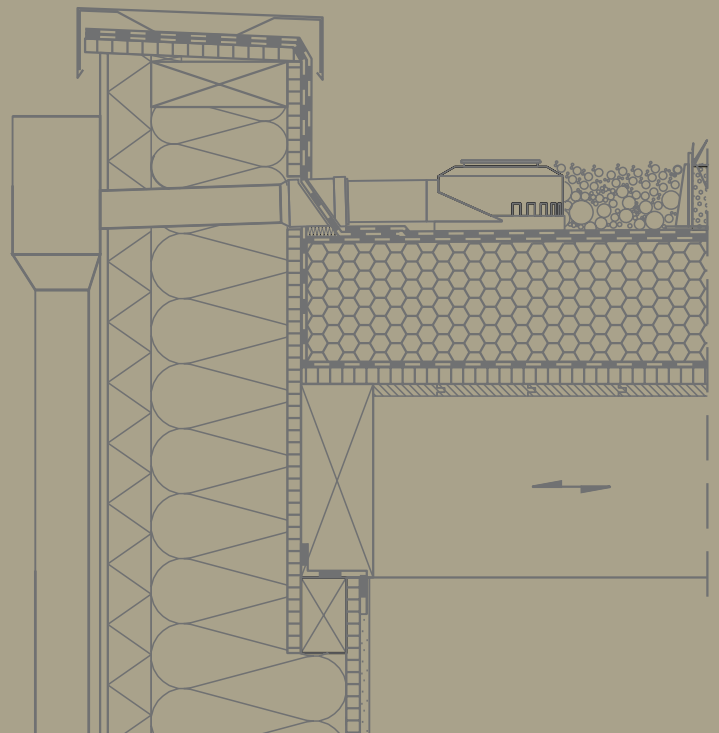




Flachdächer in Holzbauweise



Impressum

Herausgeber:

Holzbau Deutschland-Institut e.V.
Kronenstraße 55-58
D-10117 Berlin
Tel. +49 (0) 30 20314 533
Fax +49 (0) 30 20314 566
www.institut-holzbau.de

Finanzierende Projektpartner

Holzbau Deutschland - Bund Deutscher Zimmermeister im ZDB, Berlin, und seine Landesverbände

Holzbau Deutschland Leistungspartner, Berlin

Förderpartner Deutscher Holzbau, Berlin

Gütegemeinschaft

Holzbau - Ausbau - Dachbau e.V., Berlin

proHolzBW GmbH, Ostfildern

Deutscher Holzfertigbau-Verband e.V., Ostfildern

Verband Holzfaser Dämmstoffe e.V., Wuppertal

Moll bauökologische Produkte GmbH,
Schwetzingen

WolfIn Bautechnik GmbH, Wächtersbach

2. Auflage 2019

Erschienen: 01/2019

ISSN-Nr. 0466-2114

holzbau handbuch

Reihe 3: Bauphysik

Teil 2: Feuchteschutz

Folge 1: Flachdächer in Holzbauweise

Die Schrift ist erstmals 2008 als Informationsdienst HOLZ spezial erschienen.

Bearbeitung 1. Auflage:

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schmidt, Lauterbach
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter, München

Die Wortmarke INFORMATIONSDIENST HOLZ ist Eigentum des Informationsverein Holz e.V.
www.informationsvereinholz.de

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Schmidt, M.Eng., Lauterbach
Dipl.-Ing. (FH) Daniel Kehl, Leipzig

Schallschutz (Kap. 4.4):

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold, Rosenheim

Brandschutz (Kap. 4.5):

Dipl.-Ing. Thorsten Kober, Berlin

Fachredaktion:

Dipl.-Ing. Architekt Martin Mohrmann, Kiel

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Bühler und

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Niedermeyer,

Holzbau Deutschland Institut e.V., Berlin

Begleitende Arbeitsgruppe:

Dipl.-Ing. (FH) Richard Adriaans, Interessengemeinschaft Qualitätsmanagement für Dächer und Flachdachabdichtungen e.V. (IQDF), Herford

Dr. Julia Bachinger, Holzforschung Austria, Wien (A)

Dipl.-Ing. Wolfgang Schäfer, Deutscher Holzfertigbau-Verband e.V. (DHV), Ostfildern

Dipl.-Ing. (FH) Martin Epple, Ingenieurbüro Epple, Aulendorf

Dipl.-Ing. (FH) Zimmermeister Walter Bauer, Bauer Holzbau GmbH, Satteldorf-Gröningen

Dipl.-Ing. Roland Glauner, Holzbau Deutschland

Dipl.-Ing. Alexander Gump, Gump & Maier GmbH, Binswangen

Zeichnungen:

Max Köhnken, Holzbau Deutschland Institut e.V. mit freundlicher Unterstützung durch **cadwork**

Gestaltung:

Ute Kirst, designbüro, Lauterbach

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden. Hinweise zu Änderungen, Ergänzungen und Errata unter: www.informationsdienst-holz.de

