaum	DIN EN 13 164	B1	E	DAD, DAA
PUR	Polyurethan-Hartschaum	DIN EN 13 165	B2	E	DAD, DAA
PF	Phenolharz-Hartschaum	DIN EN 13 166	B2	E	DAD, DAA
CG	Schaumglas	DIN EN 13 167	A1	A1	DAA, DAD
ICB	Expandiertes Kork	DIN EN 13 170	B2	E	DAA, DAD
WF	Holzfasern	DIN EN 13 171	B2	E	DZ, DAA, DAD
-	Zellulosedämmung	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung	B2	E	DZ

¹⁾ Baustoffklasse nach DIN 4102-4
²⁾ Euroklasse nach DIN EN 13 501-1 (Mindestanforderungen ohne Angabe der Brandnebenerscheinungen)
³⁾ Bezeichnungen nach DIN V 4108-10 (siehe Tabelle 3.7)

Tabelle 3.7

Anwendungsgebiete und erforderliche Eigenschaften von Dämmstoffen nach DIN V 4108-10¹⁾

Anwendungstypen	MW	EPS	XPS	PUR	PF	CG	ICB	WF
 Dach/Decke, Außendämmung unter Abdichtung	+	dm dh	dm dh ds dx		+		+	dh ds
 Dach/Decke, Außendämmung unter Deckungen	dk ²⁾ dh	+	+	(+)	(+)	(+)	wk wf	dg dm ds
 Dach, Zwischensparrendämmung	+	+	-	+	+	-	+	+

Anforderungen an die Druckbelastbarkeit
 dk keine
 dg geringe
 dm mittlere
 dh hohe
 ds sehr hohe
 dx extrem hohe

Anforderungen an die Wasseraufnahme:
 wk keine Anforderung
 wf Wasseraufnahme durch flüssiges Wasser

+ Anwendung möglich
 - keine genormte Anwendung
 (+) Anwendung hier nicht empfohlen

¹⁾ Aufgeführt sind die normativ geregelten Dämmstoffe; die Anwendung anderer Dämmstoffe erfolgt gemäß Vorgaben der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen
²⁾ Für diese Anwendung muss der λ_D -Nennwert der Wärmeleitfähigkeit $\leq 0,040 \text{ W/(m K)}$ betragen

4 _ Physikalisch-technologische Grundlagen

4.1 _ Wärmeschutz

Die Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 beziehen sich auf die Sicherstellung der Tauwasserfreiheit an Innenoberflächen, so dass das Risiko einer Schimmelpilzbildung bzw. eines Bauschadens ausgeschlossen werden kann. Bei Einhaltung des Mindestwertes des Wärmedurchlasswiderstands für den Gefachbereich leichter Außenbauteile ($R \geq 1,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ bzw. $U < 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) können die aktuellen Anforderungen an eine energie-

effiziente Bauweise im Wohnungsbau nicht erfüllt werden. Anzustrebende U-Werte von $0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ und kleiner lassen sich sinnvoll und unproblematisch mit Holzkonstruktionen realisieren.

Werden Veränderungen an der Gebäudehülle vorgenommen, stellt die Energieeinsparverordnung [EnEV 2007] konkrete Anforderungen an den U-Wert von Außenbauteilen, der bei der Sanierung von Flachdächern derzeit $U \leq 0,25 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$ beträgt. Bei Gefälledämmung muss dabei am tiefsten Punkt ein Wärmedurchlasswiderstand von $R \geq 1,1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ eingehalten werden, was in etwa 4 cm Dämmdicke entspricht. Die nachträgliche Ertüchtigung von Flachdächern ist durch das Aufbringen neuer Dämm- und Abdichtungsschichten möglich. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, den Wärmeschutz bestehender Flachdächer in Holzbauweise durch das Ausblasen von Hohlräumen mit Einblasdämmstoffen zu verbessern.

Abb. 4.1:
Minimierte Wärmebrücke
eines Flachdachanschlusses
mit Attika

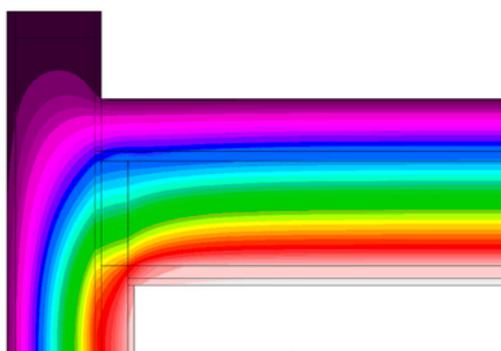


Tabelle 4.1

Anforderungen an Flachdächer, erforderliche U-Werte und zugehörige Dämmdicken

	U (W/(m² K))	mind. d_{Dämm}¹⁾ λ = 0,04 W/(m K)
Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2	< 0,57	70 mm
EnEV 2007 (Erneuerung)	< 0,25	160 mm
EnEV 2007 (Neubau)	ca. 0,20	ca. 200 mm
KfW-60-Standard ²⁾	ca. 0,18	ca. 220 mm
KfW-40-Standard ²⁾	ca. 0,16	ca. 260 mm
Passivhausstandard	< 0,15	> 300 mm

¹⁾ ca.-Angabe ohne Berücksichtigung der Dämmeigenschaften der Tragkonstruktion

²⁾ Förderprogramm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (www.kfw.de)

Einer besonderen Betrachtung bedürfen Wärmebrücken, insbesondere im Bereich von Auflagern auf massiven Außenwandkonstruktionen mit Ringbalken und in die Dachfläche einbindenden Wohnungstrennwänden oder Brandwänden. Weitergehende Hinweise enthalten das hh 3/2/6 und der Wärmebrückenkatalog des INFORMATIONSDIENST HOLZ [4].

Sommerlicher Wärmeschutz

Anforderungen und Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz sind in DIN 4108-2 geregelt. Aufgrund der heute üblichen großen Dämmdicken ist der Einfluss der Flachdach-

konstruktion und der Dämmstoffart auf den sommerlichen Wärmeschutz gering. Die maßgebenden Einflussgrößen auf die Schwankung der Raumtemperaturen bei sommerlichen Klimabedingungen sind in Tabelle 4.2 zusammengestellt. Besonders zu beachten ist, dass helle und nicht selbstpatinierende metallische Oberflächen unbelüfteter Flachdächer zwar einen Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz leisten, jedoch aus feuchteschutztechnischer Sicht nicht unkritisch sind, da sie das sommerliche Rücktrocknungspotenzial stark reduzieren [5]. Es ist deshalb im Einzelfall abzuwägen, welcher Gesichtspunkt Priorität genießt (siehe Kapitel 6).

> hh 3/2/6
 INFORMATIONSDIENST HOLZ
 holzbau handbuch
 Reihe 3, Teil 2, Folge 6
 „Wärmebrücken“ [3]

Tabelle 4.2
 Einflussgrößen auf den sommerlichen Wärmeschutz

Einflussgröße		Verbessernde Maßnahmen	
Sonneneinstrahlung durch Fenster	+	Reduzierung der nach Südwesten ausgerichteten Fensterflächen	+ geringer Einfluss
	++	außen liegende Verschattungen, Dachüberstände	++ großer Einfluss
Speichermassen der gesamten Innenoberflächen	+	Massivholzbauweisen oder „schwere“ Dämmstoffe	
	+	schwere Estriche	
	+	raumseitige Beplankungen aus Lehm oder Gipsbaustoffen	
Dämmung (bei Holztafelbauweisen)	+	hohe Rohdichte und spezifische Wärmespeicherfähigkeit, z.B. Zellulose- oder Holzweichfaserdämmung	
Belüftung der Räume	++	mechanisch kontrollierte Regelung	
Oberflächenbeschaffenheit unbelüfteter Flachdächer	+	helle Farbe der Abdichtung oder nicht selbstpatinierende metallische Oberfläche	
	+	schwerer Oberflächenschutz, Begrünung ¹⁾	
Unterlüftung der Dachhaut	++	hoher Belüftungsquerschnitt	
	+	windgeschützte Dämmebene	

¹⁾ Der wärmespeichernde Effekt dieser Deckschichten ist beim Nachweis des Feuchteschutzes unbelüfteter Konstruktionen zu berücksichtigen, weil sich das Rücktrocknungsvermögen reduziert

4.2 _ Feuchteschutz

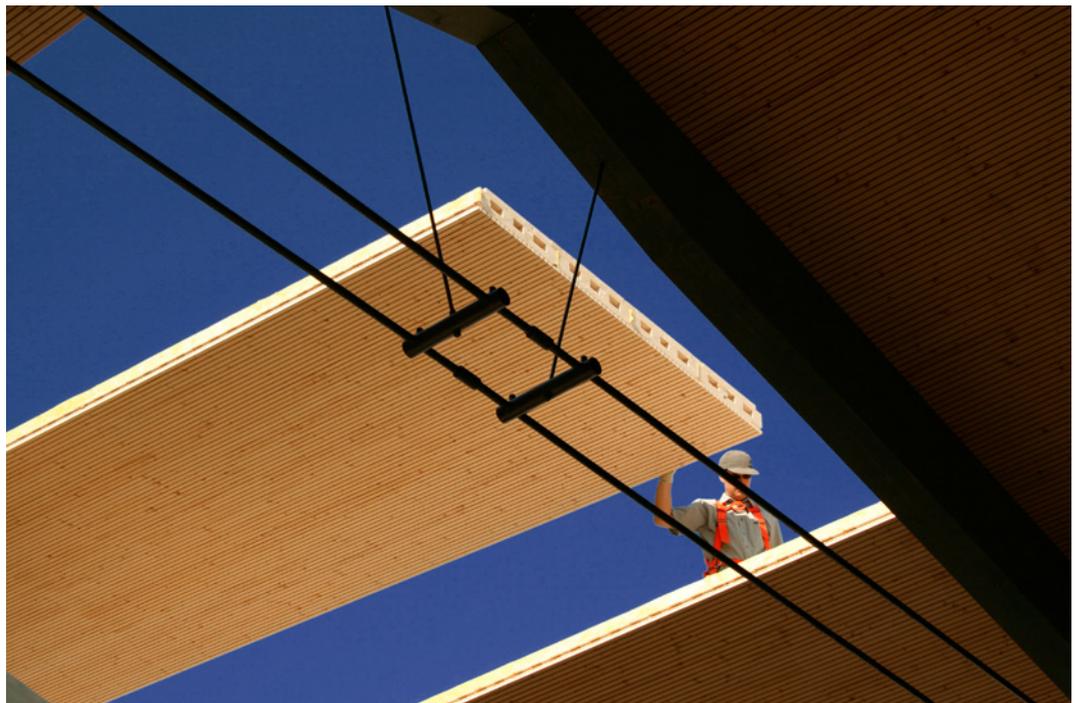
4.2.1 _ Feuchteeinwirkungen

Flachdachkonstruktionen sind besonderen Feuchteeinwirkungen ausgesetzt. Hierzu zählen Witterungseinflüsse während der Montage, Baufeuchtigkeit und durch die Nutzung entstehende Feuchte. Durch den Einbau von trockenem Holz (Konstruktionsvollholz: $u = 15 \pm 3\%$) und die Verwendung von Holzwerkstoffen mit Lieferfeuchten i. d. R. zwischen 9 bis 12% sind nachteilige Feuchteeinwirkungen aus der Holzkonstruktion praktisch ausgeschlossen. Für einschalige, unbelüftete Flachdächer wird im Hinblick auf deren besondere Feuchteempfindlichkeit jedoch empfohlen, anstatt der in ATV DIN 18 334 zulässigen maximalen Holzfeuchte von 20% (im Holzhausbau 18%) Einbaufeuchten von maximal 15% zu fordern (siehe Kapitel 6).

Witterungseinflüsse

Durch den Einsatz vorgefertigter, geschlossener Holzbauelemente und aufgrund der damit verbundenen kurzen Montagezeiten wird das Risiko von Schäden durch Witterungseinflüsse während der Montage minimiert. Dennoch ist auf einen ausreichenden Witterungsschutz mit Transportabdeckungen und das Aufbringen einer Notabdichtung spätestens nach der Montage zu achten, sofern nicht werkseitig eine Abdichtung aufgebracht ist. Durch Bewitterung feucht gewordene Hölzer müssen vor dem Schließen des Bauteils vollständig abtrocknen können, die Einbaufeuchte ist durch Kontrollmessungen der Holz(werkstoff)feuchte der oberen Beplankung zu überprüfen.

Abb. 4.2:
Montage Massivholzelement
(Gemeindehalle Kadelburg,
Architekturbüro Reichmann,
Waldshut-Tiengen)

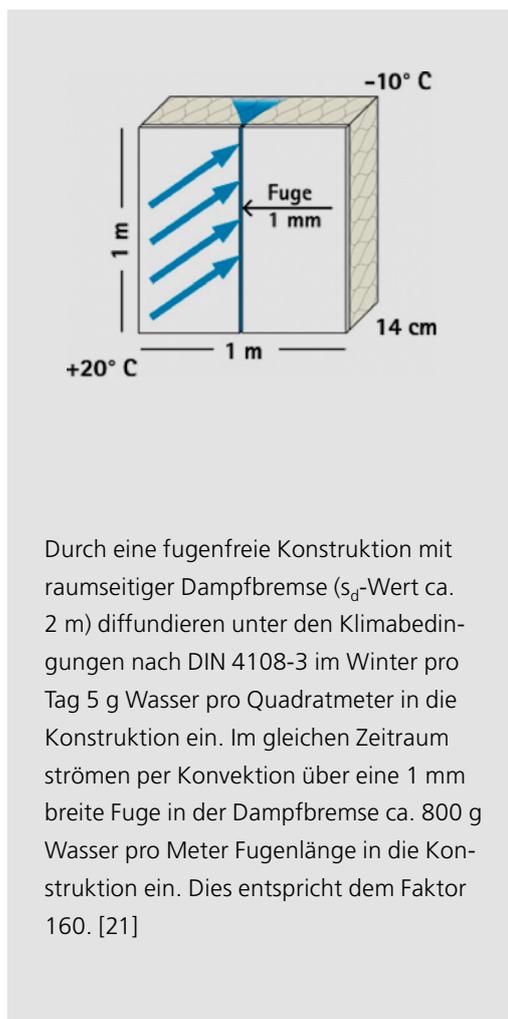


Baufeuchte

Während der Ausbauphase können in geschlossenen Gebäuden, z.B. durch Estricharbeiten (Nassestriche) und Putzarbeiten, sehr hohe relative Luftfeuchten entstehen. Diese Feuchteeinwirkungen müssen insbesondere bei ungedämmten Dachkonstruktionen in der Bauphase beachtet werden. Weil es auf den kalten Bauteiloberflächen zu Tauwasseranfall kommen kann, sollten Dachkonstruktionen, soweit nicht vorgefertigt, unverzüglich gedämmt und die Luftdichtheitsschicht vollständig und dicht ausgeführt werden. Bei Verwendung von feuchtevariablen Dampfbremsen müssen in unbelüfteten Konstruktionen die Einflüsse aus Baufeuchtigkeit auch im gedämmten Zustand vermieden werden. Dies kann durch ausreichendes Lüften erfolgen, zusätzlich kann der Einsatz von Bautrocknungsgeräten erforderlich werden

Dampfdiffusion und Konvektion

Die Beanspruchung von Außenbauteilen resultiert im Wesentlichen aus den unterschiedlichen Klimabedingungen zwischen Innen- und Außenbereich. Beim dadurch entstehenden Feuchte-transport wird zwischen *Dampfdiffusion* und *Konvektion* unterschieden. **Die Einflüsse aus Konvektion infolge von Luftundichtigkeiten sind besonders kritisch, weil dadurch deutlich mehr Feuchtigkeit in die Konstruktion eingetragen werden kann als durch Diffusionsvorgänge. Deshalb ist die fachgerechte Ausbildung einer Luftdichtheitsschicht gemäß DIN 4108-7 bei Flachdachkonstruktionen von besonderer Bedeutung (siehe hh1/1/8).** Die baubegleitende Überprüfung der Luftdichtheit mittels Blower-Door-Test mit Abdichtung der ermittelten Leckagen reduziert das Risiko von Fehlstellen in der Luftdichtungsebene und hilft Bauschäden zu vermeiden.



Durch eine fugenfreie Konstruktion mit raumseitiger Dampfbremse (s_d -Wert ca. 2 m) diffundieren unter den Klimabedingungen nach DIN 4108-3 im Winter pro Tag 5 g Wasser pro Quadratmeter in die Konstruktion ein. Im gleichen Zeitraum strömen per Konvektion über eine 1 mm breite Fuge in der Dampfbremse ca. 800 g Wasser pro Meter Fugenlänge in die Konstruktion ein. Dies entspricht dem Faktor 160. [21]

> hh 1/1/8
 INFORMATIONSDIENST **HOLZ**
 holzbau handbuch
 Reihe 1, Teil 1, Folge 8
 „Funktionsschichten und An-
 schlüsse für den Holzhausbau“
 [6]

4.2.2 _ Anforderungen und Nachweise

Um die Holzkonstruktionen dauerhaft vor Feuchteschäden aus den Einflüssen der Dampfdiffusion zu schützen, gilt:

- Es darf nur so viel Feuchtigkeit ins Bauteil eindringen, wie auch zuverlässig wieder ausdiffundieren kann.
- Die Menge an Feuchtigkeit durch Tauwasser muss so weit begrenzt werden, dass die Dämmfähigkeit und die Dauerhaftigkeit der Konstruktion nicht beeinträchtigt werden.
- Es soll so diffusionsbremsend wie nötig, jedoch zur Erhöhung der Austrocknungsfähigkeit so diffusionsoffen wie möglich konstruiert werden.

Darüber hinaus soll die Schichtenanordnung das Austrocknen des Bauteils nach unplanmäßiger Feuchteeinwirkung ermöglichen.

Der klimabedingte Feuchteschutz für den Nutzungszustand von Baukonstruktionen ist in DIN 4108-3 geregelt. In der Norm werden Rechenverfahren und Maßnahmen zur Begrenzung von Tauwasseranfall auf Bauteiloberflächen sowie im Bauteilinneren beschrieben. Es werden außerdem die Voraussetzungen für Bauteile benannt, um auf einen rechnerischen Tauwassernachweis verzichten zu können. Diese sind für Holzkonstruktionen teilweise kritisch zu betrachten, da die pauschalen Regelungen u.a. die Erkenntnis der positiven Auswirkung einer zur Raumseite hin begrenzt diffusionsfähigen Schicht nicht berücksichtigen.

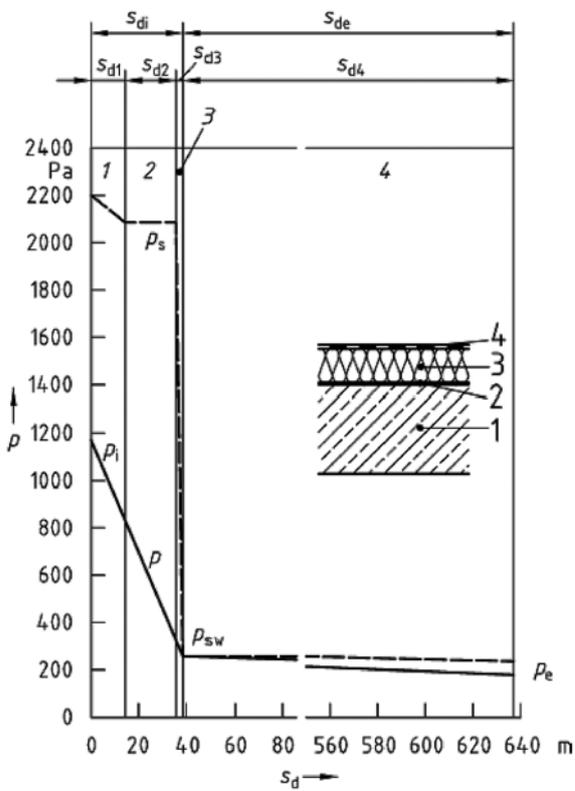
Rechnerischer Tauwassernachweis nach DIN 4108-3

Bei dem in DIN 4108-3 enthaltenen Berechnungsverfahren nach Glaser wird im ersten Schritt ermittelt, ob und an welcher Bauteilschicht Tauwasser in der Konstruktion ausfällt und inwieweit die errechnete Tauwassermenge (m_{WT}) zulässig ist, siehe Tabelle 4.3. In einem zweiten Schritt wird die Verdunstungsmenge (m_{VV}) berechnet und anhand der Tauwasserbilanz überprüft, ob das eingebrachte Tauwasser in der Verdunstungsperiode wieder vollständig austrocknen kann. Die Dampfdiffusionsberechnungen erfolgen unter definierten konstanten Klimarandbedingungen jeweils für eine Tauperiode (Winter) und eine Verdunstungsperiode (Sommer).

Von der Möglichkeit, bei Dächern auf der Außenseite eine erhöhte Oberflächentemperatur von 20°C in der Verdunstungsperiode anzusetzen, sollte nur dann Gebrauch gemacht werden, wenn eine ausreichende Erwärmung der Dachfläche durch Besonnung möglich ist. Zu beachten ist außerdem, dass die nächtliche Auskühlung bei großen Dachflächen mit einer Attika als Dachbegrenzung durch die Bildung eines Kaltluftsees verstärkt wird [5]. Begrünte Dachaufbauten unbelüfteter Dächer können mit dem Rechenverfahren nach DIN 4108-3 nicht nachgewiesen werden (siehe Kapitel 6).

Unter Beachtung der genannten Randbedingungen ist mit dem Glaser-Verfahren nach DIN 4108 eine Beurteilung von Flachdächern zwar meist auf der sicheren Seite liegend möglich. Das Verfahren ist aber nicht mehr als ein „Prüfverfahren“, da hiermit keine Aussagen über die Feuchtezustände in den einzelnen Materialschichten erfolgen und somit keine Einschätzung hinsichtlich der ggf. erforderlichen Holzschutzmaßnahmen vorgenommen werden können.