Inhalt

Seite	4	1	_ Einleitung	59	6	_ Belüftete Konstruktionen
	6	2	_ Bauarten	59	6.1	_ Planungsgrundlagen
	6	2.1	_ Definitionen	59	6.2	_ Konstruktionen
	6	2.2	_ Nicht belüftete Konstruktionen	60	6.3	_ Belüftungsempfehlungen
	7	2.3	_ Belüftete Konstruktionen	62	6.4	_ Bewertung des Holzschutzes
	10	3	_ Planungsgrundlagen	63	7	_ Dachränder und Dachuntersichten
	10	3.1	_ Maßgebende Normen, Regelwerke	63	7.1	_ Problemstellung
	10	3.1.1	_ Wichtige Anwendungsnormen	63	7.2	_ Feuchteinwirkungen
	11	3.1.2	_ Fachregeln des Handwerks	64	7.3	_ Ausführungsregeln
	12	3.2	_ Dachgefälle	65	7.4	_ Geeignete Holz und Holzwerkstoffe
	13	3.3	_ Dachentwässerung	66	7.5	_ Oberflächenbeschichtung
	16	3.4	_ Dachabdichtungen	67	8	_ Anschlussdetails
	16	3.4.1	_ Auswahl und Verlegung	67	8.1	_ Attikaanschluss Aufdachdämmung (Typ I)
	17	3.4.2	_ Abdichtungsmaterialien	68	8.2	_ Dachüberstand Flachdach an Massivbau (Typ II)
	20	3.4.3	_ Bauzeit- und Behelfsabdichtungen	69	8.3	_ Dachterrasse Holzbau (Typ II)
	21	3.4.4	_ Anschlüsse an aufgehende Bauteile	70	8.4	_ Belüftetes Flachdach (Typ IV)
	22	3.5	_ Dachdeckungen aus Metall	71	9	_ Glossar
	23	3.6	_ Konstruktionshölzer und Schalungen aus Vollholz	75	10	_ Regelwerke, Literatur
	24	3.7	_ Holzwerkstoffe als tragende und aussteifende Dachschalung	75	10.1	_ Technische Baubestimmungen
	27	3.8	_ Wärmedämmstoffe	76	10.2	_ Gesetze, Verordnungen, Richtlinien
	29	3.9	_ Dachbegrünungen	76	10.3	_ Fachregeln und Merkblätter
	30	3.10	_ Ausführung und Unterhaltung	77	10.4	_ Fachliteratur
	30	3.10.1	_ Ausführungshinweise			Anhang
	31	3.10.2	_ Unterhaltungsmaßnahmen	79		_ Bauteilaufbauten und Nachweise
	33	3.10.3	_ Flachdach-Monitoring	80	Ia	_ Aufdachdämmung auf Balkentragwerk
	34	4	_ Bauphysikalische Grundlagen	81	Ib	_ Aufdachdämmung auf Flächentragwerk
	34	4.1	_ Wärmeschutz	82	IIa	_ Volldämmung mit Zusatzdämmung mit Dachbegrünung bzw. Bekiesung
	36	4.2	_ Feuchteschutz	84	IIb	_ Volldämmung mit Zusatzdämmung mit Terrassenbelag
	36	4.2.1	_ Feuchteinwirkungen	86	IIIa	_ Volldämmung mit Metaldachdeckung
	38	4.2.2	_ Nachweisverfahren	88	IVa	_ Volldämmung mit separater Belüftungsebene
	42	4.3	_ Holzschutz	89	IVb	_ Volldämmung mit separater Belüftungsebene und Deckschichten oder Terrassenbelag
	44	4.4	_ Schallschutz	90	Va	_ Belüftete Dämmebene mit Metaldachdeckung
	49	4.5	_ Brandschutz	91		_ Abbildungsnachweis
	54	5	_ Nicht belüftete Konstruktionen	91		_ Weiterführende Schriften
	54	5.1	_ Planungsgrundlagen			
	54	5.2	_ Bauphysikalisches Wirkprinzip			
	56	5.3	_ Instationäre, hygrothermische Berechnungsverfahren			

1 _ Einleitung

Flache und flach geneigte Dächer werden seit Jahrzehnten in Holzbauweise erstellt. Hölzerne Tragkonstruktionen zeichnen sich dabei durch ihre leichte Bauweise und vor allem schnelle Herstellung aus. Die heutigen Möglichkeiten der Vorfertigung von ganzen Dachelementen eröffnet zudem weitere Einsatzbereiche wie z.B. Industriedächer oder auch komplette Dachelemente, deren Unterseiten bereits als hochwertige Sichtoberflächen gefertigt sind.

Flachdächer in Holzbauweise finden häufig Anwendung im Wohnungsbau, bei Schulen und Kindergärten und bei Gewerbeimmobilien. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass vorgefertigte Dachelemente auch die hohen Anforderungen an den Brandschutz der Musterindustriebau-Richtlinie erfüllen. Ob als Anbau oder Aufstockung zur Nachverdichtung, als moderner Wohnungsbau oder großflächige Dachkonstruktion einer Gewerbeimmobilie – Holz als organischer

Baustoff verlangt beim Einsatz als Flachdach von Planern und Ausführenden umfassende Kenntnisse über das Materialverhalten, insbesondere des Feuchte- und Holzschutzes, weil die Abdichtung auf der Außenseite immer mindestens diffusionshemmend ist. Schadensfälle haben zudem auch zu einer Verunsicherung bei der Ausführung insbesondere nicht belüfteter Flachdächer mit ausgedämmter Holztragkonstruktion geführt, die deshalb in Bezug auf Dauerhaftigkeit und Fehlertoleranz umstritten sind.