Abb. 4.3:
 Diffusionsdiagramm für ein Flachdach in der Tauperiode, hier aus DIN 4108-3



Das Glaser-Verfahren ist zur Abbildung realistischer Feuchtezustände ungeeignet, da es folgende Aspekte nicht berücksichtigt:

- instationäre (veränderliche) Klimarandbedingungen
- Einflüsse aus Strahlungswärme (kurzwellige Absorption der Sonneneinstrahlung und langwellige Abstrahlung auf der Dachoberseite)
- erhöhte Feuchtelasten, z.B. durch Baufeuchte oder besondere Klimabedingungen im Raum
- feuchtevariable Materialkennwerte, z.B. für den Diffusionswiderstand und die Wärmeleitfähigkeit
- Feuchtespeicherung und -transport durch Sorption und Kapillarleitung sowie mehrdimensionaler Feuchtetransport in den Bauteilen

Neuere dynamische (instationäre) Berechnungsmethoden nach DIN EN 15 026 sind leistungsfähiger, mit ihnen lassen sich die Einflüsse der Gebäudenutzung, der Materialeigenschaften und der Klimabedingungen rechnerisch abbilden (siehe Kapitel 6.5).

Tabelle 4.3
 Maximal zulässige Tauwassermengen nach DIN 4108-3

Schicht an der Tauwasser ausfällt	Tauwasserbegrenzung ¹⁾
kapillarnicht wasseraufnahmefähige Schicht, z.B. Unterspannbahn	$m_{WT} \leq 500 \text{ g/m}^2$
Vollholzbauteile (z.B. Vollholzschalung, $d = 24 \text{ mm}$)	$\max \Delta u_m = 5\%$ (504 g/m^2)
Holzwerkstoffe (z.B. Dachschalung OSB, $d = 22 \text{ mm}$)	$\max \Delta u_m = 3\%$ (396 g/m^2)

¹⁾ $\max \Delta u_m$ benennt die zulässige Erhöhung der Holzfeuchte

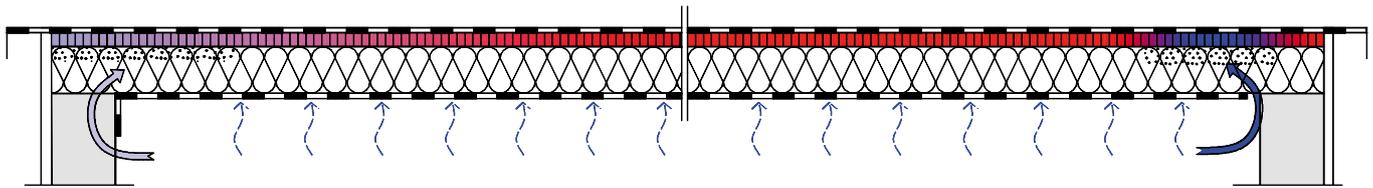


Abb. 4.4:
Ursachen für Feuchteintrag in die Dachkonstruktion, links Flankendiffusion, rechts Konvektion durch undichten Bauteilanschluss

Bauteile ohne rechnerischen Tauwassernachweis

Auf einen rechnerischen Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 kann unter den in Tabelle 4.4 benannten Randbedingungen verzichtet werden. Die gemäß DIN 4108 benannten $s_{d,i}$ -Werte der inneren Bauteilschichten müssen hierbei jedoch differenziert betrachtet werden: Wird auf der Raumseite eine Dampfsperre ($s_{d,i} \geq 100$ m) eingebaut, reduziert sich zwar der rechnerische Tauwasseranfall auf ein Minimum, gleichzeitig entsteht jedoch das Risiko, dass unplanmäßig in die Konstruktion eingebrachte Feuchtigkeit nicht in ausreichendem Maß austrocknen kann und es dadurch zu Feuchteschäden in der Holzkonstruk-

tion kommt. Ursache dafür können Feuchteinwirkungen während der Bauphase und Feuchtigkeitseintrag durch Dampftransportvorgänge über Randbereiche sein, z.B. Flankenkonvektion oder -diffusion im Anschlussbereich von Wänden sein (siehe Abb. 4.4).

Mit dem Einbau zu diffusionshemmender bzw. diffusionsdichter Luftdichtheitsebenen ($s_d > 20$ m) erzielt man bei Konstruktionen mit Dämmung in der Tragebene in den meisten Fällen keine erhöhte Sicherheit, sondern erhöht das Bauschadensrisiko. Deshalb zählt die Anwendung von Dampfsperren insbesondere in nicht belüfteten Flachdachkonstruktionen nicht mehr zum Stand der Technik.

Tabelle 4.4
Dachkonstruktionen ohne rechnerischen Tauwassernachweis in Anlehnung an DIN 4108-3

Konstruktion	Anforderung an den s_d -Wert	
	innen ($s_{d,i}$)	außen ($s_{d,e}$)
nicht belüftete Dächer mit unterlüfteter Dachhaut (DIN 4108-3, Tab. 1) Zuordnung der Werte der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke der außen- und raumseitig zur Wärmedämmung liegenden Schichten	$s_{d,i} \geq 1,0$ m $s_{d,i} \geq 2,0$ m $s_{d,i} \geq 6 \cdot s_{d,e}$	$s_{d,e} \leq 0,1$ m $s_{d,e} \leq 0,3$ m $s_{d,e} > 0,3$ m
nicht belüftete Dächer mit nicht belüfteter Dachhaut (DIN 4108-3, Abs. 4.3.3.2 b) unabhängig vom s_d -Wert der äußeren Schichten	$s_{d,i} \geq 100$ m (nicht empfohlen) ¹⁾	keine Anforderung
nicht belüftete Flachdächer mit Dachabdichtung und belüftete Flachdächer mit Dachneigung $< 5^\circ$ (DIN 4108-3, Abs. 4.3.3.3 a) Wärmedurchlasswiderstand R der Bauteilschichten unterhalb der diffusionshemmenden Schicht max. 20% von R_{ges} ; bei belüfteten Konstruktionen fachgerechte Belüftung (siehe Tabelle 5.1)	$s_{d,i} \geq 100$ m (nicht empfohlen) ¹⁾	keine Anforderung ²⁾
Belüftete Dächer mit Dachneigung $\geq 5^\circ$ (DIN 4108-3, Abs. 4.3.3.3 b) Höhe des freien Belüftungsquerschnitts über der Wärmedämmung mind. 20 mm; freier Lüftungsquerschnitt an den Traufen bzw. am Pultdachabschluss mind. 2‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche, mind. jedoch 200 cm ² /m (bei Satteldächern besondere Regelungen)	$s_{d,i} \geq 2$ m	keine Anforderung ²⁾

¹⁾ Von der Verwendung wird aufgrund des hohen Schadensrisikos grundsätzlich abgeraten. Bei beidseitig diffusionshemmender Ausführung kann erhöhte Baufeuchte oder unplanmäßig eingebrachte Feuchte nur schlecht oder gar nicht austrocknen
²⁾ Für belüftete Konstruktionen werden die größeren Belüftungshöhen aus den Klempnerfachregeln empfohlen (siehe Kapitel 5)

4.3 _ Holzschutz

Tragende Holzkonstruktionen werden hinsichtlich ihrer Beanspruchung gemäß DIN 68 800-3 in Gefährdungsklassen (zukünftig Gebrauchsklassen) eingestuft. Daraus ergeben sich Anforderungen an die Konstruktion, an die Dauerhaftigkeit der Holzart und ggf. an vorbeugende chemische Schutzmaßnahmen (siehe Tabelle 4.5). In Tabelle 4.6 wird eine Einstufung der tragenden bzw. aussteifenden Dachschalungen und aussteifende Unterdeckungen in Nutzungsklassen vorgenommen. Besonders für Holzwerkstoffe ist die korrekte Einstufung entscheidend, da bei übermäßiger

Feuchte primär Festigkeitsverlust und irreversible Verformungen drohen, zweitrangig die Zerstörung durch einen Pilzbefall. Gegenüber DIN 68 800-2 sind in dieser Tabelle die erforderlichen Nutzungsklassen nach DIN 1052 benannt, und es wurde eine Erweiterung um die Einstufung nicht belüfteter Konstruktionen mit diffusionsfähiger Luftdichtheitsebene vorgenommen. Dadurch wird die grundsätzliche Forderung nach einer Austrocknungsmöglichkeit für die Zuordnung der Tragkonstruktion in GK 0 erfüllt (DIN 68 800-2, Abs. 7.2). Die Ergänzungen stellen eine Empfehlung für die Neufassung der DIN 68 800 dar.

Tabelle 4.5

Für Flachdachkonstruktionen maßgebende Gefährdungsklassen (GK)¹⁾ nach DIN 68 800-3

GK ¹⁾	Definition	Zuordnung zur Einbausituation	Anforderung an das Holzschutzmittel ²⁾	Alternativ: erforderliche Holzart nach DIN EN 350-2
GK 0	innen verbautes Holz, ständig trocken ($u_m \leq 20\%$)	Holzbauteil allseitig geschützt und dauerhaft trocken; z.B. raumseitig sichtbare Tragkonstruktion	–	keine Einschränkung
GK 1	wie GK 0, jedoch nicht insektensicher	Holzbauteil dauerhaft trocken, Insektenzugang möglich und Bauteil nicht kontrollierbar; z.B. belüftete Tragkonstruktion	lv	Farbkernhölzer mit Splintholzanteil kleiner 10 %: Kernholz der Kiefer, Lärche, Douglasie
GK 2	Holz, das weder dem Erdkontakt noch direkter Witterung ausgesetzt ist, vorübergehende Befeuchtung möglich	Holzbauteile bei relativer Luftfeuchte über 85% ³⁾ oder gleichwertig beansprucht; Außenbauteile ohne unmittelbare Wetterbeanspruchung, z.B. Tragkonstruktionen im Dachüberstandsbereich (nicht oder schwer kontrollierbar)	lv, P	Holzarten der Dauerhaftigkeitsklasse 1, 2, 3: Lärche, Douglasie, Yellow Cedar als splintfreies Kernholz

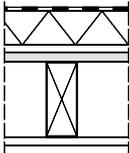
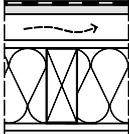
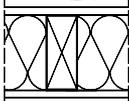
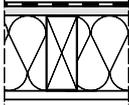
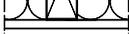
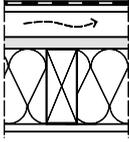
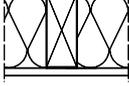
¹⁾ zukünftige Bezeichnung: Gebrauchsklasse; hier ohne GK 3 und GK 4 aufgeführt

²⁾ bauaufsichtlich zugelassenes Holzschutzmittel, aufgeführt im Holzschutzmittelverzeichnis; Prüfprädikate:

lv = Insekten vorbeugend
 P = pilzwidrig

³⁾ nach DIN 68 800-3 (Ausgabe 1990) noch 70%, zukünftig erhöht

Tabelle 4.6
 Anforderungen an tragende und aussteifende Dachschalungen¹⁾

Tragende oder aussteifende Dachschalung aus Holz und Holzwerkstoffen	Zuordnung Nutzungsklasse
<p>1. Dachschalung, die mit der Raumluft in Verbindung steht</p> <p>1.1 mit aufliegender Wärmedämmschicht (Aufdachdämmung), keine dampfsperrenden Schichten (z.B. Folien) unterhalb der Beplankung, Wärmeschutz überwiegend oberhalb der Beplankung (Aufdachdämmung)</p> <p>1.2 ohne aufliegende Wärmedämmschicht (unbeheizte Halle, Dachüberstand) NKL 3</p>	<p>NKL 1</p> 
<p>2. Unterlüftete Dachschalung mit aufliegender Dachdeckung oder Dachabdichtung²⁾</p> <p>2.1 geneigtes Dach (DN > 10°) mit Dachdeckung</p> <p>2.2 Flachdach mit Dachabdichtung (unterlüftetes Kaltdach)</p> <p>2.3 wie 2.2, zusätzlich mit aufliegenden Schutz- und Nutzschichten (Belag, Bekiesung oder Begrünung)</p>	<p>NKL 2</p>  <p>NKL 2</p>  <p>NKL 3</p> 
<p>3. Unbelüftete Dachschalung mit aufliegender Dachdeckung oder Dachabdichtung (ohne aufliegende Schutz- oder Nutzschicht)</p> <p>3.1 Wärmeschutz überwiegend unterhalb der Beplankung, Ausführung mit raumseitig angeordneter Dampfsperre³⁾</p> <p>3.2 wie 3.1, jedoch zur Raumseite hin diffusionsfähige Ausführung mit Tauwasserbegrenzung nach DIN 4108-3 und Nachweis einer Verdunstungsreserve von $\geq 250 \text{ g/m}^2$ durch hygrothermische Berechnung</p>	<p>NKL 3</p>  <p>NKL 2</p> 
<p>4. Dachschalung mit darüberliegender belüfteter Dachhaut</p> <p>4.1 belüfteter Hohlraum oberhalb der Unterdeckung, diffusionshemmende Ausführung der Beplankung und der oberseitigen Abdeckung³⁾</p> <p>4.2 wie 4.1, jedoch oberseitige diffusionsoffene Beplankung einschließlich regendicht ausgeführter Feuchteschutzbahn ($s_{d,e} \leq 0,3 \text{ m}$)</p>	<p>NKL 3</p>  <p>NKL 2</p> 

¹⁾ modifizierte Tabelle in Anlehnung an Tab. 3 aus DIN 68 800-2:1996-05
²⁾ fachgerechte Belüftung nach Klempnerfachregeln
³⁾ Von solchen Konstruktionen wird wegen der Möglichkeit ungewollt auftretender Feuchte grundsätzlich abgeraten

4.4 _ Schallschutz

Mit Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise lassen sich gute Schalldämmeigenschaften zum Schutz der Nutzer gegen Außenlärm, aber auch zum Schutz der Umwelt gegen Schallemissionen aus dem Gebäude erzielen. Als Angabe für die Qualität der Luftschalldämmung gilt das Schalldämm-Maß $R_{w,R}$, welches bei Flachdächern in Holzbauweise über 50 dB betragen kann. Konkrete Anforderungen werden an Außenbauteile in Bereichen höherer Lärmpegelbereiche und bei erhöhten Schallimmissionen gestellt.

Da Schallnebenwege für die Angabe des Schalldämm-Maßes bei Außenbauteilen im Regelfall vernachlässigbar sind, entspricht die Angabe des Rechenwerts $R_{w,R}$ in den meisten Fällen dem bewerteten Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ wobei Einbauteile in die Dachkonstruktion (z.B. Oberlichter) besonderer Berücksichtigung bedürfen. In Tabelle 4.7 sind einige bewertete Schalldämm-Maße von Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise in Abhängigkeit ihres Bauteilaufbaus dargestellt. Dabei sind die nachfolgend aufgeführten Einflussparameter für das Schalldämm-Maß relevant (siehe hh 3/3/4).

Raumseitige Bekleidung: Vorteilhaft sind eine möglichst große flächenbezogene Masse, eine geringe Biegesteifigkeit der Beplankung und eine entkoppelte Befestigung an der Tragkonstruktion. Mit Gipswerkstoffen lassen sich gegenüber Nut-und-Feder-Schalungen um 5 bis 7 dB bessere Schalldämm-Maße erreichen. Bei Verwendung von Federschienens zur Entkopplung der Bekleidung erfolgt nochmals eine Verbesserung von mindestens 2 dB.

Dämmung: Eine gute schallabsorbierende Wirkung wird durch die Verwendung von Faserdämmstoffen erreicht, wobei eine Masseerhöhung durch die Verwendung von Zellulosefaser- oder Holzweichfaserdämmstoffen vorteilhaft ist. Aufgrund ihrer hohen Steifigkeit und der Schallabsorption sind Aufsparrendämmungen aus PUR/PIR-Hartschaum schalltechnisch weniger wirksam. Es wird empfohlen, diese Dämmstoffe mit einer Kaschierung aus Mineralfaser- oder Holzweichfaserplatten zu versehen oder zusätzliche Beschwerungen vorzusehen.

Dachschalung: Wie bei raumseitigen Bekleidungen sind auch hier Masse und Biegesteifigkeit wesentliche Einflussfaktoren. Zur Verbesserung der Schalldämmung können außerdem zusätzliche Beschwerungen in Form von Schallschutzmatten (z.B. schwere, lose verlegte Bitumen- oder Bautenschutzbahnen) oder kleinteilige Plattenbescherungen (z.B. aus zementgebundenen Spanplatten oder trockenen Betonplatten zwischen Schalung und Dachdeckung) aufgebracht werden.

Abdichtung / Dachdeckung / Beschwerung:

Leichte Dachdeckungen verhalten sich insgesamt ungünstiger als schwere, mehrlagig aufgebrachte Abdichtungsbahnen. Zusätzlich ist bei Blechdächern die Geräuschentwicklung bei Starkregen zu berücksichtigen. Deshalb sollten planmäßig Zusatzmaßnahmen wie die Verwendung von strukturierten Trennlagen eingesetzt werden, wodurch eine Reduzierung der Geräuschentwicklung um 6 bis 11 dB (je nach Hersteller) erfolgen kann. Bei Dächern mit Abdichtung kann durch Kiesauflagen oder Dachbegrünungen das Schalldämm-Maß weiter deutlich verbessert werden. Bei entsprechenden Schutzschichten ist der Einfluss auf das Feuchteverhalten zu berücksichtigen (siehe Kapitel 6.3).

> hh 3/3/4
 INFORMATIONSDIENST HOLZ
 holzbau handbuch
 Reihe 3, Teil 3, Folge 4,
 „Schallschutz Wände und Dächer“
 [7]

Raumakustik: Tragsysteme mit raumseitig geschlitzter oder gelochter Oberfläche und integriertem Absorber ermöglichen neben einer guten Schalldämmung auch gute schallabsorbierende Eigenschaften. Damit können zusätzlich Anforderungen an die Raumakustik Berücksichtigung finden, wie sie z.B. im Schulbau und im Verwaltungsbau von besonderer Bedeutung sind.

rende Eigenschaften. Damit können zusätzlich Anforderungen an die Raumakustik Berücksichtigung finden, wie sie z.B. im Schulbau und im Verwaltungsbau von besonderer Bedeutung sind.

Abb. 4.5:
Gründachaufbau auf tragendem Akustik-Dachelement aus Brettsperrholz mit integriertem Absorber und Schallabsorptionsdiagramm

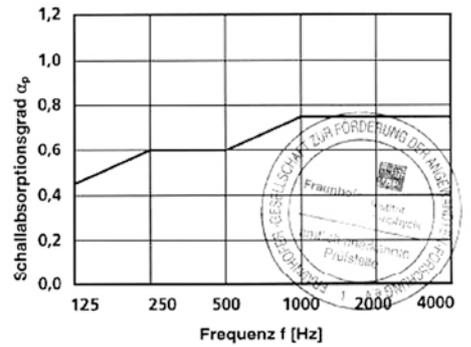
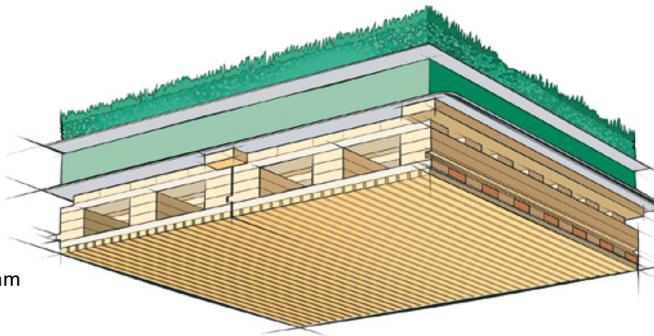


Abb. 4.6:
Tragende Akustikdecke mit Elementuntersicht in astreinem Weißtannenholz (Kinderhaus Ludwigsburg, Dip.-Ing. Freier Architekt BDA Kai Dongus, Ludwigsburg)

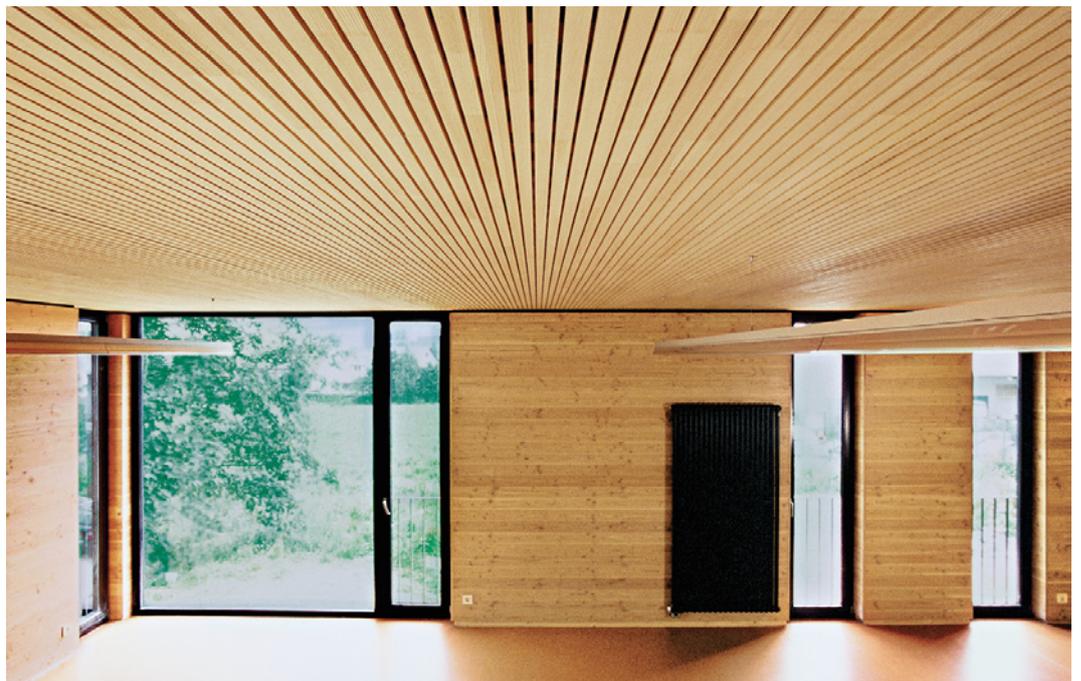
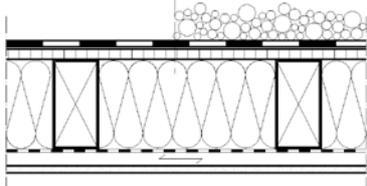


Tabelle 4.7

Schalldämm-Maße von Flachdachkonstruktionen nach DIN 4109 Bbl. 1 (ergänzt)

Zeile	$R_{w,R}$	Anforderung an die Ausführung	
1	35 dB	einschaliger Dachaufbau, mineralische Faserdämmung mit Strömungswiderstand $\Xi \geq 5 \text{ kN s/m}^4$ und $d_D \geq 60 \text{ mm}$	 <p> d_1 = Schalenabstand $\geq 160 \text{ mm}$ d_2 = Dachschalung d_3 = raumseitige Bekleidung $\geq 12 \text{ mm}$ d_D = Dämmung $\geq 40 \text{ mm}$ d_K = Kiesauflage¹⁾ </p>
2	40 dB	wie Zeile 1, Kiesauflage mit $d_K \geq 30 \text{ mm}$ ¹⁾	
3	45 dB	wie Zeile 2, jedoch Achsabstand der Rippen $\geq 600 \text{ mm}$ und mechanische Verbindungsmittel zwischen Rippen und Beplankung	
4	50 dB	wie Zeile 3, zusätzlich 2. Innenbeplankung aus Holzwerkstoffplatten, Gipskartonplatten, $m' \geq 8 \text{ kg/m}^2$	
5	+2 dB	Verwendung von Federschiene statt Lattung für raumseitige Beplankung	

¹⁾ Bei entsprechenden Auflagen ist der Einfluss auf das Feuchteverhalten zu berücksichtigen (siehe Kapitel 6.3)



Abb. 4.7:
 Flachdachkonstruktion einer Produktionshalle (Firma Nirosoan Multifit in Schmiedefeld, Architekturbüro Dipl.-Ing. Michael Juhr, Wuppertal)

4.5 _ Brandschutz

Die Mindestanforderungen an den baulichen Brandschutz werden durch die Landesbauordnungen (in Anlehnung an die Musterbauordnung 2002) sowie durch ergänzende Richtlinien wie z.B. die Industriebauordnung (IndBauRL) oder die Versammlungsstättenverordnung (VStättV) durch die Bundesländer vorgegeben. Bei Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise ist zu berücksichtigen, dass es sich um Konstruktionen aus brennbaren Baustoffen handelt, die je nach Anforderung mit nicht brennbaren oder

schwerentflammenden Baustoffen bekleidet werden können.