Seit Herausgabe des Informationsdienst HOLZ spezial „Flachdächer in Holzbauweise“ [1] in 2008, in dem nicht belüftete Konstruktionen erstmals ausführlich beschrieben wurden, haben sich neue Erkenntnisse ergeben, die sich mittlerweile in zahlreichen Normen und Regelwerken wiederfinden. Die aktuellen Erkenntnisse und Anforderungen sind Anlass für die vorliegende umfassende Überarbeitung der Schrift.

Abb. 1.1

Vorgefertigtes Dachelement für Raummodule
Architekten werk.um,
Darmstadt



Die Schrift stellt für Planer und Holzbauer eine Planungshilfe dar, die den aktuellen Stand des Wissens zu Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise abbildet und dabei wichtige Grundlageninformationen für eine fachgerechte Planung und Ausführung bietet.

Es werden belüftete und nicht belüftete Konstruktionen aufgezeigt, die schadensfreies Bauen und eine über die gesamte Lebensdauer ausreichende Robustheit und Fehlertoleranz sicherstellen. Dazu werden baukonstruktive und bauphysikalische Planungsgrundlagen für die Wahl des geeigneten Dachaufbaus und die Ausbildung von Dachüberständen beschrieben, welche durch Bauteilaufbauten und Detailanschlüsse ergänzt werden. Erforderlichenfalls werden zudem Risiken und Einsatzgrenzen bestimmter Konstruktionen aufgezeigt.

Die Schrift behandelt Flachdächer und flach geneigte Dächer mit Dachabdichtungen oder Metaldachdeckung, die i. d. R. bis ca. 15° Dachneigung Anwendung finden. Die Konstruktionen sind gekennzeichnet durch eine äußere diffusionshemmende bis diffusionsdichte Schicht, die belüftet oder nicht belüftet sein kann.

Bei Flachdächern liegt eine Nutzung der Dachflächen durch extensive Begrünungen, Solaranlagen und Dachterrasse nahe, weshalb auf die sich daraus ergebenden Besonderheiten eingegangen wird. Darüberhinausgehende Nutzungen, wie intensive Begrünungen oder befahrbare Oberflächen, sind im Holzbau eher unüblich und werden daher in dieser Schrift nicht behandelt. Die beschriebenen Flachdachkonstruktionen können im Wohnungsbau, bei öffentlichen Gebäuden sowie im Industrie- und Gewerbebau angewendet werden, wo sie meist werkseitig vorgefertigt zum Einsatz kommen.

Definition in DIN 68800-2 in Abhängigkeit der Dachneigung (DN):

Flachdach:

DN $\geq 2\%$ und $\leq 5\%$ (3°)

Flach geneigtes Dach:

DN $> 3^\circ$ und $\leq 5^\circ$

Geneigtes Dach:

DN $> 5^\circ$ (ab ca. 10 %)



Abb. 1.2

Produktions- und Verwaltungsgebäude viatrafic controlling in Leverkusen
Architekten Banz + Riecks,
Bochum (ebenso Titelbild)

2 _ Bauarten

Übersicht der Bauarten mit Kennzeichen sowie Vor- und Nachteilen siehe Tab. 2

2.1 _ Definitionen

Grundsätzlich werden belüftete und nicht belüftete Flachdächer unterschieden. Nachfolgend werden die Begriffe „belüftet“ und „nicht belüftet“ abweichend von DIN 4108-3 und den Fachregeln des Dachdeckerhandwerks [FDR] zur sprachlichen Vereinfachung folgendermaßen verwendet.

Nicht belüftete Flachdächer enthalten keine bewegten Luftschichten im Dachaufbau und unterscheiden sich durch die Lage der Wärmedämmung im Bauteil:

- Typ I Wärmedämmung oberhalb der Tragebene (Aufdachdämmung)
- Typ II Wärmedämmung in der Tragebene mit Überdämmung
- Typ III Wärmedämmung ausschließlich in der Tragebene (Sonderkonstruktion)

Belüftete Flachdächer enthalten eine bewegte Luftschicht im Dachaufbau, die mit der Außenluft über geplante Bauteilöffnungen in Kontakt steht und vorwiegend dem Feuchteabtransport dient:

- Typ IV Separate Belüftungsebene
- Typ V Belüftung im Dachraum

2.2 _ Nicht belüftete Konstruktionen

Bei nicht belüfteten Flachdächern werden drei Konstruktionsprinzipien unterschieden:

Typ I Wärmedämmung oberhalb der Tragebene (Aufdachdämmung)

Hier liegt in der Regel der Großteil der Dämmung auf der Tragkonstruktion, so dass diese dem warmen und trockenen Innenraumklima ausgesetzt ist. Die Diffusionssperre unterhalb der Aufdachdämmung übernimmt gleichzeitig die Funktion einer Behelfsabdichtung und bringt damit eine hohe Sicherheit gegenüber Fehlstellen in der oberen Abdichtung. Die vollständige Überdämmung hat wesentliche bauphysikalische Vorteile und ermöglicht bei ausreichender Druck-

festigkeit des Dämmstoffes eine uneingeschränkte Nutzbarkeit der Dachoberfläche (Terrasse, Begrünung, Verschattung etc.).