Anforderungen gemäß Musterbauordnung (MBO 2002)

Gemäß Musterbauordnung bestehen an die Dachkonstruktion für Gebäude üblicher Art und Nutzung keine Anforderungen hinsichtlich des Feuerwiderstands. Ausnahme bilden Dächer von aneinandergelagerten Gebäuden, bei denen zur Verhinderung eines Brandüberschlags die raumabschließenden Bauteile für eine Brand-

Tabelle 4.8

Anforderungen an Dachaufbauten F30-B nach DIN 4102-4 (Auszug)¹⁾

Konstruktionsschema	Tabelle in DIN 4102-4	Untere Beplankung (Dicke d und Spannweite l)		Dämmschicht Dicke D	
		Baustoff	d _{min} [mm]	l _{max} [mm]	Rohdichte ρ
Konstruktionen mit unterseitiger Bekleidung					
	65	HWS ²⁾	19	625	Dämmung brandschutz-technisch nicht notwendig (Verwendung eines mind. B2-Baustoffs)
		GKF ³⁾	12,5	400	
	66	HWS + GKF (raumseitig)	16 + 12,5 oder 13 + 15	625	Mineralfaser, D ≥ 80 mm ρ ≥ 30 kg/m ³
	67	Drahtputzdecke	15	1.000	
69	HWS	25	1.250		
		Bohlen	25	1.250	
Konstruktionen mit sichtbarer Tragkonstruktion⁴⁾					
	70/71	Bohlen	50	1.250	Ausführung ohne Dämmung
		HWS ⁵⁾	40	1.250	
		HWS + Bohlen ⁶⁾	30 + 16	1.250	
	71	Bohlen	28	1.250	Mineralfaser, D ≥ 80 mm ρ ≥ 30 kg/m ³
		HWS	28	1.250	
		HWS + Bohlen ⁶⁾	25 + 16	1.250	

¹⁾ Es sind die detaillierten Angaben in DIN 4102-4 und DIN 4102-4/A1 zu beachten.

²⁾ HWS = Holzwerkstoff

³⁾ GKF = Gipskarton-Feuerschutzplatte

⁴⁾ Nachweis des Feuerwiderstandes der Tragkonstruktion nach DIN 4102-4/A1 bzw. Teil 22

⁵⁾ Fugenabdeckung, Anforderungen bei HWS: d = 30 mm

⁶⁾ Bohlen als Schalung raumseitig angeordnet

beanspruchung von innen nach außen einschließlich der sie tragenden und aussteifenden Bauteile feuerhemmend (F30-B) ausgebildet werden müssen. Hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer bewertete Konstruktionen sind in Tabelle 4.8 und im hh 3/4/2 enthalten, alternativ kann der Feuerwiderstand durch allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse belegt und zukünftig nach DIN EN 1995-1-2 berechnet werden.

Anforderungen an harte Bedachungen

Im Sinne der Anforderung der MBO müssen Bedachungen „ausreichend beständig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme“ bei Brandanriff von außen sein, es muss eine sogenannte „harte Bedachung“ gemäß DIN 4102-7 ausgeführt werden. Zu unterscheiden sind hiernach klassi-

fizierte Bedachungen nach DIN 4102-4 und Bedachungen, deren Eignung über eine Bauteilprüfung nach DIN 4102-7 bestätigt wurde (siehe Tabelle 4.9). Die Anwendung von Belägen aus Holzrosten bei Dachterrassen von aneinander gereihten Gebäuden ist im Einzelfall hinsichtlich des Risikos einer Brandweiterleitung zu überprüfen.

Anforderungen an Bedachungen nach Muster-Industriebauanleitung [M IndBauRL]

An Produktions- und Lagergebäude für Industrie- und Gewerbebauten werden besondere Mindestanforderungen an den vorbeugenden baulichen Brandschutz gestellt. Neben Anforderungen an den Feuerwiderstand und die Brennbarkeit der Baustoffe werden die Größe von Brandabschnitten bzw. Brandbekämpfungsw-

> hh 3/4/2
 INFORMATIONSDIENST HOLZ
 holzbau handbuch
 Reihe 3, Teil 4, Folge 2
 „Feuerhemmende Holzbauteile F30-B“ [8]

Tabelle 4.9

Anforderungen an den Dachaufbau für harte Bedachungen

Anforderungen unabhängig von der Konstruktion bzw. Abdichtung	
Klassifizierung nach DIN 4102-4	<ul style="list-style-type: none"> – Auflage aus mind. 50 mm dicker Kiesschüttung (16/32 mm)¹⁾ – Auflage aus mind. 40 mm dicken mineralischen Platten (Betonwerkstein)¹⁾ – Metallblechdeckung aus mind. 0,5 mm dickem Blech
Anforderungen an Abdichtungen ohne zusätzliche Auflagen auf der Dachfläche	
Bitumendachbahnen nach Norm (Klassifizierung nach DIN 4102-4)	<ul style="list-style-type: none"> – 2-lagige Bitumendachbahnen bzw. Dachabdichtungsbahnen oder Glasvlies-bitumendachbahnen auf B2-Dämmstoffen (auf PS-Hartschaumdämmung mind. eine Bahn mit Trägereinlage aus Glasvlies oder Glasgewebe) – Für vom Hersteller zugelassene 1-lagige Bitumendachbahnen sowie für Dachbahnen mit PV-Einlagen ohne zusätzliche Glasvlieseinlagen ist ein zusätzlicher Nachweis nach DIN 4102-7 erforderlich
Kunststoffdachbahnen ²⁾ (Eignung mit allgemeinem bauaufsichtlichem Prüfzeugnis nach DIN 4102-7 nachgewiesen)	<ul style="list-style-type: none"> – Glasvlieskaschierung oder zusätzlich verlegtes Glasvlies (Rohglasvlies) als mechanischer Schutz gegen Durchschmelzen (entfällt ggf. bei mineralischen Dämmstoffen) – Einhaltung von Mindeststärken bei der Abdichtung und ggf. der Dämmung (je nach Hersteller)

¹⁾ Bei entsprechenden Auflagen ist der Einfluss auf das Feuchteverhalten zur berücksichtigen (siehe Kapitel 6.3)
²⁾ sowie nicht genormte Bitumendachbahnen

> hh 3/4/4

INFORMATIONSDIENST HOLZ
 holzbau handbuch
 Reihe 3, Teil 4, Folge 4
 „Brandschutz im Hallenbau“
 [9]

>

INFORMATIONSDIENST HOLZ
 12/2005
 „Brandschutzkonzepte im
 mehrgeschossigen Holzbau
 und bei Aufstockungen“ [10]

abschnitten sowie die Anordnung, Lage und Länge von Rettungswegen bestimmt. Danach sind z.B. erdgeschossige Hallentragwerke (Primärkonstruktion) in Holzbauweise bis 10.000 m² Grundfläche für Sicherheitsklasse K4 unter Einhaltung einer Feuerwiderstandsdauer von 30 Minuten im Regelfall ohne besondere Brandschutzkonzepte möglich (siehe hh 3/4/4).

Einschränkungen bestehen hinsichtlich der Bedachung, wobei mit dem Begriff Bedachung in [M IndBauRL] die Ausführung der die Gebäudehülle nach oben abschließenden Dachfläche (Sekundärkonstruktion) und nicht wie bei der „harten Bedachung“ die Dachdeckung gemeint ist. Brand- bzw. Brandbekämpfungsabschnitte mit einer Dachfläche von mehr als 2.500 m² müssen nach M IndBauRL so ausgebildet werden, dass eine Brandausbreitung über das Dach behindert wird. Bei größeren Brandabschnittsflächen muss eine Brandprüfung der Bedachung nach DIN 18 234-1 erfolgen, oder es müssen individuelle Lösungen über ein Brandschutzkonzept fest-

gelegt werden. Für erdgeschossige Lagerhallen mit einer Dachfläche von bis zu 3.000 m² kann ein solcher Nachweis entfallen, wenn nichtbrennbare Stoffe oder Waren gelagert werden, die nicht zur Brandausbreitung beitragen.

Anforderungen nach Muster-Versammlungsstättenverordnung [M VStättV]

Gemäß dieser Verordnung müssen Bedachungen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen, wodurch der Einsatz von Holzkonstruktionen in Versammlungsstätten erschwert wird. Diese Regelung findet nicht in allen Bundesländern uneingeschränkt Anwendung (Ausnahme Baden-Württemberg), und sie ist anhand einer jahrzehntelangen Baupraxis u.a. wegen fehlender Schadensereignisse nicht nachvollziehbar. Der Einsatz von Holz im Dachbereich bringt gegenüber anderen Baustoffen kein erhöhtes Risiko, zumal Konstruktionen verfügbar sind, die durch Kapselung der brennbaren Baustoffe über ein hohes Maß an Brandsicherheit verfügen (siehe IDH spezial 12/2005).

Abb. 4.8:

Bedachung im Bereich eines Brandabschnitts eines Geschosswohnungsbaus in Passivbauweise als Sonderlösung im Rahmen eines individuellen Brandschutzkonzepts für die Gebäudeklasse 5 (ohne Prüfzeugnis)

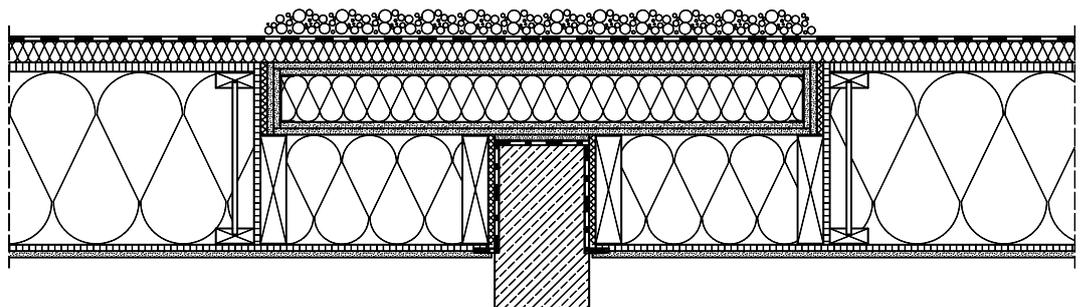


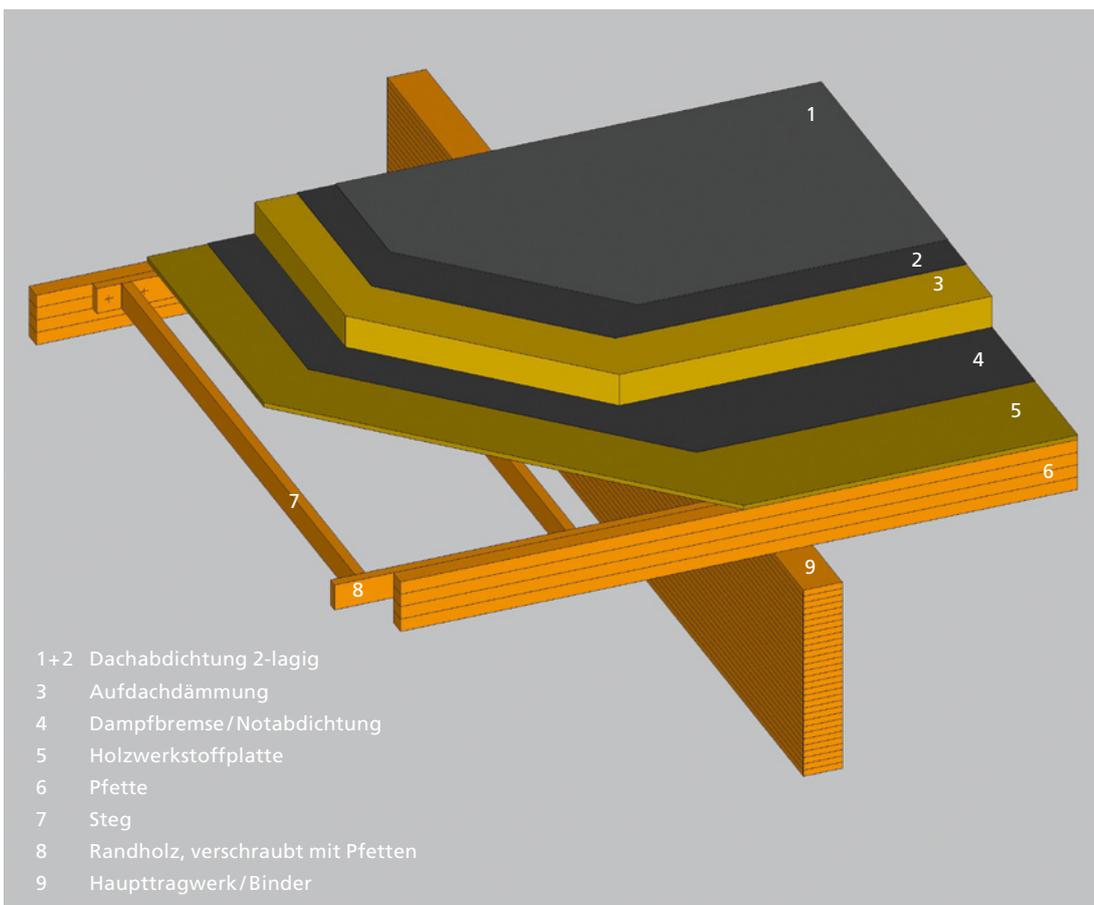
Abb. 4.9:
Montage Dachelement einer Industriehalle



Abb. 4.10:
Zwischenlagerung der Dachelemente



Abb. 4.11:
Prinzipskizze Dachelement
mit Aufdachdämmung



5 _ Belüftete Konstruktionen

5.1 _ Planungsgrundlagen

Die Frage, ob eine belüftete Konstruktion für eine vorliegende Bausituation erforderlich ist oder nicht, muss in einem frühen Planungsstadium beantwortet werden, da sie erheblichen Einfluss auf Gestaltung und Höhe des Dachquerschnitts sowie auf die Ausführung aller An- und Abschlüsse der Dachkonstruktion hat [11], [12].

In der Vergangenheit wurden Flachdächer in Holzbauweise meist mit einer Belüftung in der Dämmebene ausgeführt. Diese Aufbauten erfüllen wegen zu geringer Dämmdicke und aufgrund der mit Kaltluft hinterströmten Dämmungen nicht mehr die aktuellen Anforderungen an den Wärmeschutz. Zeitgemäße Konstruktionen verfügen über eine strömungsdichte Dämmebene, die Belüftung erfolgt unterhalb einer aufgeständerten Dachhaut (siehe Abb. 5.1). Sind Volldämmungen aufgrund der vorliegenden Konstruktionshöhe (z.B. bei Nagelplattenkonstruktionen) nicht möglich bzw. ist die Dämmschicht infolge

durchdringender Bauteile nicht vollflächig abzudecken, sollte der Belüftungsquerschnitt so groß bemessen sein, dass nur geringe Strömungsgeschwindigkeiten erzielt werden (siehe Abb. 5.2). Durch die Verwendung von Mineralfaserdämmstoffen mit hoher Rohdichte oder Zellulosedämmstoffen mit Verfestigung der Oberfläche durch Besprühung mit Wasser kann eine Durchströmung des Dämmstoffs weitestgehend verhindert werden.

5.2 _ Belüftungsregeln

Aufgrund des geringen oder nicht vorhandenen thermischen Auftriebs kommt bei belüfteten Flachdächern der richtigen Ausbildung der Belüftungsebene besondere Bedeutung zu. Maßgebende Kriterien sind:

- ausreichende Belüftungsquerschnittshöhe, abhängig von der Dachneigung (siehe Tabelle 5.1 und 5.2),
- bei ausnahmsweiser Belüftung oberhalb der Dämmebene (siehe Abb. 5.2) mindestens 80 mm Belüftungshöhe zur Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit,
- ungestörte Belüftungswege z.B. durch Einbauteile oder Konstruktionshölzer,
- möglichst gegenüberliegende Zu- und Abluftöffnungen in ausreichender Größe (siehe Tabelle 5.1 und 5.2),
- Herstellung eines thermischen Auftriebs durch Gefälleausbildung im Hohlraum vorteilhaft.

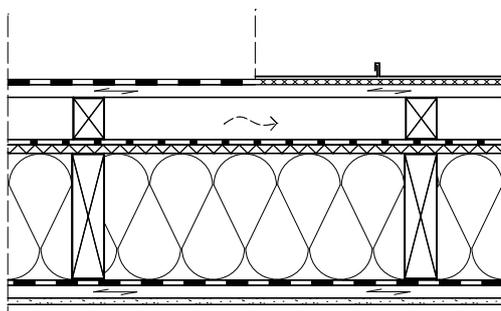


Abb. 5.1:
 Diffusionsoffenes Flachdach mit unterlüftetem Kaltdach (siehe Regeldetails 8.1.1 und 8.1.2)

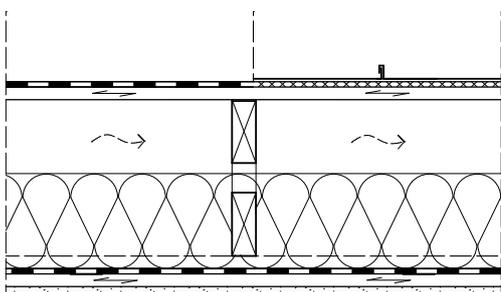


Abb. 5.2:
 Flachdach mit Belüftung in Ebene der Tragkonstruktion (siehe Regeldetail 8.1.3)

Aufgrund der Gefahr von **Sekundärtauwasser** bei nicht ausreichend belüfteten Lufträumen wird empfohlen, bei Dachneigungen kleiner 5° eine unbelüftete Konstruktion vorzuziehen oder es sind entsprechend große Duchschnittsöffnungen mit einer Höhe größer 1/50-tel der Belüftungslänge vorzusehen, mindestens jedoch 80 mm gemäß Klempnerfachregeln.