Typ II Wärmedämmung in der Tragebene mit Überdämmung

Bei einer Überdämmung des vollgedämmten Dachquerschnitts wird der Hohlraum zwischen der Tragkonstruktion für Wärmedämmung genutzt. Die Überdämmung ist bauphysikalisch sinnvoll, um die Tragkonstruktion warm und trocken zu halten. Ihre Dicke muss bauphysikalisch bemessen werden (siehe Kapitel 5). Zudem liegen wie bei Typ I zwei Dichtungsebenen vor. Die Diffusionssperre unterhalb der Aufdachdämmung übernimmt gleichzeitig die Funktion einer Behelfsabdichtung und bringt damit eine hohe Sicherheit gegenüber Fehlstellen in der oberen Abdichtung.

Typ III Wärmedämmung ausschließlich in der Tragebene → Sonderkonstruktion

Die Bauweise mit Dämmung ausschließlich in der Ebene der Tragkonstruktion ist eine Sonderkonstruktion. Mit nur einer Abdichtungsebene weist diese kompakte Konstruktion keine bzw. nur eine geringe Fehlertoleranz auf. Besonders zu berücksichtigen sind zusätzliche Deckschichten oder Verschattungen, weil dadurch die hierfür zwingend erforderliche Rücktrocknung zum Raum reduziert wird. Untersuchungen [2] belegen für diese Bauart eine niedrige Fehlertoleranz und damit erhöhte Schadensanfälligkeit, weshalb diese Bauweise mittlerweile als Sonderkonstruktion eingestuft werden muss [FDR, KFR].

Umgang mit Sonderkonstruktionen¹⁾

Dachaufbauten des Typ III werden in dieser Schrift nicht als Regelaufbau empfohlen. Ihre Anwendung sollte werkseitig vorgefertigten Dächern mit definierten Randbedingungen vorbehalten bleiben. Sie sind einer umfassenden bauphysikalischen Prüfung zu unterziehen und nur in Verbindung mit einem Qualitätsmanagement bei der Ausführung, bei temporärer Bauweise oder einer dauerhaften Kontrolle ihrer Funktionstüchtigkeit durch Monitoring anzuwenden (siehe Kap. 3.10). Bei sehr kleinen Dachflächen (z.B. Dachgauben) ist eine andere Risikobewertung möglich.

Kleinflächige Konstruktionen²⁾ (A < 12 m²)

Bei kleinflächigen Konstruktionen wie z.B. Gauben werden häufig schlanke Dachaufbauten gefordert. Aufgrund ihrer Kleinteiligkeit ist das Schadenspotential hier geringer. Deshalb kann der Dachaufbau Typ III hier unter besonderer Berücksichtigung folgender Planungsgrundsätze bei werkseitiger Vorfertigung eingesetzt werden:

- Keine zusätzlichen Deckschichten wie z.B. Dachbegrünung oder Bekiesung,
- Keine Verschattung z.B. durch PV-Anlagen,
- Dunkle Dachabdichtung (Strahlungsabsorption $\geq 80\%$) oder Metalldachdeckung gemäß Planungshilfe (Anhang) mit Dachneigung $\geq 7^\circ$,
- Feuchtevariable Dampfbremse,
- Holzfeuchte $u < 15\%$,
- Aufbringen der Dachabdichtung bzw. einer Bauzeiten-Behelfsabdichtung unmittelbar nach Montage,
- Hygrothermischer Nachweis bzw. hygrothermische Berechnung gemäß DIN 68800-2, Abs. 7.5 bzw. A.20

Auch bei kleinflächigen Bauteilen sind die Rücktrocknung einschränkende Dachaufbauten zu vermeiden. Eine Leckagededektion bzw. ein Monitoring können entfallen.

2.3 _ Belüftete Konstruktionen

Unterschieden werden vollgedämmte Konstruktionen mit separater Belüftungsebene (Typ IV) sowie Konstruktionen mit Belüftung in Ebene der Tragkonstruktion (Typ V).

Typ IV mit separater Belüftungsebene ergibt sich aus dem Prinzip des Holzrahmenbaus, im dem die Tragebene voll ausgedämmt und oberseitig diffusionsoffen bzw. leicht diffusionsbremsend ($s_{d,e} \leq 2\text{ m}$) und feuchtegeschützt abgedeckt ist. Auf einer Unterkonstruktion ist eine zusätzliche Tragschale aufgebracht, welche die Dachhaut aus Abdichtungen oder Metalldachdeckung aufnimmt.

Bei **Typ V** ist die Belüftung konstruktionsbedingt in Ebene der Tragkonstruktion angeordnet. Diese Bauweise ergibt sich aus der Höhe der meist aufgelösten Tragkonstruktion, z.B. bei Dächern aus Nagelplattenbindern. Sie ist häufig bei (flach) geneigten Bauwerken mit großen Spannweiten vorzufinden.

Die Funktionstüchtigkeit belüfteter Konstruktionen hängt maßgeblich von der Wirksamkeit der Belüftung ab, an die aufgrund der fehlenden oder nur geringen Dachneigung besondere Anforderungen gestellt werden, siehe Kapitel 6.

¹⁾ Zum in DIN 68800 im Anhang A, Bild A.20 aufgeführten, nachweisfreien Bauteilaufbau werden weitere schwer einzuhaltende Randbedingungen benannt, z.B. eine baurechtlich gesicherte Verschattungsfreiheit, weshalb eine vereinfachte Bewertung des Feuchteschutzes nicht möglich ist (siehe Kap. 5 und Kap. 8).

²⁾ In der Holzschutznorm DIN 68800-2 sind in Anhang A, Bild A.23 Terrassen über Wohnraum als kleinteilige Bauweise (max. 10 m²) mit raumseitig angeordneter diffusionshemmender Schicht ($s_{d,i} = 50$ bis 100 m) dargestellt. Diese Konstruktion entspricht nicht den Empfehlungen dieser Schrift zur sicheren Ausführung von Flachdächern und ist gesondert zu bewerten. Sie findet im industriellen Fertigtbau i.d.R. als einteiliges Bauteil im Rahmen besonderer qualitätssichernder Maßnahmen Anwendung. Hierbei ist davon auszugehen, dass durch die vollständige Vorfertigung inkl. einer ersten Abdichtungslage und durch Qualitätsüberwachung ein fugenloses und luftdichtes Bauteil entsteht. Nach DIN 4108-3 und anderen Regelwerken (DIN 18531-1, [MBW] [WTA 6-8]) ist ein bauphysikalischer Nachweis erforderlich, vgl. Kap. 5.

Tab. 2 Übersicht Bauarten – Kennzeichen, Vor- und Nachteile → Kapitelverweise

	Typ I	Typ II	Typ III → Sonderkonstruktion
Bauweise	Wärmedämmung oberhalb der Tragebene (Aufdachdämmung)	Wärmedämmung in der Tragebene mit Überdämmung	Wärmedämmung ausschließlich in der Tragebene
Kennzeichen	Aufdachdämmung auf Balkentragwerk oder flächiger Tragkonstruktion Deckschicht als Terrassenbelag, Bekiesung oder extensive Begrünung	Balkentragwerk mit Voldämmung und Überdämmung der Konstruktion Ausführung mit Bauzeiten- bzw. Behelfsabdichtung → Kap. 3.4.3	Balkentragwerk mit Voldämmung mit einer Abdichtungslage Ausschließlich werkseitig vorgefertigte Sonderkonstruktion → Kap. 2.2
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + Uneingeschränkte Dachflächennutzung, auch bei späteren Nutzungsänderungen + Tragkonstruktion nicht tauwassergefährdet, Feuchteschutz i.d.R. nachweisfrei → Kap. 4.2.2 + Hohe Sicherheit bereits in der Bauphase durch Bauzeit- bzw. Behelfsabdichtung (als Diffusionssperre/-dichtung nutzbar) → Kap. 3.4.3 + Dachuntersichten werkseitig als Sichtoberfläche herstellbar + Anwendung flächiger Holzbausysteme möglich + Kombination mit raumakustisch wirksamen Dachuntersichten möglich → Kap. 4.4 + Dachgefälle über Aufdachdämmung realisierbar → Kap. 3.2 	<ul style="list-style-type: none"> + Gute Querschnittsausnutzung durch Ausdämmen der aufgelösten Tragebene + Grundelement als geschlossenes Holztafelbauelement vorelementierbar, ggf. mit Behelfsabdichtung + Hohe Sicherheit durch zwei Abdichtungsebenen (Dampfsperre als Behelfsabdichtung) → Kap. 3.4.3 + Einfache Anschlussdetails aufgrund raumseitig angeordneter Luftdichtheitsebene → Kap. 8 + Dachgefälle über Aufdachdämmung realisierbar → Kap. 3.2 	<ul style="list-style-type: none"> + Gute Querschnittsausnutzung durch Ausdämmen der Tragebene + Als geschlossenes Holztafelbauelement vorelementierbar + Einfache Anschlussdetails aufgrund raumseitiger Luftdichtheitsebene - Geringere Fehlertoleranz aufgrund fehlender zweiter Abdichtungsebene → Kap. 3.4.3 - Tauwassergefährdet, da Holztragwerk und Schalung im Kaltbereich → Kap. 5 - Deckschichten (Begrünung, Bekiesung oder PV) i.d.R. nicht möglich, Verschattung problematisch → Kap. 5 - Gefälleausbildung durch Tragkonstruktion oder Gefällekeile nötig → Kap. 3.2 - Leckagedetektion bzw. Monitoring der Holzfeuchte dringend empfohlen → Kap. 3.10
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Meist höherer Dachaufbau durch Bauteilschichtung - Anspruchsvolle Anschlussdetails bei Dachüberständen durch Verlauf der Luftdichtheitsebene oberhalb der Tragkonstruktion (Stichsparren) → Kap. 8 	<ul style="list-style-type: none"> - Bekiesung, Begrünung, PV-Anlagen und Terrassen bauphysikalisch planen → Kap. 5 - Hygrothermische Berechnung zum Nachweis des Feuchteschutzes → Kap. 5.3 	<ul style="list-style-type: none"> - Jährliche Wartung und Reinigung der Dachfläche zwingend → Kap. 3.10 - Hygrothermische Berechnung als Feuchteschutznachweis¹⁾ → Kap. 5.3
Nachweis	Bauteil-Nr. Ia, Ib → Anhang	Bauteil-Nr. IIa, IIb → Anhang	Bauteil-Nr. Typ IIIa → Anhang

¹⁾ Zum vergleichbaren, in DIN 68800 Bild A.20 aufgeführten nachweisfreien Bauteilaufbau, werden schwer einzuhaltende Randbedingungen benannt, z.B. eine baurechtlich gesicherte Verschattungsfreiheit, weshalb eine vereinfachte Bewertung des Feuchteschutzes nicht möglich ist (siehe Kap. 5 und Anlage zu Typ III).