Abb. 5.3:

Mangelhafte Belüftung von flachen und flach geneigten Dächern (Prinzipischnitten)

- a) zu geringe Querschnittshöhe
- b) zu kleine Zu- und Abluftöffnungen
- c) fehlende gegenüberliegende Belüftungsöffnung

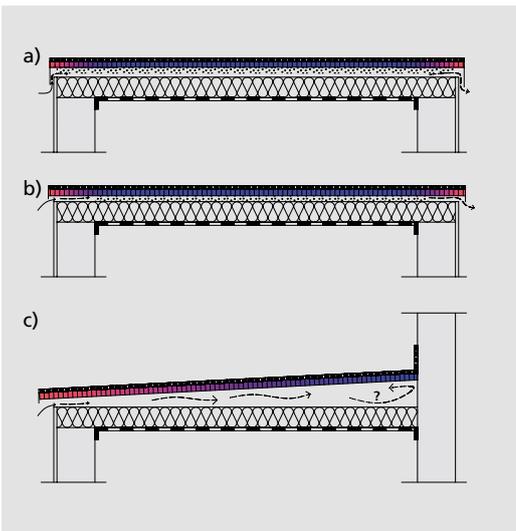
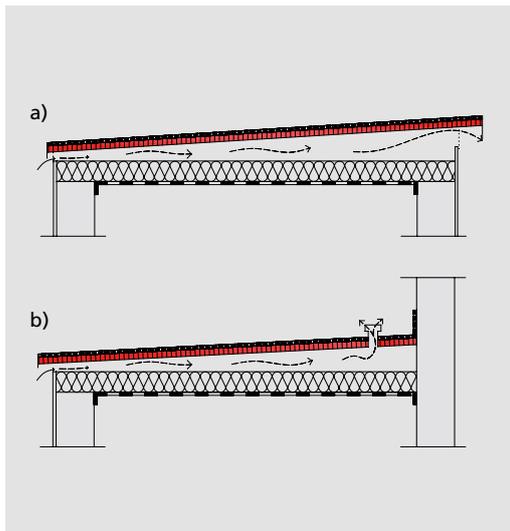


Abb. 5.4:

Prinzipdarstellung einer ordnungsgemäßen Belüftung einer Flachdachkonstruktion

- a) gegenüberliegende Lüftungsöffnungen
- b) Verwendung von Kaltdachlüftern bei fehlender Durchlüftungsmöglichkeit¹⁾



¹⁾ Hinweis: Kaltdachlüfter müssten im Zweifel in jedes Gefach eingebaut werden und erhöhen damit das Gefährdungspotenzial durch ihre Eindichtung und die Neigung zur Kondensatbildung (lokale Auskühlung). Alternativ kann ein hinterlüfteter Anschluss mit einer belüfteten Wandanschlusschiene ausgebildet werden

Angaben zu erforderlichen Belüftungsquerschnitten sind in den Fachregeln des Dachdecker- und des Klempnerhandwerks enthalten, wobei nur in Letzteren differenzierte Angaben in Abhängigkeit der Dachneigung vorliegen (siehe Tabelle 5.1 und 5.2). Bei großen Dachflächen mit langen Belüftungswegen kann die geforderte Größe der Zu- und Abluftöffnungen maßgebendes Kriterium für die Querschnittshöhe der Belüftungsebene sein. Bei deren Dimensionierung ist die Nettoquerschnittsfläche zu berücksichtigen, d.h. die tatsächliche Fläche, die dem Luftdurchgang zur Verfügung steht und welche im Regelfall deutlich weniger als 50% beträgt (siehe Abb. 5.5). Kaltdachlüfter können eine wirkungsvolle Querlüftung kaum ersetzen, da sie nur punktuell wirksam sind. Ihr Einsatz wird nur für den Ausnahmefall empfohlen, zumal sie eine zusätzliche Durchdringung der Dachhaut bedingen.

Können die maßgeblichen Belüftungskriterien, wie z.B. gegenüberliegende Belüftungsöffnungen oder Lüftungsöffnungen am Hochpunkt der Konstruktion, nicht realisiert werden, ist die Funktionssicherheit nicht gewährleistet. In diesen Fällen

sind unbelüftete Konstruktionen vorzuziehen, der Vorteil einer nach außen diffusionsoffenen Bauweise kann dann nicht genutzt werden.

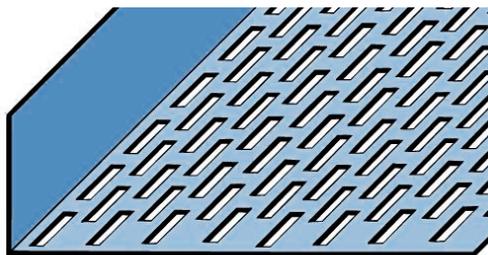


Abb. 5.5:
 Lüftungsgitter mit ca. 40% Lochanteil



Abb. 5.6:
 Kaltdachlüfter, Lüftungsquerschnitt 110 cm² bei DN 125

Tabelle 5.1
 Belüftungsregeln nach Klempnerfachregeln [KFR] bis 15 m Sparrenlänge

Dachneigung	Höhe Lüftungsquerschnitt im Dach	Größe Belüftungsspalt	
		netto	brutto ¹⁾
< 3°	h ≥ 150 mm	60 mm	150 mm
≥ 3° bis ≤ 15°	h ≥ 80 mm	40 mm	100 mm
> 15°	h ≥ 40 mm	30 mm	75 mm
≥ 3° bis ≤ 10° ²⁾	h ≥ 100 mm	60 mm	150 mm

¹⁾ Bruttoangabe bei 40% Lochanteil

²⁾ Querlüftung bei Traufe ohne Firstlüftung, Belüftung kritischer Bereiche

Tabelle 5.2
 Lüftungsquerschnitte nach [MB WS] und Mindestanforderung nach DIN 4108¹⁾

Sparrenlänge in m	Mindestlüftungsquerschnitte für Dachneigungen ≥ 5°			Dachfläche in cm ² /m
	Traufe und Pultabschluss Fläche in cm ² /m	Spaltbreite (netto) in mm ²⁾	First und Grat in cm ² /m ³⁾	
≥ 5 bis 10	200	24	≥ 50 - 100	200
12	240	29	120	200
14	280	33	140	200
16	320	38	160	200
18	360	43	180	200
20	400	48	200	200
Anforderung n. DIN 4108-3	≥ 2 ‰, mind. 200 cm ² /m		≥ 0,5 ‰, mind. 50 cm ² /m	200

¹⁾ Nach [MB WS] gültig für Konstruktionen mit belüfteter Wärmedämmung und s_d ≥ 2 m unterhalb der Belüftungsebene

²⁾ Der freie Luftspalt wird bezogen auf eine Einschränkung durch Sparren o.ä. von maximal 15%. Durch Lüftungsgitter wird der Luftspalt zusätzlich eingeengt und ist dementsprechend zu erhöhen. Die Löcher sollen über einen Durchmesser ≥ 5 mm verfügen

³⁾ Angabe bezieht sich auf die Gesamtfläche bei symmetrischen Dächern – bei unsymmetrischen Dächern kann der Mindestlüftungsquerschnitt aus 0,5‰ der vorhandenen Dachfläche ermittelt werden

5.3 _ Bewertung des Holzschutzes

Tragkonstruktion und Bepankung

Tragkonstruktionen diffusionsoffen ausgeführter Flachdächer mit unterlüfteter Dachhaut können in Anlehnung an die Vorgaben für geneigte, nicht belüftete Dächer nach DIN 68 800-2, Abs. 8.3 der Gefährdungsklasse 0 zugeordnet werden (vergleiche auch Tabelle 4.6). Voraussetzung für den Verzicht auf chemische Holzschutzmaßnahmen ist eine diffusionsoffene Ausführung der Unterdeckung (ohne genauen rechnerischen Nachweis $s_{d,e} \leq 0,3$ m einschließlich der Vordeckung) und die Anordnung einer luftdichten Innenschale mit einem $s_{d,i}$ -Wert von $s_{d,i} \geq 2$ m.

Dachschalung

Eine unterlüftete Dachschalung aus Vollholz kann analog zu geneigten Dächern ebenfalls der Gefährdungsklasse 0 zugeordnet werden, da bei fachgerechter Belüftung im Regelfall Holzfeuchten unterhalb 20 % sichergestellt sind und eine Gefährdung durch Insektenbefall nicht gegeben ist (siehe hh 3/5/1 und 3/5/2). Bei der Verwendung von Holzwerkstoffen sind Plattentypen auszuwählen, die mindestens für die Nutzungsklasse 2 zugelassen sind. Die Fachverbände des Klempner- und Zimmererhandwerks fordern bei Verwendung von OSB- und Spanplatten zudem Platten mit PMDI-Verklebung, da diese feuchteunempfindlicher sind. Ausnahmen bestehen bei Dächern mit aufliegenden Schutzschichten, die eine Erwärmung und damit das Rücktrocknen der Dachschalung begrenzen.

GK 0 nach DIN 68 800, wenn:

$s_{d,e} \leq 0,3$ m

$s_{d,i} \geq 2$ m

> hh 3/5/1 und hh 3/5/2

INFORMATIONSDIENST **HOLZ**
 holzbau handbuch

Reihe 3, Teil 5, Folge 1 und 2
 „Baulicher Holzschutz“ [1]



Abb. 5.7:
 Quigong-Haus,
 Mönchengladbach,
 (Architekt Wilfried Kaufmann,
 Schwalmtal)

6 _ Nicht belüftete Konstruktionen

6.1 _ Planungsgrundlagen

Nicht belüftete Konstruktionen sind belüfteten Bauteilen dann vorzuziehen, wenn der bautechnische Aufwand für eine fachgerechte Belüftung zu groß ist oder dieser z.B. im Bestand nicht realisierbar ist.

Das Flachdach mit Aufdachdämmung (siehe Abb. 6.1) stellt als unbelüftetes Bauteil die sicherste und robusteste Konstruktionsvariante dar, weil die Tragkonstruktion keinen erheblichen Klimaschwankungen ausgesetzt ist und ein Tauwasseranfall im Bereich der Tragkonstruktion und der tragenden Beplankung ausgeschlossen werden kann.

Aber auch unbelüftete Flachdächer mit Lage der Dämmung in der Tragebene (siehe Abb. 6.2) können heute durch die Verwendung technisch getrockneter Konstruktionshölzer und von Holzwerkstoffen in Verbindung mit leistungsfähigen Zubehörprodukten zum Erstellen von Luftdichtheitsebenen gegenüber geringen unplanmäßigen Feuchteeinwirkungen robust gestaltet werden. Voraussetzung hierfür ist, dass bei diffusionsdichter Dachabdichtung bzw. Dachdeckung ins Bauteil eingedrungene Feuchtigkeit wieder austrocknen kann. Deshalb werden die in der Vergangenheit häufig verwendeten **Dampfsperren** (z.B. $s_d = 100 \text{ m}$) auf der Raumseite durch die diffusionsfähigen **Dampfbremsen** ($s_d = 2 \text{ bis max. } 20 \text{ m}$) ersetzt. Sie lassen zwar im Winter eine größere Menge an Feuchtigkeit infolge Diffusion ins Bauteil hinein; diese kann aber durch **Umkehrdiffusion** infolge der Erwärmung der Dachfläche wieder nach innen ausdiffundieren (siehe Abb. 6.3). Ein besonders hohes Rücktrocknungspotenzial besteht bei Flachdachkonstruktionen mit dunklen Abdichtungsbahnen und bei selbstpatinierenden Metalldachkonstruktionen aufgrund der hohen Temperaturentwicklung auf der Dachfläche, abhängig vom Strahlungsabsorptionsgrad α .

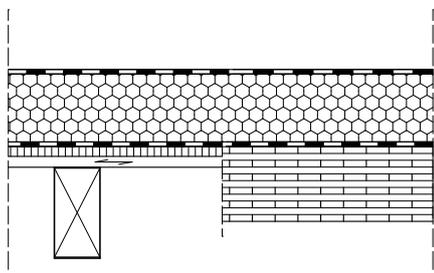


Abb. 6.1:
 Flachdächer mit Aufdachdämmung
 (siehe Regeldetails 8.2.4 und 8.2.5)

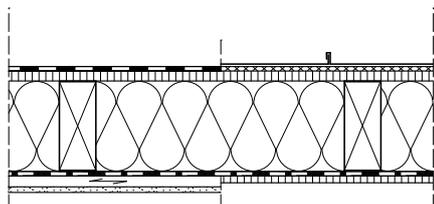
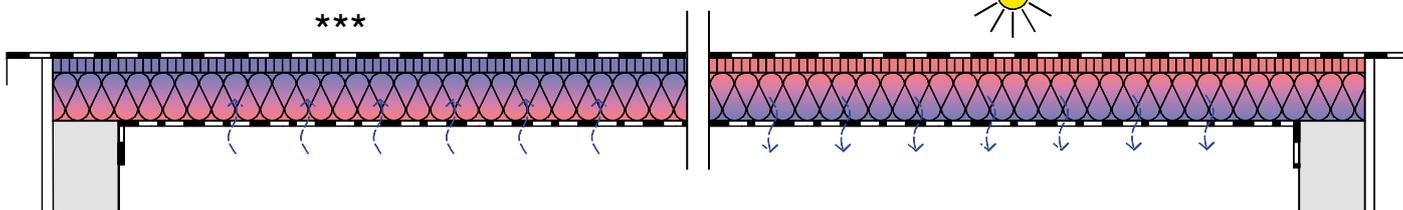


Abb. 6.2:
 Unbelüftetes Flachdach mit
 Dämmung in der Tragebene (siehe
 Regeldetails 8.2.1 bis 8.2.3)

Abb. 6.3:
 Wirkungsprinzip von Dampfbremsen in Flachdächern
 (im Winter Diffusion ins Bauteil; im Sommer Umkehr- bzw. Rückdiffusion)



6.2 _ Feuchtemanagement

Bei unbelüfteten Flachdachkonstruktionen kommt der Ausführung der raumseitigen dampfbremsenden Ebene eine besondere Bedeutung zu. Mit der Auswahl der richtigen Dampfbremse erfolgt eine Begrenzung der Dampfdiffusion ins Bauteil hinein auf das zulässige Maß gemäß DIN 4108-3 (siehe Tabelle 4.3). Erfahrungsgemäß genügen dazu s_d -Werte zwischen 2 und 5 m. Der geringe Sperrwert ermöglicht gleichzeitig ein großes Austrocknungspotenzial zur Raumseite hin, d.h., die Bilanz zwischen Tauwasser- und möglicher Verdunstungsmenge zeigt deutliche Vorteile zugunsten der Verdunstung. Erhöhte Baufeuchte oder durch kleine Undichtigkeiten über Konvektion eingedrungene Feuchtigkeit kann wieder austrocknen. Als Sicherheit zur Austrocknung konvektiv eingedrungener Feuchtigkeit empfiehlt das Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) eine Verdunstungsreserve von 250 g/m² in der Differenz aus Verdunstungsmenge (m_{WV}) und Tauwassermenge (m_{WT}) vorzu-

halten [14]. Mit Hilfe moderner, dynamischer Rechenverfahren kann das Feuchteverhalten einer solchen Konstruktion sehr genau eingeschätzt bzw. geplant werden.

Durch die Verwendung feuchtevariabler Dampfbremsen kann das Austrocknungsvermögen im Sommer noch vergrößert werden, da bei im Dachbauteil vorhandener Feuchtigkeit im Zuge

Feuchtesichere Bauteile sind so diffusionsdicht wie nötig und so diffusionsoffen wie möglich aufgebaut.

Verdunstungsreserve im Bauteil nach Institut für Bauphysik [14]:
 $m_{WV} - m_{WT} \geq 250 \text{ g/m}^2$

Feuchtevariable Dampfbremsen

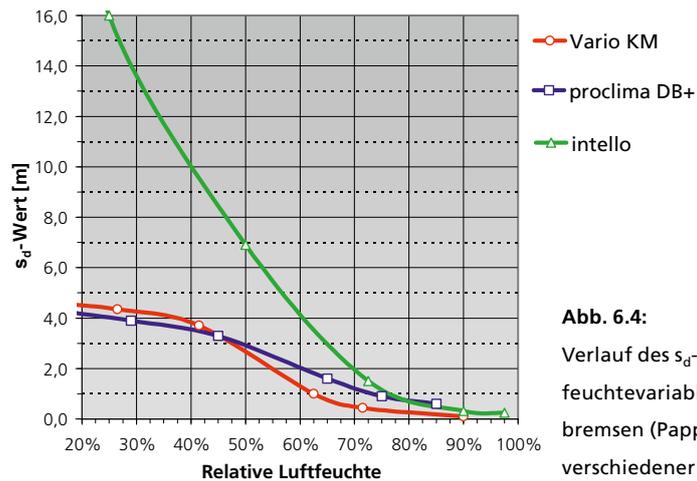


Abb. 6.4: Verlauf des s_d -Wertes feuchtevariabler Dampfbremsen (Pappe und Folien verschiedener Hersteller)

Tabelle 6.1

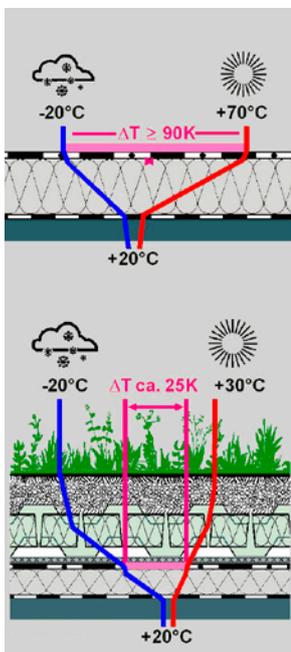
s_d -Werte verschiedener Dampfbremsen

bituminiertes Papier (Baupappe)	2 m
Dampfbremspappe	2,3 bis 10 m z.T. feuchtevariabel
feuchtevariable (feuchteadaptive) Folien	0,2 bis ca. 10 m feuchtevariabel
Spanplatte, d = 16 mm	0,8/1,6 m (feucht/trocken) ¹⁾
OSB-Platte, d = 15 mm	3,0 /4,5 m (feucht/trocken) ²⁾
OSB-Platte, d = 22 mm	4,4 /6,6 m (feucht/trocken) ²⁾
Polyethylenfolie (PE-Folie)	50 bis 100 m
Aluminiumverbundfolie (zum Vergleich)	1.500 m

¹⁾ $\mu = 50/100$ gemäß DIN V 20 000-1

²⁾ $\mu = 200/300$ gemäß DIN V 20 000-1, jedoch sind Herstellerangaben zu beachten

Abb. 6.5:
 Temperaturdifferenz in der Dämmung bei einem nicht belüfteten Flachdach und einem Gründach [1]



der Umkehr- oder Rückdiffusion zur Raumseite hin diese Materialien diffusionsfähiger werden. Neben speziell entwickelten Kunststofffolien und Dampfbremsspinnen verhalten sich auch viele Holzwerkstoffe diffusionsvariabel, d.h., ihr Diffusionswert verändert sich mit der Materialfeuchte (siehe Tabelle 6.1 und Abb. 6.4). Der zusätzliche trocknungsfördernde Effekt durch die Anwendung feuchtevariabler Dampfbremsen kann nur durch feuchtedynamische Berechnungen unter instationären Klimarandbedingungen nachgewiesen werden.

Bei der Anwendung ausgeprägt diffusionsvariabler Materialien ist zu beachten, dass diese auch bei hohen Rohbaufeuchten einen ausreichenden Diffusionswiderstand aufweisen, um übermäßigen Feuchteeintrag in die Konstruktion während der Bauphase zu verhindern. Darüber hinaus muss die Baufeuchte kontrolliert werden, und erforderlichenfalls sind Maßnahmen zur Entfeuchtung z.B. durch Bautrockner notwendig. Grundvoraussetzung zur Vermeidung von Bauschäden ist, die Konstruktion frühzeitig zu dämmen und die luftdichte Ebene herzustellen.

6.3 _ Einfluss der Deckschicht auf das Feuchteverhalten

Neben dem Diffusionswiderstand auf der Raumseite ist die Ausbildung der Deckschicht des Flachdaches von besonderer Bedeutung. Der trocknungsfördernde Effekt der **Umkehr- oder Rückdiffusion** wird insbesondere durch wärme- und feuchtespeichernde Deckschichten (Bekiesung oder Dachbegrünung), aber auch sehr helle Dachbahnen oder reflektierende, nicht selbstpatinierende Metalldachdeckungen sowie durch dauerhafte Verschattung gemindert [5]. Beim Nachweis von unbelüfteten Flachdachkonstruktionen ist dies zu berücksichtigen. Besonders schwierig einzuschätzen sind in dieser Hinsicht Dachbegrünungen. Die Einflüsse der Substrat- und Vegetationsschicht können bisher nicht eindeutig rechnerisch abgebildet werden, hierfür fehlen noch verallgemeinerbare Datensätze. Der Nachweis hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit bzw. Schadensfreiheit kann derzeit nur für jeden Einzelfall in Abhängigkeit der individuellen Randbedingungen gutachterlich erfolgen. Eine Vielzahl gebauter Flachdachaufbauten mit extensiver Begrünung belegt dennoch, dass es auch hier zu einer trocknungsfördernden Erwärmung kommen kann und möglicherweise positive Effekte durch erhöhte Wärmespeicherung und verminderte Wärmeabstrahlung vorliegen können.

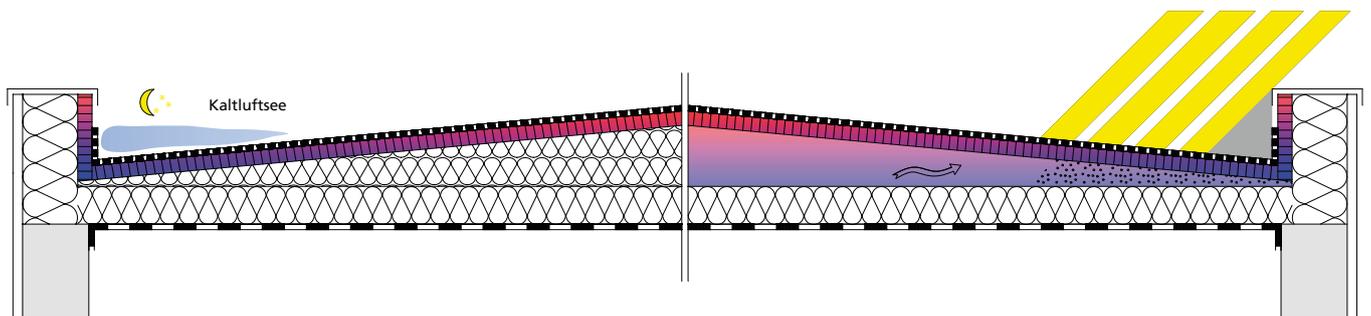


Abb. 6.6:
 Flachdachkonstruktionen und ihre Auswirkungen auf den Feuchteschutz:
 links: Entstehung von Kaltluftseen bei umlaufend hoher Attika (erhöhte Auskühlung)
 rechts: Strömungsverlauf in ungedämmten Hohlräumen zur Kaltseite

6.4 _ Bewertung des Holzschutzes

Flachdachdachkonstruktionen mit Aufdachdämmung

werden gemäß DIN 68 800-2 in die Gefährdungsklasse 0 eingestuft. Die Holzkonstruktion (Sparren und aussteifende Beplankung) ist ausschließlich dem Innenraumklima ausgesetzt, so dass eine Befeuchtung durch Diffusionsvorgänge ausgeschlossen ist. Zusätzliche raumseitige Bekleidungen können ohne weiteren rechnerischen Nachweis angeordnet werden, wenn sie diffusionsoffen und insekten-dicht sind und eine unterhalb der Dampfsperrschicht angeordnete Dämmung nicht mehr als 20% zum Gesamtwärmeschutz des Bauteils beiträgt. Bei genauer Diffusionsberechnung sind erfahrungsgemäß bis zu ca. 30% des Wärmewiderstandes innenseitig zwischen der Tragkonstruktion ausführbar.