	Typ IV	Typ V
Bauweise	Separate Belüftungsebene	Belüftung im Dachraum
Kennzeichen	<p>Holzelement mit Volldämmung und zusätzlicher Belüftungsebene</p> <p>Metalldach oder Abdichtung ggf. mit Terrassenbelag, Bekiesung oder Begrünung</p>	<p>Flach geneigtes Dach (ab 5 %) mit Belüftung in Konstruktionsebene</p> <p>Abdichtung oder Metalldachdeckung (ab 7° empfohlen) → Kap. 3.5</p>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> + Diffusionsoffene, tauwasserfreie Bauweise bei fachgerechter Hinterlüftung → Kap. 6.3 + Sicherheit durch diffusionsoffene Abdeckung bei Leckagen und Sekundärtauwasser (kein Unterdach nach Dachdeckerregelwerk erforderlich) → Kap. 6 + Tragkonstruktion allseitig geschlossen und damit insektenunzugänglich (GK 0) → Kap. 4.3 und Kap. 6.4 + Grundelement vorelementierbar 	<ul style="list-style-type: none"> + Diffusionsoffene, tauwasserfreie Bauweise bei fachgerechter Hinterlüftung → Kap. 6.3 + Ausnutzung des vorhandenen Hohlraums bei hohen Konstruktionen (z.B. Fachwerkbinder) + Nutzung der Dachfläche durch Begrünung, Kies, Terrasse oder PV möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Bauteilaufbau durch zusätzliche Belüftungsebene → Kap. 6 - Kostenintensiv durch zusätzliche Konstruktionsebene - Deckschichten können Feuchteverhalten negativ beeinflussen → Kap. 6 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohes Risiko für die Tragkonstruktion bei Versagen oder bei Fehlstellen der Abdichtung → Kap. 3.4.3 - Befeuchtung der Dämmung durch Sekundärtauwasser an der Dachschalung möglich - Dämmung nicht winddicht abgedeckt (Kaltlufteinströmung möglich) → Kap. 6 - Schallimmissionen in Belüftungs- und Konstruktionsebene möglich - Tragkonstruktion insektenzugänglich (technisch getrocknetes Holz unproblematisch) → Kap. 4.3
Nachweis	Bauteil-Nr. IVa, IVb → Anhang	Bauteil-Nr. Va → Anhang

3_ Planungsgrundlagen

3.1 _ Maßgebende Normen, Regelwerke

3.1.1 _ Wichtige Anwendungsnormen

DIN 18195 – Bauwerksabdichtungen legt seit 2017 Begriffe und Bezeichnungen für die Anwendung ergänzender Normen für die Abdichtung von Bauwerken in den verschiedenen Einsatzbereichen fest. Für die Ausführung von Flachdächern mit Abdichtung gilt die Normenreihe DIN 18531.

DIN 18531 – Dachabdichtungen von Dächern sowie von Balkone, Loggien und Laubengängen behandelt die Ausführung von Abdichtungen auf genutzten und nicht genutzten Dächern. Dazu zählt auch die Nutzung von Flachdächern mit Solaranlagen und haustechnischen Anlagen. Dachdeckungen und Unterdächer sowie Beläge fallen nicht in den Geltungsbereich der DIN 18531, die sich in fünf Teile gliedert:

Teil 1 legt Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze fest, wozu Beanspruchungsarten und Anforderungen an den Untergrund der jeweiligen Abdichtungssysteme zählen.

Teil 2 benennt Abdichtungsmaterialien, wozu Bitumen-, Kunststoff- und EPDM-Bahnen sowie flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe zählen. Abdichtungsmaterialien außerhalb der Norm müssen über eine bauaufsichtliche Zulassung geregelt sein.

Teil 3 befasst sich mit der Auswahl der für den jeweiligen Anwendungsbereich geeigneten Abdichtungssysteme und benannte Anforderungen an den Untergrund, z.B. an Wärmedämmstoffe. Zudem werden detaillierte Hinweise zur Ausführung gegeben.

Teil 4 legt Anforderungen an Inspektion sowie Wartung und Instandsetzung fest, die fester Bestandteil bei Flachdächern sind, weil nur dann die vorgesehene Nutzungsdauer erreicht werden kann.

Teil 5 regelt die Ausführung von Abdichtungen über nicht genutzten Räumen, wozu Balkone, Loggien und Laubengänge zählen.

DIN 68800 – Holzschutz ist die maßgebende Normenreihe für die Planung und Ausführung von Holzkonstruktionen.

Teil 1 (Allgemeines) enthält die Voraussetzungen für den Schutz von Holz und Holzwerkstoffen gegen die Zerstörung durch holzschädigende Pilze oder Insekten. Entsprechend der gegebenen Gefährdung der Holzbauteile legt sie Gebrauchsklassen (GK) fest und ordnet hierfür Schutzmaßnahmen zu.

Die DIN 68800-1 enthält die Verpflichtung, grundsätzliche bauliche Maßnahmen immer und besondere bauliche Maßnahmen in Nutzungsklasse 1 und 2 vorrangig zu berücksichtigen. Danach bleibt die Anwendung vorbeugender biozider Holzschutzmittel auf Ausnahmefälle beschränkt und muss im Einzelfall begründet werden.

Mehr zu DIN 68800-2 in Informationsdienst HOLZ „Holzschutz – Bauliche Empfehlungen“ (hh 5/2/2) [04]

Teil 2 (Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau) benennt die einzuhaltenden grundsätzlichen und darüber hinaus auch besondere Holzschutzmaßnahmen zur Sicherstellung einer dauerhaften Gebrauchstauglichkeit ohne chemischen Holzschutz. Zielsetzung ist hierbei eine Einstufung aller tragenden Holzbauteile in die GK 0 vornehmen zu können, so dass keine oder eine nur unbedeutende Gefährdung vorliegt. Für nichttragende Bauteile wird die Anwendung der Norm empfohlen. Teil 2 enthält im Anhang A einen Bauteil- bzw. Detailkatalog.

Teil 3 (Vorbeugender Schutz von Holz durch Holzschutzmittel) sowie **Teil 4** (Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten) spielen für die üblichen und auch in dieser Schrift beschriebenen Konstruktionen des Hochbaus keine Rolle.

Die maßgebenden Normen zu den bauphysikalischen Fachdisziplinen des Wärme-, Feuchte-, Schall- und Brandschutzes werden in den nachfolgenden Kapiteln benannt.

3.1.2 _ Fachregeln des Handwerks

Die **Fachregeln des Dachdeckerhandwerks** vom Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) enthalten Grundregeln, Fachregeln, Hinweise, Merkblätter und Produktdatenblätter. Ein Bestandteil sind die „Fachregeln Abdichtungen“, besser bekannt als Flachdachrichtlinie [FDR], die für die Ausführung von Abdichtungen auf flachen und geneigten Dachflächen sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen gelten. Für die Planung von Flachdächern in Holzbauweise sollten außerdem die ergänzenden Merkblätter „Hinweise Holz und Holzwerkstoffe“ [HHH] sowie das „Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand“ [MBW] beachtet werden.

Die **Flachdachrichtlinie** [FDR] ist neben der DIN 18531 ein zweites Regelwerk, das konkrete Planungs- und Ausführungshinweise enthält. Es bestehen teilweise Unterschiede zur Abdichtungsnorm. Die Norm gibt das einzuhaltende Mindestmaß der Ausführung an die Dachabdichtung vor, die [FDR] enthält teilweise höhere Anforderungen, worüber der Planer im Einzelfall entscheiden sollte.

Die **Klempnerfachregeln** [KFR] gelten für die Ausführung von Metaldachdeckungen und Klempnerarbeiten, die im Holzbau insbesondere bei den flachgeneigten Dächern mit Stehfalzdeckungen auf Holzschalungen und bei der Ausführung von Dachrändern und freien Entwässerungen Anwendung finden.

Die **Fachregeln des Zimmerhandwerks** behandeln in Fachregel 02 [FRO2] die Ausführung von Balkonen in Bezug auf ihre konstruktive Durchbildung der Tragkonstruktion und ihrer Beläge, die als geschlossene Konstruktion ebenfalls abgedichtet werden.

Bei Ausschreibung und Abrechnung besonders zu beachten sind die **Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen** (ATV) in VOB Teil C. Maßgebende Vorschrift für den Holzbau ist dabei ATV DIN 18334 Zimmer- und Holzbauarbeiten sowie DIN 18336 Dachdichtungsarbeiten. Dämmarbeiten und die Ausführung der Luftdichtheitsebene können auch Leistung des Trockenbaus ATV DIN 18340 sein. Eine Auftrennung dieser Gewerke (oder gar Eigenleistungen) sollten bei der Vergabe aber vermieden werden, um die relevanten Gewerkeschnittstellen zu minimieren.

Unterschreitungen der Mindestdachneigung von 2 % sind nicht empfehlenswert, da sie Pfützenbildung und ein erhöhtes Schadensrisiko zur Folge haben. Durch Pfützen entsteht eine bauphysikalisch nachteilige Verdunstungskühle, die beim hygrothermischen Nachweis zu berücksichtigen ist.

3.2 _ Dachgefälle

Flächen, die für die Auflage einer Dachabdichtung vorgesehen sind, sollen gemäß Flachdachrichtlinie [FDR] und DIN 18531-1 mit einem Gefälle von mindestens 2 % geplant werden. Für Konstruktionen, die sich nicht über genutzten Räumen befinden, z.B. Balkone oder Laubengänge, wird in DIN 18531-5 eine Mindestdachneigung von 1,5 % benannt. Zur ausreichenden Entwässerung sollte in Kehlen eine Dachneigung von 1 % vorhanden sein.

Mindestdachneigung 2 %

Eine geplante Mindestdachneigung von 2 % ist bei Flachdächern über genutzten Räumen im Holzbau grundsätzlich einzuhalten. Abweichungen sind nur in begründeten Ausnahmefällen (z.B. Altbau) mit entsprechenden Kompensationsmaßnahmen hinsichtlich der Ausführung der Dachabdichtung denkbar und sollten die Ausnahme bleiben.

Dachneigungen unter 2 % Sonderkonstruktion

Eine Unterschreitung der Mindestdachneigung von 2 % hat eine erhebliche Pfützenbildung zur Folge und kann zu einem erhöhten Schadensrisiko sowie einer bauphysikalisch nachteiligen Verdunstungskühle führen. Unterschreitungen sind deshalb mit dem Auftraggeber vertraglich zu vereinbaren und gelten nicht als „höherwertige Ausführung“ nach DIN 18531-1 (Anwendungs-kategorie K2, vgl. Kap. 3.4.1). Sie sind zudem bei Flachdachkonstruktionen des Typ III immer zu vermeiden.