Unbelüftete Flachdachkonstruktionen mit Dämmung in der Tragebene

können bisher nicht nach Norm in die Gefährdungsklasse 0 eingestuft werden (siehe hh 3/5/1). Der Grund hierfür liegt in dem zum Zeitpunkt der Normerstellung vorherrschenden Bautechnik. Ein übermäßiger Feuchteintrag durch nasses Bauholz oder mangelhafte Luftdichtung kann zu unkontrollierbaren Auffeuchtungen im Bauteilinneren führen. Zudem fehlten in der Vergangenheit diffusionsoffene Materialien zur Steuerung des Austrocknungspotenzials. Werden unbelüftete Flachkonstruktionen gemäß der Empfehlungen in Kapitel 6.2 so ausgeführt, dass sie eine Austrocknungs- bzw. Rücktrocknungsmöglichkeit aufweisen, liegen aus feuchteschutztechnischer Sicht robuste Konstruktionen vor, deren Holzbauteile in die GK 0 bzw. NKL 2 eingestuft werden können.

Voraussetzung zur Einstufung in GK 0

Die aktuell gültige DIN 68 800-2 (Ausgabe 1996) benennt in Abschnitt 7.2 als Voraussetzung zur Einstufung in GK 0 *„die Sicherstellung einer ausreichenden Verdunstungsmöglichkeit für den Bauteilquerschnitt gegenüber eventuell ungewollt vorhandener Feuchte, erreichbar durch eine weitgehend diffusionsoffene Abdeckung, bei Flachdächern (mit Dachabdichtung) an der Unterseite.“*

Die zur Einstufung von Flachdachkonstruktionen in GK 0 erforderlichen baulichen und konstruktiven Voraussetzungen sowie die Bedingungen für den Nachweis des Feuchteschutzes sind in Tabelle 6.2 zusammengefasst. Die Funktionstüchtigkeit muss derzeit noch individuell durch hygrothermische Berechnungen nachgewiesen werden. Diese Nachweisverfahren sind nach DIN 4108-3 zulässig und in DIN EN 15 026 geregelt. Sie werden von Fachleuten für Holzbau und Bauphysik durchgeführt. Der Aufwand für diese Untersuchungen lohnt sich aufgrund der Sicherstellung der dauerhaften Funktionstüchtigkeit und einer möglichen Bauteiloptimierung.

> hh 3/5/1
 INFORMATIONSDIENST **HOLZ**
 holzbau handbuch
 Reihe 3, Teil 5, Folge 1 und 2
 „Baulicher Holzschutz“ [13]

Tabelle 6.2
 Randbedingungen zur Einstufung in GK 0 für nicht belüftete Flachdachkonstruktionen

Bauliche Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> – weitgehend unverschattete Dachfläche mit max. 20° Dachneigung nach Norden (vgl. [15]) – Vermeidung von zusätzlichen Deckschichten sowie dauerhaften Beschattungen, welche den Trocknungseffekt vermindern – Vermeidung dauerhaft hoher Baufeuchten
Konstruktive Randbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> – Begrenzung der Holzfeuchten im Einbauzustand für: Vollholz: $u_m \leq 15\%$ Holzwerkstoffe: $u_m \leq 12\%$ – Konstruktion möglichst diffusionsoffen planen (Dampfbremse mit s_d-Wert zwischen 2 und 5 Meter statt Dampfsperre, erforderlichenfalls feuchtevariabel) – sorgfältige Ausführung der Luftdichtheitsebene zur Vermeidung konvektiver Feuchteeinwirkung, überprüft durch Blower-Door-Test – Vermeidung von ungedämmten Hohlräumen zur Verhinderung von Feuchteansammlungen z.B. durch thermisch bedingte Luftströmungen (siehe Abb. 6.6) – Möglichst Anwendung von Dämmstoffen mit hohem Feuchte-speicher- und Feuchtetransportvermögen, z.B. Zellulosefaser- oder Holzweichfaserdämmung
Hygrothermische Berechnung nach DIN EN 15 026 (dynamische Berechnungsverfahren siehe Kapitel 6.5)	<ul style="list-style-type: none"> – Ansatz möglichst realistischer Klimarandbedingungen (wenn nicht bekannt, Klimadaten für den Standort Holzkirchen/Bayern, vgl. Kapitel 8) – Berücksichtigung der Strahlungsabsorption und -emission der Dachfläche – Ansatz feuchtevariabler Materialkennwerte – Ansatz typischer Einbaufeuchten der Materialien (als Startbedingung Klimabedingungen für NKL 2; Holzwerkstoffe: $u = 15\%$; Vollholz: $u = 18\%$) – Simulation des Feuchteverlaufs über 5-10 Jahre, beginnend im Oktober (sofern Einbaupunkt unbekannt), bis der Feuchteverlauf eingeschwungen ist – Nachweis einer Verdunstungsreserve von $\geq 250 \text{ g/m}^2$ im ersten Jahreszyklus oder Simulation eines entsprechenden jährlichen Feuchteintrags (Feuchtequelle in den Monaten Januar bis Februar) – Überprüfung der Einhaltung der Randbedingungen für NKL 2 (Holzfeuchte der Dachschalung darf nicht dauerhaft über 20% betragen)

6.5 _ Dynamische Berechnungsverfahren

Während das bisher übliche Glaser-Verfahren lediglich eine vereinfachte Beurteilung der winterlichen Tauwasserproblematik von Holzbaukonstruktionen erlaubt, können mit hygrothermischen Simulationen nach DIN EN 15 026 alle baupraktisch relevanten Wärme- und Feuchtephänomene beurteilt werden:

- Feuchteakkumulation infolge winterlicher Tauwasserbildung
- Sommerkondensation durch Feuchtwanderung von außen nach innen
- Austrocknung von Baufeuchte
- Oberflächenkondensat infolge Unterkühlung durch nächtliche Wärmeabstrahlung
- Wärmeverluste durch Transmission und Verdunstung
- Berücksichtigung der Feuchteeinwirkung von Leckagen

Bei der hygrothermischen Simulation sind ein- und zweidimensionale Berechnungen zu unterscheiden. Bei Bauteilen mit nur einer Wärmedämmebene reicht eine eindimensionale Untersuchung des Gefachbereichs aus, da dort die kritischsten Feuchtebedingungen vorherrschen. Bei zwei oder mehreren Dämmschichten, insbesondere bei Bauteilen mit einer zusätzlichen Innendämmung, sollte mit Hilfe einer 1D-Berechnung abgeschätzt werden, ob eine Untersuchung des Gefachbereichs ausreicht. Bei unklaren Verhältnissen sollte eine 2D-Berechnung zur Absicherung der Ergebnisse erfolgen [16].

Bei den Berechnungen wird das Bauteilverhalten über mehrere Jahre unter veränderlichen, realitätsnahen Klimarandbedingungen simuliert. Die Berechnungen umfassen dabei die folgenden Speicher- und Transportvorgänge:

- Feuchtetransport durch Wasserdampfdiffusion
- Feuchtespeicherung und -transport durch Sorption und Kapillarität
- Wärmespeicherung in den Materialien und im enthaltenen Wasser
- Wärmetransport durch feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit
- Latentwärmetransport durch Wasserdampfdiffusion

Die Berechnungsergebnisse benennen den Verlauf des Gesamtwassergehalts im Bauteil und des Wassergehalts in den einzelnen Bauteilschichten mit Angabe der relativen Luftfeuchte (Porenluftfeuchte). Der Feuchtegehalt der Materialien lässt Rückschlüsse auf die Dauerhaftigkeit der eingebauten Holzbauteile und Dämmstoffe zu.

Beispiel einschaliges Flachdach

Abb. 6.7 zeigt eine Simulation des Feuchteverlaufs im Gefach einer unbelüfteten Flachdachkonstruktion in zwei Varianten im zeitlichen Verlauf für sieben Jahre. Hierbei wurde ein jährlicher Feuchteeintrag in die Dämmebene von 250 g/m² simuliert, der z.B. infolge einer kleinen Undichtigkeit in der Luftdichtheitsebene entstehen kann. Anhand der Entwicklung des Gesamtwassergehalts ist zu erkennen, dass es beim diffusionsdichten Bauteil a) zu einer regel-

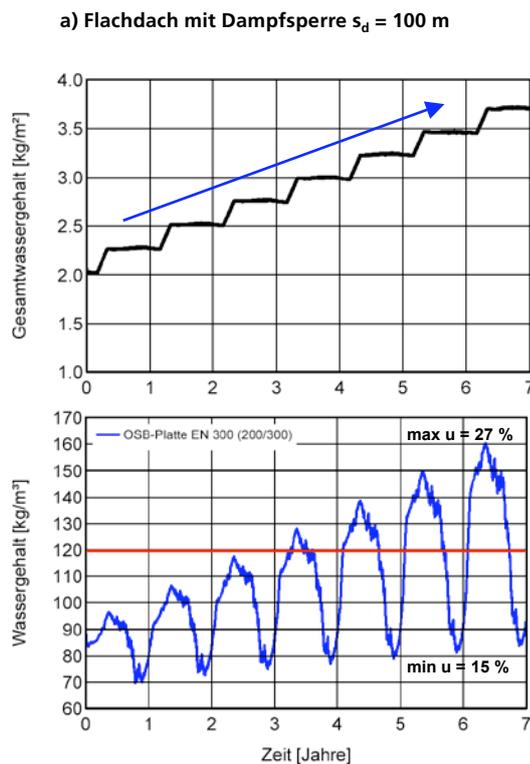
Berechnungsprogramme
 nach DIN EN 15 026:
 – WUFI-Pro (IBP):
www.wufi.de
 – DELPHIN, COND
www.bauklimatik-dresden.de

mäßigen Auffeuchtung kommt, während bei der Konstruktion mit feuchtevariabler Dampfbremse b) die jährlich eingebrachte Feuchtigkeit im Sommer vollständig austrocknet. Der Feuchtegehalt der OSB-Dachschalung überschreitet in Variante b) niemals Werte von 20% (120 kg/m³), während die zulässige Holzfeuchte für Nutzungsklasse 2 beim Aufbau a) bereits im 4. Jahr überschritten wird. Aufgrund der hiermit nachgewiesenen Funktionstüchtigkeit der diffusionsfähigen Konstruktion b) mit einer jährlichen

Verdunstungsreserve von mindestens 250 g/m² kann eine Einstufung der Dachschalung (hier: OSB) in Nutzungsklasse 2 erfolgen. Für die weniger feuchtebeanspruchte Tragkonstruktion (z.B. Deckenbalken) kann daraus abgeleitet werden, dass eine Überschreitung der Holzfeuchte von 20% nicht erfolgt, was eine Einstufung in die GK 0 nach DIN 68 800-3 ermöglicht. Das Beispiel zeigt deutlich die Vorteile diffusionsfähig ausgeführter einschaliger Flachdachkonstruktionen auf.

Abb. 6.7:

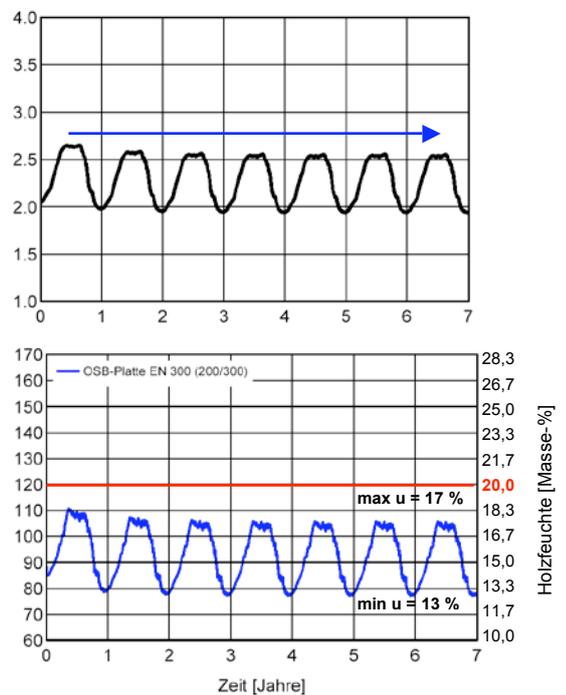
Verlauf des Gesamtwassergehalts und der Plattenfeuchte einer einschaligen Flachdachkonstruktion über 7 Jahreszyklen bei einem simulierten jährlichen Feuchteeintrag von 250 g/m²



Randbedingungen:

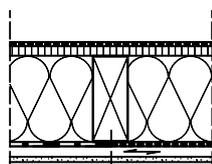
- Klima außen: Holzkirchen/Bayern
- Klima innen: normale Feuchtelast nach WTA
- Anfangsfeuchte in der OSB: $u_m = 18\%$
- Simulierter Feuchteeintrag: 250 g/(m² a)
- Berechnungsstart: 1. Oktober
(Berechnungen durchgeführt mit WUFI®-Pro 4.1)

b) Flachdach mit feuchtevariabler Dampfbremse



Bauteilaufbau:

- Bitumenabdichtung ($s_d = 300$ m)
- OSB/3-Platte, d = 22 mm, 600 kg/m³
- Mineralfaserdämmung, d = 200 mm
- Dampfsperre bzw. Dampfbremse feuchtevariabel (0,2 - 5 m)
- Gipskartonplatte, d = 12,5 mm



7 _ Ungedämmte Dächer und Dachüberstände

7.1_ Feuchteinwirkungen

Die richtige konstruktive Ausbildung von Dachüberständen und ungedämmten Flachdächern offener Überdachungen bedarf besonderer Beachtung. Dachüberstände werden aus formalen Gründen gerne als filigran gestaltetes Element eingesetzt, wobei die Holzbauteile nach außen sichtbar belassen werden. Das Gleiche gilt für ungedämmte Dächer z.B. von Hallen oder auch Carports.

Ein wichtiger Aspekt für die Planung dieser Bauteile ist der Einfluss der Wärmeabstrahlung von der Dachoberseite. Insbesondere bei unbedecktem Nachthimmel kann es zu einer so starken Abkühlung der Dachfläche kommen, dass die Oberflächentemperaturen die Außenlufttemperaturen unterschreiten [17]. Dadurch entstehen auf der Dachunterseite oberflächen-nah hohe relative Luftfeuchtigkeiten, die zu einer Erhöhung der Bauteilfeuchte führen. Dies kann unerwünschte Verfärbungen infolge Bläue und Schimmelpilzbefall zur Folge haben (siehe Abb. 7.2).

Weitere Ursachen für Feuchteinwirkungen an Untersichten von Dachrändern können Konvektion infolge Fensterlüftung, Einflüsse aus Baufeuchte, Bewitterung des Dachrandes sowie feuchte Umgebungsbedingungen sein. Das für die Entstehung von Schimmelpilzen notwendige Nährstoffangebot bieten neben Holzinhaltstoffen auch Oberflächenverschmutzungen, wobei das Befallsrisiko vom biologischen Befallsdruck entsprechend den Umweltbedingungen abhängig ist.

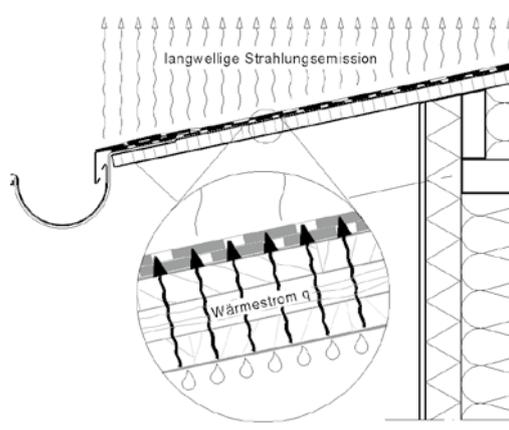


Abb. 7.1:
 Wärmeabstrahlung am
 Dachrand mit Tauwasser-
 bildung

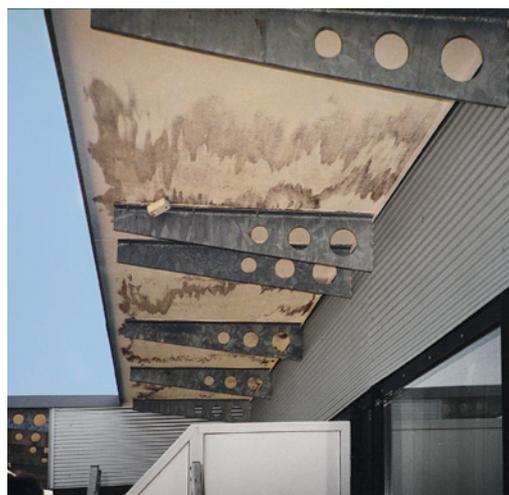


Abb. 7.2:
 Verfärbungen einer Dach-
 untersicht aus BFU-Platten

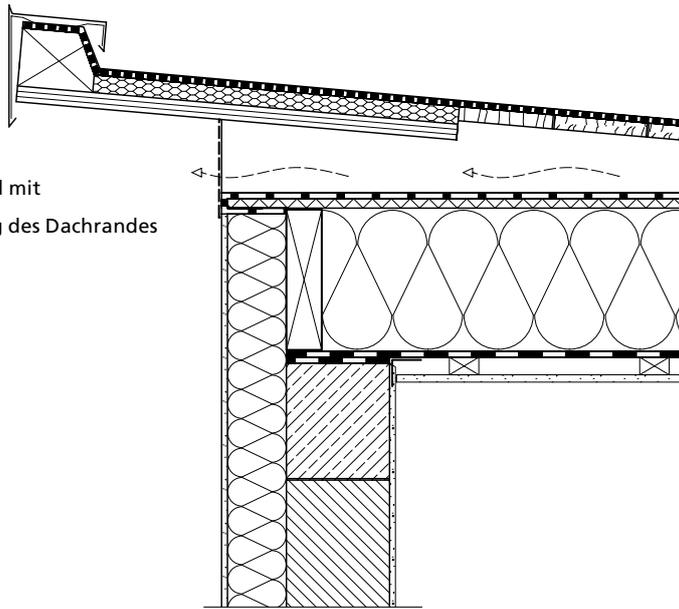


Abb. 7.3:
 Dachüberstand mit
 Überdämmung des Dachrandes

Abb. 7.4:
 Ortgang Flachdach
 mit Dachabdichtung
 und Metallabschluss
 nach [KFR]

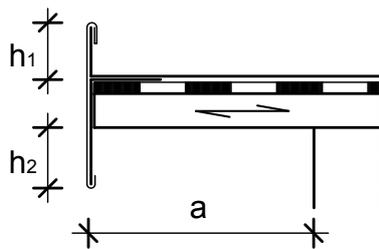
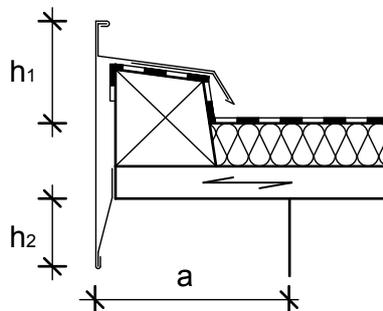


Abb. 7.5:
 Ortgang Flachdach
 mit hochgeführter
 Dachabdichtung und
 Metallabdeckung nach
 [KFR]



7.2 _ Ausführungsregeln

Zur Verhinderung der beschriebenen Abkühlung der Dachunterseite wird empfohlen, eine Mindestdämmung oberhalb der Dachschalung im Bereich des Überstandes aufzubringen. Hierzu ist eine Dämmdicke von 30 bis 40 mm erfahrungsgemäß ausreichend (siehe Abb. 7.3). Werden die Dachüberstände und Dächer aus flächigen Massivholzbauteilen (Brettsperholz) mit Dicken größer 50 mm hergestellt, reicht deren Dämmwirkung und Wärmespeicherfähigkeit i. d. R. aus, um in Verbindung mit einer geeigneten Oberflächenbehandlung unempfindlich gegenüber Feuchte- und Schimmelpilzbildung zu sein.

Die fachgerechte Ausbildung des Dachrandes mit den in den Fachregeln vorgegebenen Überdeckungen, Anschlusshöhen und Abständen verhindert eine Befeuchtung der Plattenoberflächen bzw. der Plattenkanten infolge Verwirbelungen bei hoher Windanströmung von unten, siehe Tabelle 7.1. Abweichungen von den vorgegebenen Maßen sind gesondert zu vereinbaren, das Schutzziel muss dann mit kompensierenden Maßnahmen erreicht werden.

Tabelle 7.1

Überdeckungen von Randverblechungen nach Klempnerfachregeln¹⁾

Bauteilüberstand		≤ 8 m	> 8 m bis ≤ 20 m	> 20 m bis ≤ 100 m
		über GOK	über GOK	über GOK
Anschlusshöhe Ortgangfalz ²⁾	h_1	40 - 60 mm ³⁾	40 - 60 mm ³⁾	60 - 100 mm
Überdeckung senkr. Bauwerksteile	h_2	50 mm	≥ 80 mm	≥ 100 mm
Abstand Tropfkante zum Bauwerk	a	≥ 20 mm (50 mm bei Kupfer)		

¹⁾ mit ergänzenden Angaben aus der Rheinzink-Verlegeanleitung

²⁾ in Abstimmung mit Pultdachfirsthöhen

³⁾ bei $DN \leq 10^\circ$ oder extrem regionaler Belastung sind 60 mm Anschlusshöhe zu bevorzugen

7.3 _ Auswahl des Holzes und der Holzwerkstoffe

Die Auswahl der geeigneten Holzart bzw. des Holzwerkstoffplattentyps ist für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion und der gewünschten Oberflächenoptik von großer Bedeutung. Die Empfindlichkeit gegenüber Verfärbungen durch Bläue und Schimmelbefall korreliert erfahrungsgemäß mit der Dauerhaftigkeit der Holzarten (siehe DIN EN 350-2), wobei Splintholz als nicht dauerhaft einzustufen ist. Bei Holzwerkstoffen haben der Aufbau sowie die Beschaffenheit und Dicke der Deckfurniere Einfluss auf die Empfindlichkeit gegenüber holzverfärbenden Pilzen. Bei dünnen Decklagen (Furnieren) kann es bei Feuchteinwirkung zu einer Anreicherung von Feuchtigkeit in der Oberfläche kommen, wohingegen sich bei den dickeren Lagen von Massivholzplatten (Dreischichtplatten) oder bei Massivholzsystemen Oberflächenfeuchte besser im Querschnitt verteilen kann. Kritisch zu bewerten sind Platten aus Schälffurnieren aufgrund der produktionsbedingten Mikrorisse, die den Zugang von Holzinhaltstoffen zur Oberfläche ermöglichen und zusätzlich eine höhere Feuchteempfindlichkeit aufweisen. Weiterhin ist der pH-Wert auf der Plattenoberfläche von Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer Schimmelpilzbildung. Oberflächen im alkalischen Bereich sind weniger schimmelpilzempfindlich als neutrale Flächen. Der Einfluss der Verleimung der Platten kann ebenfalls Auswirkung auf die Wahrscheinlichkeit eines Schimmelpilzbefalls haben, wobei in der Vergangenheit phenolharzverleimte Platten aufgrund höherer Ausgleichsfeuchten eine größere Gefährdung aufwiesen. Eine Übersicht über geeignete und weniger geeignete Holzwerkstoffe enthält Tabelle 7.2.



Abb. 7.6:
 Bildreihe Holzwerkstoffe

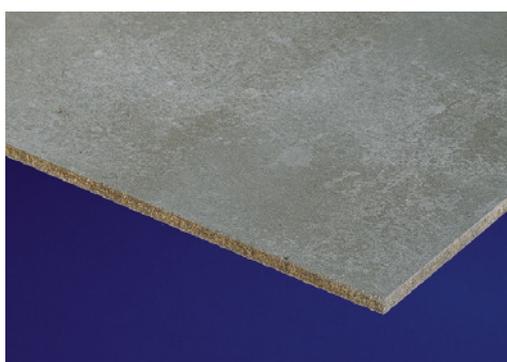
BFU Bau-Furniersperrholz



FSH Furnierschichtholz



SWP Massivholz
 (hier Dreischichtplatte)



ZSP Zementgebundene
 Flachpressplatte

Tabelle 7.2
 Eignung von Holz und Holzwerkstoffen für die Ausbildung von
 Dachüberständen und ungedämmten Dächern

Material	Eignung¹⁾	Bemerkung
Vollholzschalung oder Dreischichtplatte Fichte /Tanne	+	bei Dreischichtplatten: Decklagen > 7 mm, Erscheinungsklasse 0/A gemäß DIN EN 13 017-1
Vollholzschalung oder Dreischichtplatte Lärche /Douglasie	++	Oberflächenbeschichtung für nicht maßhaltige Bauteile; Aufdachdämmung empfehlenswert
Massivholzbauteile	++	Oberflächenbeschichtung für nicht maßhaltige Bauteile
Zementgebundene Spanplatte	++	pH-Wert günstig, Sperrgrund gegen Durchschlagen von Zementschleier erforderlich
Kalzium-Silikat-Platte	++	hohe Feuchteabsorption, günstiger pH-Wert
Furnierschichtholz (Fichte)	- / +	Schäl furniere kritisch, möglich bei guter Oberflächenqualität mit geeigneter Oberflächenbeschichtung und Aufdachdämmung
Sperrholz: nordische Fichte	- / +	Schäl furniere kritisch, möglich bei guter Oberflächenqualität mit geeigneter Oberflächenbeschichtung und Aufdachdämmung
Sperrholz: Seekieferplatten	--	Holzarten nicht dauerhaft bzw. hoher Frühholzanteil; meist Schäl furniere und kritische Inhaltsstoffe
Sperrholz: Birke, Buche (Multiplex)	--	Holzarten nicht dauerhaft bzw. hoher Frühholzanteil; meist Schäl furniere und kritische Inhaltsstoffe

¹⁾ -- ungeeignet - bedingt geeignet + geeignet ++ gut geeignet

7.4 _ Bewertung des Holzschutzes

Entsprechend der Einstufung gemäß DIN 68 800-2, Tab. 3 wird für unterlüftete Dachschalungen von Flachdächern derzeit die Eignung für die Holzwerkstoffklasse 100 G gefordert, gleichzusetzen mit der Eignung für Nutzungsklasse 3 (siehe Kapitel 4.3). Da geeignete, in NKL 3 klassifizierte Holzwerkstoffe kaum lieferbar sind, ist eine allseitige Ertüchtigung mit vorbeugenden chemischen Holzschutzmitteln nach DIN 68 800-3 für die Gefährdungsklasse (Gebrauchsklasse) 3 bei sichtbaren Bauteilen möglich, wobei es sich hierbei um ölige (lösemittelhaltige) Anstriche handeln muss, um die erforderlichen Auftrags- bzw. Einbringmengen zu erreichen. Diese Maßnahme wird formal den Anforderungen des bauaufsichtlich geforderten Holzschutzes gerecht, jedoch nicht der tatsächlichen Gefährdung. Unterkonstruktionen aus Holzwerkstoffen erfahren bei funktions-tauglichen Abdichtungen keine Schädigungen durch holzerstörenden Pilzbefall, sondern Schäden struktureller Art infolge übermäßiger Feuchtebelastung auf der Oberfläche. Hierbei gilt es Aufquellungen, Aufwölbungen und irreversible Verformungen zu vermeiden, was chemischer Holzschutz in Form einer Grundierung nicht leisten kann. Sinnvoll ist es daher, bisher planmäßig ungedämmte Dachbauteile mit der notwendigen Mindestüberdämmung zu versehen, wodurch eine Zuordnung in die Nutzungsklasse 2 erfolgen kann und chemische Holzschutzmaßnahmen entbehrlich werden. Eine fachgerechte Oberflächenbeschichtung zum Schutz gegenüber holzverfärbenden Pilzen bleibt dennoch zwingend erforderlich.

7.5 _ Oberflächenbeschichtung

Bei der Auswahl der Oberflächenbeschichtung sind furnierte Oberflächen und Massivholzbauteile zu unterscheiden. Um den Einfluss von Klimaschwankungen im Deckfurnier gering zu halten, müssen für furnierte Holzwerkstoffe Anstrichsysteme eingesetzt werden, deren Feuchteschutz nach EN 927-2 mindestens für bedingt maßhaltige Bauteile (semi stable) eingestuft wird (siehe IDH Merkblatt [18]). Hierbei handelt es sich üblicherweise um deckende oder lasierende, diffusionshemmende Dickbeschichtungen. Massivholzplatten und andere Massivholzsysteme sind dagegen wie gering maßhaltige Bauteile mit dünn-schichtigen Anstrichsystemen zu versehen.

Zum Schutz gegen Bläuebefall muss bei lasierenden Anstrichen vorab ein Bläueschutzgrund aufgebracht werden, bei hellen Anstrichen bewirkt ein zusätzlich aufgebracht Sperrgrund das Durchschlagen von Inhaltsstoffen. Um einen zusätzlichen Schutz insbesondere bei hellen Beschichtungen zu bewirken, können die Deckbeschichtungen mit schimmelpilzhemmenden Inhaltsstoffen (fungizide Ausrüstung) ausgerüstet werden. Da sich diese Wirkstoffe verflüchtigen, bieten sie allein jedoch keinen ausreichenden dauerhaften Schutz vor Verfärbungen der Plattenoberfläche.

Die Anwendung der Anstriche erfolgt entsprechend den Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller und nach dem Merkblatt des Bundesverbandes Farbe und Sachwertschutz [19]. Es wird empfohlen, abgetönte Farbigkeiten reinweißen Oberflächen vorzuziehen. Die Plattenfeuchte darf zum Zeitpunkt des Aufbringens der Beschichtung 15% nicht überschreiten. Zur Verbesserung der Feuchteverhältnisse im Bereich von Schnittkanten und Plattenstößen sind alle Plattenkanten mit geeigneten Produkten zu versiegeln. Hinweise zur Beseitigung von Schimmelpilzbefall gibt [20].

> Merkblatt
 INFORMATIONSDIENST HOLZ
 „Anstriche für Holz- und Holzwerkstoffe im Außenbereich“
 [18]

8 _ Konstruktionsbeispiele

Die nachfolgend dargestellten Regelaufbauten und Bauteilanschlüsse sollen eine Hilfestellung bei der Entwicklung von objektbezogenen Lösungen bieten. Es handelt sich hierbei um Prinzipdarstellungen, die den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen sind. Die für die Darstellung verwendeten Schraffuren sind in Tabelle 8.1 zusammengestellt. Prinzipdarstellungen zur Ausführung von Anschlüssen im Holzhausbau befinden sich in der Schrift „Funktionsschichten und Anschlüsse für den Holzhausbau“ [6], wärmebrückenoptimierte Details sind in der Schrift „Wärmebrücken“ [3] sowie im „Wärmebrückenkatalog“ [4] enthalten.

Die exemplarisch dargestellten Bauteilaufbauten wurden so gewählt, dass eine Einstufung der Tragkonstruktion in die Gefährdungsklasse GK 0, d.h. ein Verzicht auf chemische Holzschutzmaßnahmen möglich ist. Da unbelüftete einschalige Konstruktionen derzeit nicht nach DIN 68 800-2 in GK 0 eingestuft werden können, wurde die Funktionstüchtigkeit der Bauteile zusätzlich zu den Nachweisen nach DIN 4108-3 durch hygrometrische Simulation nachgewiesen. Für die Berechnungen wurden die in Tabelle 6.3 benannten Randbedingungen mit den Klimabedingungen für den Standort Holzkirchen angesetzt, und es wurde ein jährlicher Feuchteeintrag von 250 g/m² in das Gefach simuliert. Somit liegen die Berechnungsergebnisse auf der sicheren Seite und haben Gültigkeit für Orte in Deutschland mit gegenüber Holzkirchen vergleichbaren oder weniger harten Klimabedingungen bis zu einer Höhenlage von ca. 680 m ü. NN. Für andere Standorte und Randbedingungen werden gesonderte Nachweise erforderlich.

Die dargestellten Flachdachkonstruktionen werden des Weiteren hinsichtlich des Feuerwiderstandes und des Schalldämm-Maßes nach einschlägigen Normen klassifiziert. Durch Prüfzeugnisse nachgewiesene Bauteilvarianten werden hier nicht berücksichtigt, sie können bei den Herstellern erfragt werden.

Randbedingungen der hygrothermischen Berechnung:

Klimabedingungen:

außen: Standort Holzkirchen
(680 m ü. NN)

innen: normale Feuchtebelastung nach WTA-
Merkblatt 6-2-01/D (40 - 60% r.F., 20 - 22° C)

Dachneigung: 15°

Ausrichtung: Nord

Rechnungsbeginn: 1. Oktober

Berechnungszeitraum: 7-10 Jahre

Feuchtequelle: 250 g/m² a im Gefach

Oberflächenübergangskoeffizienten
materialspezifisch angesetzt
(α = Strahlungsabsorptionsgrad
der Dachdeckung)

Tabelle 8.1
 Verwendete Schraffuren für die zeichnerische Darstellung

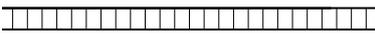
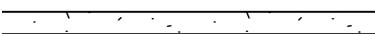
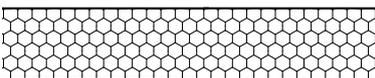
Bauteil	Symbol
Holzquerschnitt	
Vollholzschalung	
Holzwerkstoffplatte	
Holzfaserplatte	
Gips-Bauplatte	
Wärmedämmstoff (weich)	
Wärmedämmstoff (druckfest)	
Dachabdichtung bzw. Dampfbremse, $s_d \geq 20$ m	
Dampfbremse, $s_d \geq 2$ m (konstant)	
Dampfbremse feuchtevariabel	
Diffusionsoffene Folie, $s_d \leq 0,2$ m	
Trennlage	
Blechdeckung	

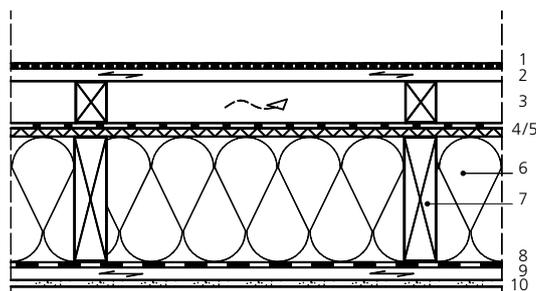
Tabelle 8.2

Verwendete Bezeichnungen für die Nachweise des Feuchteschutzes

Tauwassernachweis nach DIN 4108-3		Hygrothermische Berechnung nach DIN EN 15 026	
m_{WT}	Tauwassermenge (kg/m ²)	$u_{m,0}$	Holzfeuchte zu Berechnungsbeginn (Masse-%)
m_{wv}	Verdunstungsmenge (kg/m ²)	$u_{m,1}$	Holzfeuchte nach dem 1. Jahr (Masse-%)
Δm_w	Verdunstungsüberschuss $m_{wv} - m_{WT}$ (kg/m ²)	$u_{m,end}$	Holzfeuchte zu Berechnungsende (Masse-%)
Δu_w	Holzfeuchteänderung aufgrund Tauwassermenge (Masse-%)	$\max u_{m,0}$	maximale Holzfeuchte im eingeschwungenen Zustand (Masse-%)

8.1 _ Belüftete (zweischalige) Flachdächer

8.1.1 _ Volldämmung mit unterlüfteter Dachhaut und Dachabdichtung



Bauteilaufbau für Dachneigung $\geq 5^\circ$

- 1 Dachabdichtung auf Trennlage
- 2 Vollholzschalung C24, $d = 24 \text{ mm}$
- 3 Belüfteter Hohlraum, Querschnittshöhe nach Belüftungsregeln mind. 80 mm
- 4 Diffusionsoffene Unterdeckbahn, wasserdicht verklebt, $s_d \leq 0,1 \text{ m}$
- 5 Diffusionsoffene Holzfaserschicht, $d = 16 \text{ mm}$, $s_d \leq 0,2 \text{ m}$
- 6 Volldämmung mit Faserdämmstoff
- 7 Tragkonstruktion, z.B. KVH (Anteil 10%)
- 8 Dampfbremshahn (armiert), $s_d \geq 2 \text{ m}$
- 9 Unterkonstruktion, $d = 24 \text{ mm}$
- 10 Innenbekleidung nach Wahl

Belüftungsquerschnitte

Dachneigung	Belüftungslänge	nach Klempnerfachregeln [KFR]		nach Dachdeckerregelwerk [RDA]	
		Höhe	Spaltgröße ¹⁾	Fläche	Spaltgröße ¹⁾
$< 5^\circ$	—	150 mm ³⁾	60 (150) mm	k. A.	k. A.
$\geq 5^\circ$ bis $\geq 15^\circ$	$\leq 10 \text{ m}$	80 mm	40 (100) mm	200 cm ² /m	24 (60) mm
$\geq 5^\circ$ bis $\geq 15^\circ$	$\leq 15 \text{ m}$	80 mm	40 (100) mm	300 cm ² /m	36 (90) mm

¹⁾ Netto- und Bruttoquerschnittsfläche bei 40% Lochanteil

²⁾ Angaben für Traufe und Pultdachabschluss

³⁾ Empfehlung für $DN < 5^\circ$: Querschnittshöhe 1/50-tel der Belüftungslänge (vgl. Kapitel 5.2)

Wärme- und Feuchteschutz

Dämmdicke ($\lambda_{\text{Dämm}} = 0,04 \text{ W/m K}$)	mittlerer U-Wert ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m_{wT} in (g/m^2) ¹⁾			
		m_{wT}	m_{wV} ¹⁾	Δm_{wV}	Δu_w
200 mm	0,209	300	2.533	2.233	3% $\leq 3\%$
240 mm	0,178	298	2.526	2.228	3% $\leq 3\%$

¹⁾ Die Dachschalung (Nr. 2) ist bei fachgerechter Belüftung rechnerisch tauwasserfrei; ein Auftreten von Sekundätauwasser ist konstruktionsbedingt möglich

HOLZSCHUTZ: GK 0 nach DIN 68 800-2

(ohne chemischen Holzschutz)

- Dachschalung (Nr. 2) und Holz in Belüftungsebene (Nr. 4): GK 0 nach DIN 68 800-2
- Holzfaserschicht (Nr. 5): NKL 2, wenn Voraussetzungen für GK 0 erfüllt
- Tragkonstruktion (Nr. 7): GK 0 nach DIN 68 800-2, wenn Luftdichtung innen mit $s_d \geq 2 \text{ m}$; Abdeckung außen mit $s_d \leq 0,2 \text{ m}$

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B)

nach DIN 4102-4, Tab. 65:

- obere Beplankung oder Schalung (Nr. 2 bzw. 5): 16 (19) mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$ oder 21 (27) mm Vollholzschalung
- untere Beplankung (Nr. 9/10): 19 mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$, $e \leq 625 \text{ mm}$ oder 12,5 (2 x 12,5) mm GKF, $e \leq 400 \text{ mm}$
- Dämmung brandschutztechnisch nicht notwendig

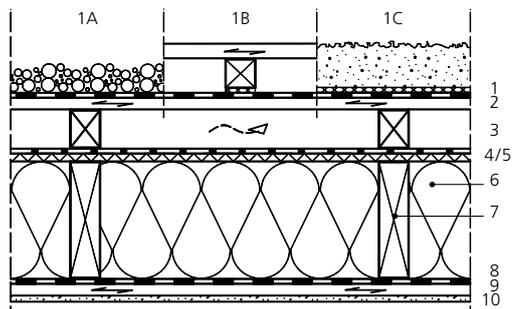
SCHALLSCHUTZ:

$R_{w,R} = 45 \text{ dB}$ in Anlehnung an DIN 4109 Bbl. 1 (ohne Oberflächenschutz)

- mind. +2 dB mit raumseitiger Beplankung an Federschiene
- - 5 dB mit raumseitiger Beplankung aus Nut-und-Feder-Schalung

Hinweis: Zuluftöffnungen in Bereichen mit hohen Schallimmissionen können die Schalldämmung maßgeblich verschlechtern.

8.1.2 _ Volldämmung mit unterlüfteter Dachhaut und Bekiesung



Bauteilaufbau für Dachneigung $\geq 5^\circ$

- 1A Bekiesung oder
- 1B Bohlenbelag auf Lücke, splintfreies Farbkernholz, geeignet für NKL 3 (z.B. Eiche, Lärche, Douglasie)
- Unterkonstruktion (NKL 3), min $h = 40$ mm, ggf. keilförmig zum Gefälleausgleich
- Bautenschutzmatte streifenförmig an Unterkonstruktion fixiert (bei Kunststoffdachbahn vollflächig empfohlen)
- 1C Extensive Dachbegrünung
- 1 Dachabdichtung
- 2-10 wie 8.1.1

Belüftungsquerschnitte

Dachneigung	Belüftungslänge	nach Klempnerfachregeln [KFR]		nach Dachdeckerregelwerk [RDA]	
		Höhe	Spaltgröße ¹⁾	Fläche	Spaltgröße ¹⁾
$< 5^\circ$	—	150 mm ³⁾	60 (150) mm	k. A.	k. A.
$\geq 5^\circ$ bis $\geq 15^\circ$	≤ 10 m	80 mm	40 (100) mm	200 cm ² /m	24 (60) mm
$\geq 5^\circ$ bis $\geq 15^\circ$	≤ 15 m	80 mm	40 (100) mm	300 cm ² /m	36 (90) mm

¹⁾ Netto- und Bruttoquerschnittsfläche bei 40% Lochanteil

²⁾ Angaben für Traufe und Pultdachabschluss

³⁾ Empfehlung für $DN < 5^\circ$: Querschnittshöhe 1/50-tel der Belüftungslänge, vgl. Kapitel 5.2

Wärme- und Feuchteschutz

Dämmdicke ($\lambda_R = 0,04$ W/m K)	mittlerer U-Wert ¹⁾ (W/m ² K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m_w in (g/m ²) ^{1) 2)}			
		m_{WT}	m_{WW}	Δm_w	Δu_w
200 mm	0,209	300	976	676	3% $\leq 3\%$
240 mm	0,178	298	972	674	3% $\leq 3\%$

¹⁾ Für den Tauwassernachweis wird die Oberflächentemperatur auf dem Dach (unter der Dachhaut) wegen des Oberflächenschutzes mit 12° C in der Verdunstungsperiode angesetzt

²⁾ Die Dachschalung (Nr. 2) ist bei fachgerechter Belüftung rechnerisch tauwasserfrei; ein Auftreten von Sekundärtauwasser ist konstruktionsbedingt möglich

HOLZSCHUTZ: GK 0 nach DIN 68 800-2

(kein chemischer Holzschutz)

- **Dachschalung (Nr. 2) und Holz in Belüftungsebene (Nr. 4):**
GK 0 nach DIN 68 800-2
- **Holzfasерplatte (Nr. 5):**
NKL 2, wenn Voraussetzungen für GK 0 erfüllt
- **Tragkonstruktion (Nr. 7):**
GK 0 nach DIN 68 800-2, wenn Luftdichtung innen mit $s_d \geq 2$ m; Abdeckung außen mit $s_d \leq 0,2$ m

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B)

nach DIN 4102-4, Tab. 65:

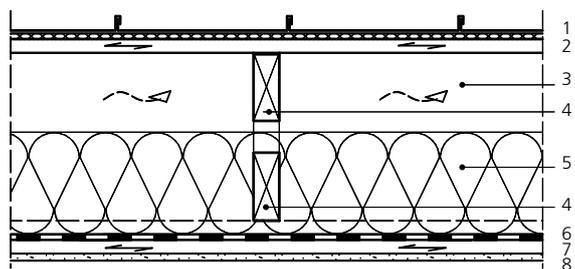
- **obere Beplankung oder Schalung (Nr. 2 bzw. 5):**
16 (19) mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³ oder 21 (27) mm Vollholzschalung
- **untere Beplankung (Nr. 9/10):**
19 mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³, $e \leq 625$ mm oder 12,5 (2 x 12,5) mm GKF, $e \leq 400$ mm
- **Dämmung brandschutztechnisch nicht notwendig**

SCHALLSCHUTZ:

$R_{w,R} = 45$ dB in Anlehnung an DIN 4109 Bbl. 1 (ohne Oberflächenschutz)

- **mind. +2 dB** mit raumseitiger Beplankung an Federschiene
 - **-5 dB** mit raumseitiger Beplankung aus Nut-und-Feder-Schalung
- Hinweis:** Zuluftöffnungen in Bereichen mit hohen Schallimmissionen können die Schalldämmung maßgeblich verschlechtern.

8.1.3 _ Belüftete Dämmebene und Metalldachdeckung



Bauteilaufbau für Dachneigung ≥ 5°

- | | |
|---|---|
| 1 Metalldachdeckung ggf. auf strukturierter Trennlage | 5 Faserdämmstoff, strömungssicher und fugenfrei eingebracht |
| 2 Dachschalung aus Vollholz, d = 24 mm | 6 Dampfbremse (armiert), s _d ≥ 2 m |
| 3 Belüfteter Hohlraum, Querschnittshöhe entsprechend Belüftungsregeln | 7 Unterkonstruktion (Lattung oder Schalung) |
| 4 Tragkonstruktion, e ≥ 625 mm (Anteil 10%) | 8 Innenbekleidung nach Wahl |

Belüftungsquerschnitte

Dachneigung	Belüftungslänge	nach Klempnerfachregeln [KFR]		nach Dachdeckerregelwerk [RDA]	
		Höhe	Spaltgröße ¹⁾	Fläche	Spaltgröße ²⁾
< 5°	—	150 mm ²⁾	60 (150) mm	k.A.	k.A.
≥ 5° bis ≥ 15°	≤ 10 m	80 mm	40 (100) mm	200 cm ² /m	24 (60) mm
≥ 5° bis ≥ 15°	≤ 15 m	80 mm	40 (100) mm	300 cm ² /m	36 (90) mm

¹⁾ Netto- und Bruttoquerschnittsfläche bei 40% Lochanteil (nach [RDA])

²⁾ Angabe für Traufe und Pultdachabschluss

³⁾ Empfehlung für DN < 5°: Querschnittshöhe 1/50-tel der Belüftungslänge, vgl. Kapitel 5.2

Wärme- und Feuchteschutz (unabhängig von der Ausführung der Dachhaut)

Dämmdicke (λ _R = 0,04 W/m K)	mittlerer U-Wert ¹⁾ (W/m ² K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m _w in (g/m ²)			
		m _{WT}	m _{WW}	m _W	u _W
200 mm	0,219	rechnerisch kein Tauwasseranfall aufgrund Belüftung			
24 cm	0,185	Auftreten von Sekundärtauwasser konstruktionsbedingt möglich			

HOLZSCHUTZ: GK 0/1 nach DIN 68 800-2

- **Dachschalung (Nr. 2):**
GK 0 nach DIN 68 800-2;
oder Verwendung von Holzwerkstoffplatten mit NKL 2, vgl. Tabelle 4.5
- **Tragkonstruktion (Nr. 4):**
GK 1 nach DIN 68 800-2, wenn Luftdichtung innen mit s_d ≥ 2 m (GK 0 bei Brettschichtholz bzw. wenn Sichtkontrolle sichergestellt)

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach

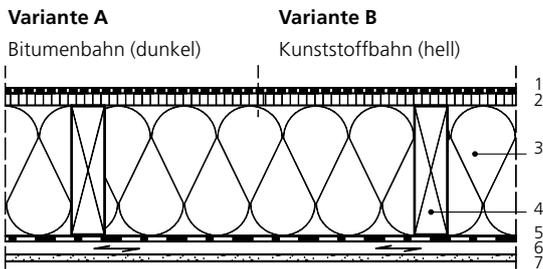
- DIN 4102-4, Tab. 65:
- **obere Beplankung oder Schalung (Nr. 2):**
16 (19) mm Holzwerkstoff mit ρ ≥ 600 kg/m³ oder 21 (27) mm Vollholzschalung
 - **untere Beplankung (Nr. 7/8):** 19 mm Holzwerkstoff mit ρ ≥ 600 kg/m³, e ≤ 625 mm oder 12,5 (2 x 12,5) mm GKF, e ≤ 400 mm
 - **Dämmung brandschutztechnisch nicht notwendig**

SCHALLSCHUTZ:

- R_{w,R} = 40 dB** in Anlehnung an DIN 4109 Bbl. 1 (ohne Oberflächenschutz)
- **+ 2 dB bis + 5 dB** mit raumseitiger Beplankung an Federschiene
 - **+ 5 dB** mit Bekiesung (d_k ≥ 30 mm; d_k ≥ 50 mm bei harter Bedachung) oder Begrünung
 - **- 5 dB** mit raumseitiger Beplankung aus Nut-und-Feder-Schalung
- Hinweis:** Zuluftöffnungen in Bereichen mit hohen Schallimmissionen können die Schalldämmung maßgeblich verschlechtern.

8.2 _ Nicht belüftete (einschalige) Flachdächer

8.2.1 _ Volldämmung mit Dachabdichtung



Bauteilaufbau für Dachneigung $\geq 5^\circ$

- | | |
|---|--|
| 1A Bitumenabdichtung | 4 Tragkonstruktion, z.B. KVH (Anteil 10 %) |
| 1B Kunststoffabdichtung, vlieskaschiert | 5 Dampfbremse ($s_d \geq 2$ m) bzw. feuchtevariabel |
| 2 Schalung OSB/3-Platten nach DIN EN 300, d = 22 mm ($\mu = 200/300$) | 6 Installationsebene, ungedämmt, d = 24 mm |
| 3 Volldämmung mit Faserdämmstoff | 7 Gipskartonbekleidung, d = 12,5 cm |

Wärme- und Feuchteschutz

Dämmdicke ($\lambda_R = 0,04$ W/m K)	mittlerer U-Wert (W/m ² K)	Holzfeuchte u_m in der Dachschalung nach hygrothermischer Berechnung ¹⁾				Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m_{wV} in (g/m ²)		
		$u_{m,0}$	max $u_{m,1}$	min $u_{m,end}$	max $u_{m,end}$	m_{wT}	m_{wV}	Δm_{wV}
A: Dachabdichtung 2-lagige Bitumendachbahn (dunkel, $\alpha = 0,88$, $s_d \approx 300$ m), Dampfbremse $s_d = 3$ m, ohne Oberflächenschutz								
200 mm	0,210	15,0%	18,3%	9,2%	14,0%	253	296	43
240 mm	0,179	15,0%	18,1% ²⁾	9,2%	14,1%	251	295	44
B: Dachabdichtung Kunststoffdachbahn (hell, $\alpha = 0,40$, $s_d = 24$ m), Dampfbremse feuchtevariabel²⁾, ohne Oberflächenschutz								
200 mm	0,211	15,0%	18,5%	14,2%	19,1%	361	413	52
240 mm	0,180	15,0%	18,3%	14,2%	19,3%	357	411	54

¹⁾ Simulationsberechnung über 7 Jahre mit 250 g/m² Feuchteeintrag pro Jahr, Berechnungsstart: 1. Oktober

Die dargestellten Rechenergebnisse gelten für Volldämmung aus Mineralfaserdämmstoffen. Die Anwendung von Zellulose- und Holzweichfaserdämmstoffen ist ebenfalls möglich. Durch Vergleichsrechnungen konnte die hygrothermische Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden. Im konkreten Anwendungsfall müssen die Berechnungen mit Datensätzen des jeweiligen Dämmstoffherstellers erfolgen.

Die Dämmstoffe müssen trocken eingebaut werden, ihre Einbaufeuchte soll den Klimabedingungen der Nutzungsklasse 1 entsprechen.

²⁾ Ansatz der feuchtevariablen Dampfbremse mit $s_d = 0,2 - 5$ m (Nachweis nach DIN 4108-3 mit $s_d = 2$ m)

HOLZSCHUTZ: GK 0 bzw. NKL 2 nachgewiesen durch hygrothermische Simulation

- **Tragkonstruktion (Nr. 4) und Dachschalung aus Vollholz (Nr. 2):**
 - GK 0, wenn $m_{wV} \geq 250$ g/m²
 - Verdunstungsreserve durch hygrothermische Berechnung nachgewiesen
 - GK 2 nach DIN 68 800-2 (statt chemischer Holzschutz: Lärche- oder Douglasie-Kernholz)
- **Dachschalung als Holzwerkstoff (Nr. 4):** NKL 2 Klasse, wenn Tragkonstruktion in GK 0; sonst NKL 3 (siehe Tabelle 4.5)

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 65:

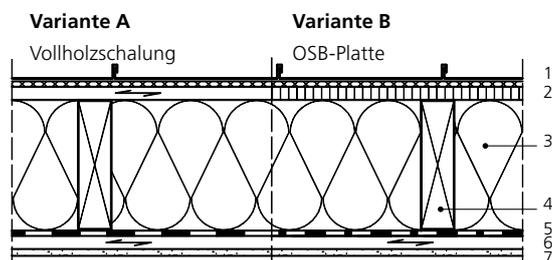
- **obere Beplankung oder Schalung (Nr. 2):** 16 (19) mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³ oder 21 (27) mm Vollholzschalung
- **untere Beplankung (Nr. 6/7):** 19 mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³, $e \leq 625$ mm oder 12,5 (2 x 12,5) mm GKF, $e \leq 400$ mm
- **Dämmung brandschutztechnisch nicht notwendig**

SCHALLSCHUTZ: $R_{w,R} \geq 35$ dB in Anlehnung an DIN 4109 Bbl. 1 Tab. 38

- **+ 2 dB bis + 8 dB** mit raumseitiger Beplankung an Federschiene
- **+ 5 dB** mit Bekiesung ($d_k \geq 30$ mm; $d_k \geq 50$ mm bei harter Bedachung)¹⁾
- **- 5 dB** mit raumseitiger Beplankung aus Nut-und-Feder-Schalung

¹⁾ Hierfür werden gesonderte Nachweise hinsichtlich des Feuchteschutzes erforderlich

8.2.2 _ Volldämmung mit Metalldachdeckung



- Bauteilaufbau für Dachneigung $\geq 2\%$**
- 1 Metaldachdeckung auf strukturierter Trennlage
 - 2A Vollholzschalung, $d = 24$ mm;
 - 2B OSB/3-Platten nach DIN EN 300, $d = 22$ mm, PMDI-verklebt
 - 3 Volldämmung mit Faserdämmstoff
 - 4 Tragkonstruktion, z.B. KVH (Anteil 10%)
 - 5 Dampfbremse, $s_d = 2$ m bzw. feuchtevariabel (bei heller Dachabdichtung)
 - 6 Installationsebene, ungedämmt, $d = 24$ mm
 - 7 Gipskartonbekleidung, $d = 12,5$ cm

Wärme- und Feuchteschutz

Dämmdicke ($\lambda_R = 0,04$ W/m K)	mittlerer U-Wert (W/m ² K)	Holzfeuchte u_m in der Dachschalung nach hygrothermischer Berechnung ¹⁾				Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m_{wv} in (g/m ²)		
		$u_{m,0}$	max $u_{m,1}$	min $u_{m,end}$	max $u_{m,end}$	m_{wT}	m_{wV}	Δm_{wv}
A: Vollholzschalung, $d = 24$ mm, Metaldachdeckung ($\alpha = 0,54$, $s_d \approx 50$ m³), Dampfbremse ($s_d = 2$ m konstant)								
200 mm	0,211	18,0%	21,3% ²⁾	15,1%	20,4%	362	724	362
240 mm	0,180	18,0%	20,9% ²⁾	15,2%	20,4%	358	716	358
B: OSB-Platten, $d = 22$ mm, Metallabdeckung ($\alpha = 0,54$, $s_d \approx 50$ m³), Dampfbremse feuchtevariabel ($s_d \approx 0,2 - 5$ m)								
200 mm	0,212	15,0%	18,8%	12,6%	17,3%	363	379	16
240 mm	0,180	15,0%	18,5%	12,7%	17,3%	359	377	18

¹⁾ Simulationsberechnung über 7 Jahre mit 250 g/m² Feuchteintrag pro Jahr, Berechnungsstart: 1. Oktober

Die dargestellten Rechenergebnisse gelten für Volldämmung aus Mineralfaserdämmstoffen. Die Anwendung von Zellulose- und Holzweichfaserdämmstoffen ist ebenfalls möglich. Durch Vergleichsrechnungen konnte die hygrothermische Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden. Im konkreten Anwendungsfall müssen die Berechnungen mit Datensätzen des jeweiligen Dämmstoffherstellers erfolgen.

²⁾ Die Überschreitung einer Holzfeuchte von 20% wird im 1. Jahr toleriert

³⁾ Die strukturierte Trennlage bleibt bei der hygrothermischen Simulation unberücksichtigt, weil keine Daten zur Verfügung stehen

HOLZSCHUTZ: GK 0 bzw. NKL 2 nachgewiesen durch hygrothermische Simulation

– Tragkonstruktion (Nr. 5) und

Dachschalung (Nr. 3):

- GK 0, wenn $m_{wv} \geq 250$ g/m² Verdunstungsreserve durch hygrothermische Berechnung nachgewiesen
- GK 2 nach DIN 68 800-2 (statt chemischer Holzschutz: Lärche- oder Douglasie-Kernholz)

– Dachschalung als Holzwerkstoffplatte: NKL 2 Klasse, wenn Tragkonstruktion in GK 0; sonst NKL 3 (siehe Tabelle 4.5)

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 65:

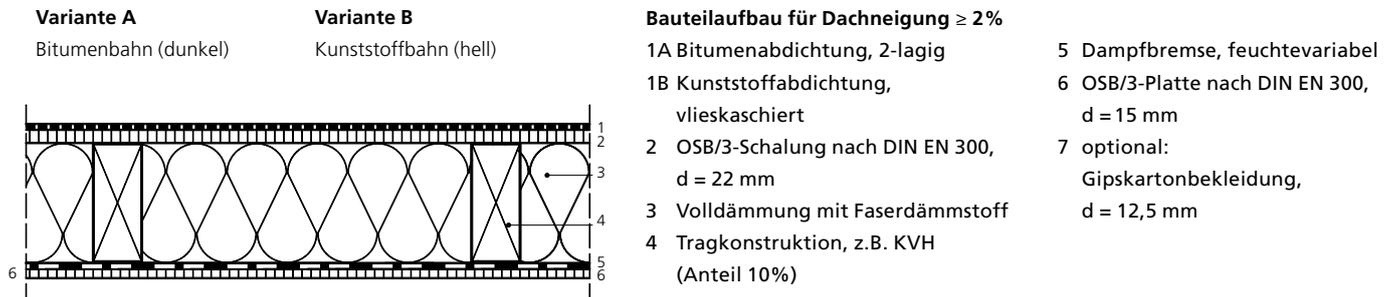
- obere Beplankung oder Schalung (Nr. 2):
16 (19) mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³ oder 21 (27) mm Vollholzschalung
- untere Beplankung (Nr. 6/7):
19 mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³,
 $e \leq 625$ mm oder 12,5 (2 x 12,5) mm GKF,
 $e \leq 400$ mm
- Dämmung brandschutztechnisch nicht notwendig

SCHALLSCHUTZ:

$R_{w,R} \geq 44$ dB gemäß Prüfzeugnis Hersteller

- +2 bis +8 dB mit raumseitiger Beplankung an Federschiene
- -5 dB mit raumseitiger Beplankung aus Nut-und-Feder-Schalung

8.2.3 Holztafelbauweise mit beidseitiger Beplankung



Wärme- und Feuchteschutz

Dämmdicke ($\lambda_R = 0,04$ W/m K)	mittlerer U-Wert (W/m ² K)	Holzfeuchte u_m in der Dachschalung nach hygrothermischer Berechnung ¹⁾				Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m_w in (g/m ²)		
		$u_{m,0}$	max $u_{m,1}$	min $u_{m,end}$	max $u_{m,end}$	m_{wT}	m_{wV}	m_w
A: Dachabdichtung 2-lagige Bitumendachbahn (dunkel, $\alpha = 0,88$, $s_d \approx 300$ m), mit Dampfbremse²⁾ feuchtevariabel								
200 mm	0,217	15,0%	18,5%	14,8%	19,7%	162	231	69
240 mm	0,184	15,0%	18,3%	15,0%	20,0%	161	230	69
B: Dachabdichtung Kunststoffdachbahn (hell, $\alpha = 0,40$, $s_d = 24$ m), mit Dampfbremse²⁾ feuchtevariabel								
200 mm	0,219	15,0%	18,7%	14,7%	19,8%	160	297	137
240 mm	0,186	15,0%	18,3%	14,8%	20,2%	160	297	137

¹⁾ Simulationsberechnung über 10 Jahre mit 250 g/m² Feuchteeintrag pro Jahr, Berechnungsstart: 1. Oktober
Die dargestellten Rechenergebnisse gelten für Volldämmung aus Mineralfaserdämmstoffen. Die Anwendung von Holzweichfaserdämmstoffen ist ebenfalls möglich. Durch Vergleichsrechnungen konnte die hygrothermische Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden. Im konkreten Anwendungsfall müssen die Berechnungen mit Datensätzen des jeweiligen Dämmstoffherstellers erfolgen.
²⁾ Ansatz der feuchtevariablen Dampfbremse mit $s_d = 0,2$ -5 m (nach DIN 4108-3 mit 0,2 m konstant)

HOLZSCHUTZ: GK 0 bzw. NKL 2 nachgewiesen durch hygrothermische Simulation

- **Tragkonstruktion (Nr. 5):** GK 0, wenn $m_{wV} \geq 250$ g/m² Verdunstungsreserve durch hygrothermische Berechnung nachgewiesen; sonst GK 2 bzw. Lärche- oder Douglasie-Kernholz
- **Holzwerkstoffplatte als Dachschalung (Nr. 4):** NKL 2, wenn Tragkonstruktion in GK 0; sonst NKL 3 (siehe Tabelle 4.5)
- **Holzwerkstoffplatte unten (Nr. 6):** NKL 1 (ständig trocken)

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 65:

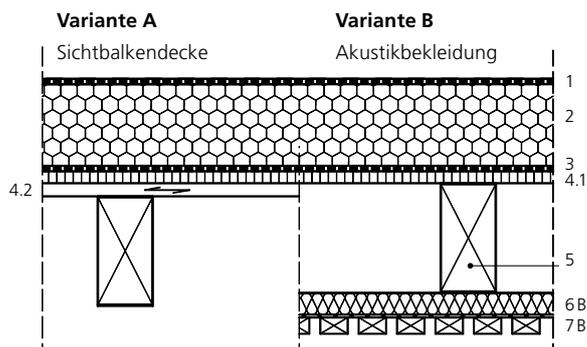
- **obere Beplankung oder Schalung (Nr. 2):** 16 (19) mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³ oder 21 (27) mm Vollholzschalung
- **untere Beplankung (Nr. 6/7):** 19 mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600$ kg/m³, $e \leq 625$ mm oder 12,5 (2 x 12,5) mm GKF, $e \leq 400$ mm
- **Dämmung brandschutztechnisch nicht notwendig**

SCHALLSCHUTZ: $R_{w,R} \geq 40$ dB in Anlehnung an DIN 4109 Bbl. 1 Tab. 38

- **+5 dB** mit Bekiesung ($d_k \geq 30$ mm; $d_k \geq 50$ mm bei harter Bedachung)¹⁾

¹⁾ Hierfür werden gesonderte Nachweise hinsichtlich des Feuchteschutzes erforderlich

8.2.4 Aufdachdämmung auf Balkentragwerk



Bauteilaufbau für Dachneigung $\geq 2\%$

- 1 Dachabdichtung
 - 2 Dämmung, druckfest
 - 3 Notabdichtung/Dampfsperre, $s_d \geq 100$ m
 - 4.1 Holzwerkstoffplatte (Scheibenausbildung)
 - 4.2 Sichtschalung, $d \geq 24$ mm
 - 5 Tragkonstruktion, z.B. KVH, $e \geq 625$ mm
 - 6B Akustikdämmung mit Vlieskaschierung, $d = 40$ mm
 - 7B Holzschalung auf Lücke
- Zusätzlich können Schutzschichten, z.B. Bekiesung oder extensive Begrünung, aufgebracht werden²⁾

Wärme- und Feuchteschutz^{1) 2)}

Dämmdicke	Dämmung ($\lambda_R = 0,04$ W/m K)			Holzweichfaserdämmung ($\lambda_R = 0,05$ W/m K)					
	mittlerer U-Wert (W/m ² K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 (g/m ²)		mittlerer U-Wert (W/m ² K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 (g/m ²)				
		m_{WT}	m_{WV}	Δm_W		m_{WT}	m_{WV}	Δm_W	
A: Dachabdichtung Kunststoffbahn (hell, $s_d \leq 30$ m), ohne Oberflächenschutz ²⁾									
160 mm	0,168	3	94	91	0,181	3	94	91	
200 mm	0,144	3	94	91	0,156	3	94	91	
B: wie A, raumseitige Akustikdämmung: 40 mm									
160 + 40 mm	0,187	3	94	91	0,205	3	94	91	
200 + 40 mm	0,158	3	94	91	0,173	3	94	91	

¹⁾ Bewertung mit dynamischen Berechnungsverfahren aufgrund eindeutiger Einstufung nicht erforderlich

²⁾ Der Einfluss des Materials der Dachabdichtung und aufliegender Schichten ist hier für den Feuchteschutz von untergeordneter Bedeutung

HOLZSCHUTZ: GK 0 bzw. NKL 1/2

– Tragkonstruktion (Nr. 6):

GK 0 nach DIN 68 800-2

– Dachschalung (Nr. 5.2):

GK 0 nach DIN 68 800-2

– Holzwerkstoffplatte (Nr. 5.1):

NKL 1 bei Variante 1;

NKL bei Variante 2 nach

DIN 68 800-2, Tab. 3

BRANDSCHUTZ: F30-B nach DIN 4102-4 Tab. 71

bzw. Bemessung nach DIN 4102-22

Variante A: Sichtbalkendecke

– Sparren (Nr. 5): Mindestquerschnitt gemäß

Bemessung nach DIN 4102-22

– Dachschalung (Nr. 4) (abhängig von der Baustoffklasse der Aufdachdämmung (Nr. 2):

– Dämmstoff (A1): $d_{4,1} \geq 28$ mm ($\rho \geq 600$ kg/m³) oder $d_{4,1} \geq 25$ mm und $d_{4,2} \geq 16$ mm

– Dämmstoff (B2): $d_{4,1} \geq 40$ mm ($\rho \geq 600$ kg/m³) bzw. $d_{4,1} \geq 30$ mm und $d_{4,2} \geq 16$ mm

Variante B: Unterseite mit brandschutztechnisch wirksamer Bekleidung

– Bekleidung (Nr. 7) nach DIN 4102-4, Tab. 65, vgl. Bauteil 8.2.1 bis 8.2.3

– Sparren (Nr. 5): keine Anforderung, Mindestbreite 40 mm

SCHALLSCHUTZ: $R_{w,R} \geq 40$ dB in Anlehnung an DIN 4109 Bbl. 1 Tab. 38

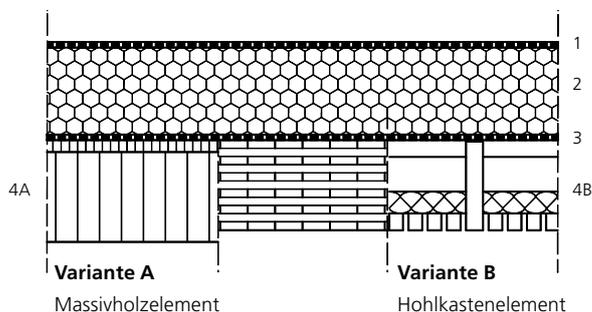
Variante A: $R_{w,R} \geq 40$ dB¹⁾

Variante B: $R_{w,R} \geq 45$ dB¹⁾

– + 5 dB mit Bekiesung ($d_k \geq 30$ mm; $d_k \geq 50$ mm bei harter Bedachung)

¹⁾ Schätzung, es liegen derzeit keine Bauteilprüfungen vor

8.2.5 _ Aufdachdämmung auf Flächentragwerk



Bauteilaufbau für Dachneigung $\geq 2\%$

- 1 Dachabdichtung
- 2 Aufdachdämmung, druckfest
- 3 Notabdichtung/Dampfsperre, $s_d \geq 100$ m

- 4A Brettstapelelement mit Holzwerkstoffplatte zur Aussteifung oder:
BS-Holz-Element oder
Brettsperrholzelement, schubfest miteinander verbunden
- 4B Hohlkasten-/Flächenelement, z.B. mit Akustikprofil, schubfest miteinander verbunden

Zusätzlich können Schutzschichten, z.B. Bekiesung oder extensive Begrünung, aufgebracht werden²⁾

Wärme- und Feuchteschutz^{1) 2)}

Dämmdicke	Dämmung ($\lambda_R = 0,04$ W/m K)			Holzweichfaserdämmung ($\lambda_R = 0,05$ W/m K)				
	mittlerer U-Wert (W/m ² K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m_{w} in (g/m ²)			mittlerer U-Wert (W/m ² K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 mit m_{w} in (g/m ²)		
		m_{WT}	m_{WW}	m_W		m_{WT}	m_{WW}	m_W
A: 160-mm-Massivholzsystem mit Aufdachdämmung, ohne Oberflächenschutz								
160 mm	0,181	3	94	91	0,197	3	93	90
200 mm	0,154	3	94	91	0,168	3	93	90
B: Hohlkastenelement mit raumseitig 40 mm Akustikdämmung, ohne Oberflächenschutz								
40 + 160 mm	0,181	3	94	91	0,197	3	94	91
40 + 200 mm	0,153	3	94	91	0,168	3	94	91

¹⁾ Bewertung mit dynamischen Berechnungsverfahren aufgrund eindeutiger Einstufung nicht erforderlich

²⁾ Der Einfluss des Materials der Dachabdichtung und aufliegender Schichten ist hier für den Feuchteschutz von untergeordneter Bedeutung

HOLZSCHUTZ: GK 0 bzw. NKL 1/2

– Tragkonstruktion (Nr. 4A/B):

GK 0 nach DIN 68 800-2

– Holzwerkstoffplatte (Nr. 4A):

NKL 1 DIN 68 800-2, Tab. 3

BRANDSCHUTZ: mind. F30-B

Variante A:

Mindestquerschnitt gemäß Bemessung nach DIN 4102-22

Variante B:

Mindestquerschnitt gemäß Bemessung bzw. Herstellerangabe

SCHALLSCHUTZ: $R_{w,R} \geq 45$ dB¹⁾

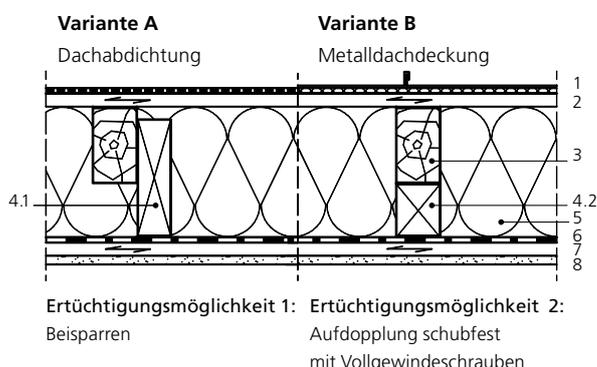
– +5 dB mit Bekiesung

($d_k \geq 30$ mm;

$d_k \geq 50$ mm bei harter Bedachung)

¹⁾ Schätzung, es liegen derzeit keine Bauteilprüfungen vor

8.2.6 _ Flachdachsanieierung von unten, nicht belüftet



Bauteilaufbau

für Dachneigung $\geq 2\%$

- 1A Dachabdichtung Bitumenbahnen
- 1B Metalldachdeckung auf strukturierter Trennlage
- 2 Holzschalung (Bestand)
- 3 Dachsparren (Bestand)

- 4.1 Beisparrnen KVH/BSH, seitlich befestigt
- 4.2 Aufdopplung, schubfest verschraubt
- 5 Volldämmung (für Variante A vorzugsweise Einblasdämmung)
- 6 Dampfbremse feuchtevariabel
- 7 Unterkonstruktion/ Sparschalung
- 8 Bekleidung

Wärme- und Feuchteschutz

Dämmdicke ($\lambda_R = 0,04 \text{ W/m K}$)	mittlerer U-Wert ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)	Holzfeuchte u_m in der Dachschalung nach hygrothermischer Berechnung ¹⁾				Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 (g/m^2)		
		$u_{m,0}$	max $u_{m,1}$	min $u_{m,end}$	max $u_{m,end}$	m_{WT}	m_{WV}	m_W
A: Dachabdichtung 2-lagige Bitumendachbahn (dunkel, $\alpha = 0,88$, $s_d \approx 300 \text{ m}$), Dampfbremse²⁾ feuchtevariabel								
200 mm	0,209	18,0%	20,5% ³⁾	8,9%	14,1%	361	690	329
240 mm	0,178	18,0%	20,1% ³⁾	9,0%	14,2%	357	682	325
B: Vollholzschalung, $d = 24 \text{ mm}$, Metalldachdeckung ($\alpha = 0,88$, $s_d \approx 50 \text{ m}$), Dampfbremse²⁾ feuchtevariabel								
200 mm	0,211	18,0%	20,9% ³⁾	12,2%	17,1%	362	724	362
240 mm	0,180	18,0%	20,5% ³⁾	12,4%	17,3%	358	716	358

¹⁾ Simulationsberechnung über 7 Jahre mit 250 g/m^2 Feuchteeintrag pro Jahr, Berechnungsstart: 1. Oktober

Die dargestellten Rechenergebnisse gelten für Volldämmung aus Mineralfaserdämmstoffen. Die Anwendung von Zellulose- und Holzweichfaserdämmstoffen ist ebenfalls möglich. Durch Vergleichsrechnungen konnte die hygrothermische Funktionstüchtigkeit nachgewiesen werden. Im konkreten Anwendungsfall müssen die Berechnungen mit Datensätzen des jeweiligen Dämmstoffherstellers erfolgen.

²⁾ Ansatz der feuchtevariablen Dampfbremse mit $s_d = 0,2 - 5 \text{ m}$ (nach DIN 4108-3 mit $0,2 \text{ m}$ konstant)

³⁾ Die Überschreitung einer Holzfeuchte von 20% wird im 1. Jahr toleriert

HOLZSCHUTZ: GK 0 bzw. NKL 2 nachgewiesen durch hygrothermische Simulation

- Tragkonstruktion (Nr. 4) und Dachschalung aus Vollholz (Nr. 2):
 - GK 0, weil Verdunstungsreserve 250 g/m^2 durch hygrothermische Berechnung nachgewiesen
 - GK 2 nach DIN 68 800-2 (statt chemischer Holzschutz: Lärche- oder Douglasie-Kernholz)
- Dachschalung (Nr. 2) als Holzwerkstoffplatte: NKL 2 Klasse, wenn Tragkonstruktion in GK 0; sonst NKL 3 (siehe Tabelle 4.5)

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 65

- obere Beplankung oder Schalung (Nr. 2): 16 (19) mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$ oder 21 (27) mm Vollholzschalung
- untere Beplankung (Nr. 7/8) 19 mm Holzwerkstoff mit $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$, $e \leq 625 \text{ mm}$ oder 12,5 (2 x 12,5) mm GKF, $e \leq 400 \text{ mm}$
- Dämmung brandschutztechnisch nicht notwendig

SCHALLSCHUTZ: $R_{w,R} \geq 45 \text{ dB}$

- +2 dB bis +8 dB mit raumseitiger Beplankung an Federschiene
- +5 dB mit Bekiesung bei Variante A ($d_k \geq 30 \text{ mm}$; $d_k \geq 50 \text{ mm}$ bei harter Bedachung)¹⁾
- -5 dB mit raumseitiger Beplankung aus Nut- und Feder-Schalung

¹⁾ Hierfür werden gesonderte Nachweise hinsichtlich des Feuchteschutzes erforderlich

9 _ Normen, Regelwerke, Literatur

9.1 _ Normen

- DIN 1052:2004-08: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- DIN 4108-3:2001-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- DIN 18 195-1:2000-08: Bauwerksabdichtungen – Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten
- DIN 18 234-2:2003-09: Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer – Brandbeanspruchung von unten – Teil 2: Verzeichnis von Dächern, welche die Anforderungen nach DIN 18 234-1 erfüllen; Geschlossene Dachflächen
- DIN 18 531-1:2005-11: Dachabdichtungen – Abdichtungen für nicht genutzte Dächer – Teil 1: Begriffe, Anforderungen, Planungsgrundsätze
- DIN 18 531-2:2007-08: Dachabdichtungen – Abdichtungen für nicht genutzte Dächer – Teil 2: Stoffe
- DIN 68 000-2:1996-05: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau
- DIN 68 800-3:1990-04: Holzschutz; Vorbeugender chemischer Holzschutz
- DIN EN 350-2:1994-10: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz – Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa
- DIN EN 15 026:2007-07: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation
- DIN EN 1995-1-2:2006-10: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- DIN V 20 000-1:2005-12: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 1: Holzwerkstoffe
- DIN V 20 000-201:2006-11: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 201: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen nach europäischen Produktnormen zur Verwendung in Dachabdichtungen

DIN EN 13 956:2006-02: Abdichtungsbahnen – Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen, Definition und Eigenschaften

DIN EN 13 986:2005-03: Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung

9.2 _ Regelwerke

- [FDR] Fachregel für Dächer mit Abdichtungen (Flachdachrichtlinien), herausgegeben vom ZVDH und Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. – Bundesfachabteilung Bauwerksabdichtung; Ausgabe September 2001/2003
- [H HH] Hinweise Holz und Holzwerkstoffe, Ausgabe Sept. 2005, herausgegeben vom ZVDH
- [MB WS] Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand, Ausgabe Sept. 2004; herausgegeben vom ZVDH
- [RDA] Regeln für Dächer mit Abdichtungen, herausgegeben vom Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) – Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik – e.V., Stand September 2005; darin enthalten:
- [KFR] Richtlinien für die Ausführung von Klempnerarbeiten an Dach und Fassade (Klempnerfachregeln), Ausgabe 5/2005; Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK), St. Augustin
- [EnEV 2007] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007
- [M IndBauRL] Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Muster-Industriebaurichtlinie – M IndBauRL), Fassung März 2000; www.is-argebau.de
- [MBO 2002] Musterbauordnung (MBO), Fassung Nov. 2002; www.is-argebau.de
- [V StättV] Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung – MVStättV); Fassung Juni 2005; www.is-argebau.de

9.3 _ Literatur

- [1] Roßbach, S.: „Feuchteberechnung von Flachdächern in Holzbauweise“; Diplomarbeit an der Fachhochschule Biberach, Oktober 2007
- [2] Kohlwey, R.; Schmidt, D.: „Die europäische Normung von Holzwerkstoffen für das Bauwesen“; INFORMATIONSDIENST HOLZ spezial, Oktober 2006; Holzabsatzfonds, Bonn
- [3] Stiegel, H.; Hauser, G.: INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 2, Folge 6 „Wärmebrücken“, Holzabsatzfonds, Bonn, Dezember 2007
- [4] INFORMATIONSDIENST HOLZ, CD „Wärmebrückenkatalog“, Herausgeber: DGfH Informations- und Service GmbH
- [5] Künzel, H.M.; Sedlbauer, K.: „Reflektierende Flachdächer – sommerlicher Wärmeschutz kontra Feuchteschutz“; IBP-Mitteilung 482 (2007)
- [6] Otto, F.; Ringeler, M.: INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch Reihe 1, Teil 1, Folge 8 „Funktionsschichten und Anschlüsse im Holzhausbau“ Holzabsatzfonds, Bonn, und DGfH Innovations- und Service GmbH, München, Oktober 2004
- [7] Holtz, F.; Hessinger, J.; Rabold, A.; Buschbacher, H.-P.: INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 3, Folge 4 „Schallschutz Wände und Dächer“ Holzabsatzfonds, Bonn und DGfH Innovations- und Service GmbH, München, August 2004
- [8] Meyer-Ottens, C.: INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 4, Folge 2 „Feuerhemmende Holzbauteile F30-B“ Holzabsatzfonds, Bonn und Entwicklungsgemeinschaft Holzbau, München, Mai 1994
- [9] Winter, S.; Schopbach, H.: INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 4, Folge 4 „Brandschutz im Hallenbau“ Holzabsatzfonds, Bonn, Dezember 2004
- [10] Dehne, M.; Pape, H.; Kruse, D.; Krolak, M.: „Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockungen in Holzbauweise“; INFORMATIONSDIENST HOLZ spezial, Dezember 2005; Holzabsatzfonds, Bonn
- [11] Borsch-Laaks, R.: Belüftet oder lieber doch nicht? In Holzbau – die neue quadriga, Heft 5/2004, Kastner Verlag, Wolnzach, 2004
- [12] Borsch-Laaks, R. et al: Flaches Dach, aber sicher! – Flachdach ohne Belüftung mit Attika; In Holzbau – die neue quadriga, Heft 6/2004, Kastner Verlag, Wolnzach, 2004
- [13] Lewitzki, W.; Schulze, H.: INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 5, Folge 1 und 2 „Baulicher Holzschutz“ Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der DGfH e.V., München, 1997
- [14] Künzel, H. M.: „Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?“; IBP-Mitteilung 355 (1999)
- [15] Künzel, H. M.: „Bedeutung von Klimabedingungen und Diffusionseigenschaften für die Feuchtesicherheit voll gedämmter Altbau-dächer“, Tagungsband Bauphysik-Kolloquium zum 60. Geburtstag von Prof. Gertis, 2000
- [16] Künzel, H.; Zirkelbach, D.: „Feuchteschutzbeurteilung von Holzkonstruktionen durch ein- oder zweidimensionale Simulation“; WTA-Almanach 2006
- [17] Winter, S.; Schmidt, D.; Schopbach, H.: „Schimmelpilzbildung bei Dachüberständen und an Holzkonstruktionen“, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, 2003. Veröffentlicht im Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart, 2004
- [18] Böttcher, P.: „Anstriche für Holz- und Holzwerkstoffe im Außenbereich“ in INFORMATIONSDIENST HOLZ, Holzabsatzfonds, Bonn, Dezember 1999
- [19] BFS-Merkblatt Nr. 18: „Beschichtungen auf Holz und Holzwerkstoffen im Außenbereich“; Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz, Frankfurt 2006, www.farbe-bfs.de
- [20] „Vermeidung von Schimmelpilzbefall an Anstrichflächen außen“ Merkblatt der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, Dezember 2003, www.dgfh.de
- [21] Wagner, H.: „Luftdichtigkeit und Feuchteschutz (beim Steildach mit Dämmung zwischen den Sparren)“ in DBZ 12/89 Seite 1.639 ff.

Bildnachweis

sofern nicht anders genannt, liegen die Rechte von Abbildungen und Zeichnungen bei der bauart Konstruktions GmbH + Co. KG, Lauterbach

Titelbild:

Richters/Architekten Banz + Riecks
(Nullemissionsfabrik Solvis in Braunschweig, Architekten Banz und Riecks, Bochum)

Abb. 1.1, 3.7, 5.7, 7.3 Holzabsatzfonds

Abb. 1.2 Richters/Architekten Banz + Riecks

Abb. 3.1, 3.2, 3.8 Deutsche Rockwool Mineralwolle GmbH & Co. OHG

Abb. 3.3, 3.4 Paul Bauder GmbH & Co. KG

Abb. 3.5, 3.6 Rheinzink GmbH & Co. KG

Abb. 4.1, 6.4 Robert Borsch-Laaks

Abb. 4.2, 4.5, 4.6 Lignotrend Produktions GmbH

Abb. 4.7 Michael Juhr

Abb. 4.5, 4.6 Lignotrend

Abb. 4.9, 4.10 Kerler Projekt und Konstruktion

Abb. 5.5 Protektorwerk Florenz Maisch GmbH & Co. KG

Abb. 5.6 alwitra GmbH & Co. Klaus Göbel

Abb. 7.2 François Colling

HOLZABSATZFONDS
ANSTALT DES ÖFFENTLICHEN RECHTS

HOLZABSATZFONDS

Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft

Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn

Telefon 02 28 / 30 83 80, Telefax 02 28 / 3 08 38 30

info@holzabsatzfonds.de

www.informationsdienst-holz.de

www.holzabsatzfonds.de

Projektleitung:

Dipl.-Ing. (FH) Architekt Ludger Dederich

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schmidt, Lauterbach

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, München

Redaktion:

Fachagentur Holz, Eutin

Hinweise zu Änderungen,

Ergänzungen und Errata unter:

www.informationsdienst-holz.de

Begleitende Arbeitsgruppe:

– Dipl.-Ing. Richard Adriaans, Herford

– Zimmermeister Dipl.-Ing. Walter Bauer,
Satteldorf-Gröningen

– Robert Borsch-Laaks, Aachen

– Dipl.-Ing. (FH) Björn David, Berlin

– Dipl.-Ing. Michael Förster, Schwetzingen

– Dipl.-Ing. Andreas Gebing, Gladbeck

– Jürgen Küllmer, Lohfelden

– Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Schäfer, Stuttgart

– Dipl.-Ing. Norman Werther, München

– Dipl.-Ing. Daniel Zirkelbach, Holzkirchen

Technische Anfragen an:

Überregionale Fachberatung:

0 18 02 / 46 59 00 (0,06 Euro / Gespräch
aus dem Festnetz der Deutschen Telekom AG,
ggf. abweichende Preise aus den Mobilfunk-
netzen)

fachberatung@infoholz.de

www.informationsdienst-holz.de

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln bzw. dem Stand der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.