Der Auftraggeber ist über mögliche Folgen und ein erhöhtes Schadensrisiko mit der Notwendigkeit verkürzter Inspektionsintervalle aufzuklären, was auch schriftlich zu dokumentieren ist. Bei

begründeter Unterschreitung werden folgende

Kompensationsmaßnahmen erforderlich:

- Durchführung einer qualitätssichernden Abnahme,
- Anordnung der Entwässerung am zu erwartenden tiefsten Punkt in Verbindung mit erhöhten Anforderungen an Bauwerkstoleranzen,
- Abdichtung der Anwendungs-kategorie K2 nach DIN 18531-1 oder besser (siehe Kap. 3.4.2),
- Mechanischer Schutz der Abdichtung bei Terrassenüberbauten (Bautenschutzmatte),
- Wartungsmaßnahmen nach DIN 18531-4 und Feuchtemonitoring (siehe Kap. 3.10).

Planung von Dachneigung und Durchbiegungsbegrenzungen

Bei der Planung der Dachneigung sind die Durchbiegungen der Tragkonstruktion infolge Schnee- und Nutzlasten sowie Kriechinflüsse und zulässige Maßtoleranzen zu berücksichtigen. Hierfür sind die in DIN EN 1995-1-1 empfohlenen Durchbiegungsbeschränkungen zu beachten. Die Festlegung des konkreten Grenzwerts durch den Tragwerksplaner hängt davon ab, welche Verformungen aus technischen Gründen (z.B. ausreichendes Gefälle) und optischen Gründen als akzeptabel gelten. Bei Mischbauweisen sind zudem die meist deutlich höheren Maßtoleranzen des Massivbaus zu berücksichtigen oder ggf. geringere zu vereinbaren.

Erst bei Dachneigungen größer 5 % kann von einem ungehinderten Abfließen von Oberflächenwasser ausgegangen werden, ohne dass es z.B. bei Überlappungen der Dachabdichtungsbahnen zu Pfützenbildung kommt. Soll Pfützenfreiheit erreicht werden, ist eine Dachneigung von mehr als 5 % (3°) zu planen.

3.3 _ Dachentwässerung

Die Entwässerung von Flachdächern kann als linienförmige Entwässerung nach innen oder nach außen zum Gebäuderand hin erfolgen, siehe Abb. 3.3.1. Die Dachneigung kann bei Aufdach- oder Teilüberdämmung durch Gefälledämmsysteme ausgebildet werden, so dass die Tragkonstruktion eben bleiben kann. Hierfür stehen zahlreiche Dämmstoffe zur Verfügung, die werkseitig mit einer Neigung z.B. von 2 % bei Schichtdicken i. d. R. zwischen 20 und 300 mm lieferbar sind. Durch die Anordnung von Kehlfälleplatten (sog. Dachreiter, siehe Abb. 3.3.2 bis 3.3.4) kann die Linienentwässerung optimiert werden, alternativ erfolgt die Linienentwässerung über Rinnen zum Ablauf hin.

Für Flachdächer ist es empfehlenswert, der Tragkonstruktion ein Gefälle von ca. 1 % zuzuweisen, um während der Bauphase ein planmäßiges Ableiten von Oberflächenwasser über die Behelfsabdichtung zum Dachrand hin zu ermöglichen.

Die Entwässerung erfolgt vorzugsweise am Gebäuderand als freier Auslauf oder in dem die Attika durchstoßen wird. Eine freie Entwässerung benötigt in der Regel keine Notabläufe für Starkregenereignisse, zudem ist ihre Funktionstüchtigkeit besser kontrollierbar. Bei großen Dachflächen, z.B. im Industrie- und Gewerbebau, sind innenliegende Entwässerungen unvermeidlich. Um die Entwässerungsleistungen zu vergrößern und ggf. gefällelose Abflussleitungen zu ermöglichen, werden sie häufig als sogenannte Druckströmungs-Entwässerungen ausgeführt, für die besondere Planungskriterien gelten.

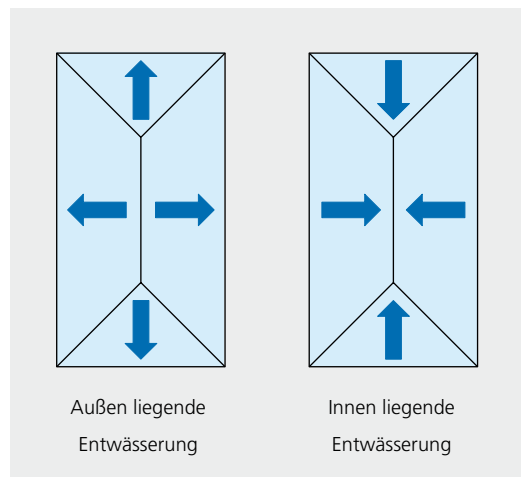
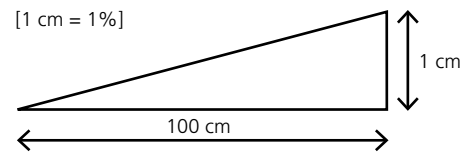


Abb. 3.3.1
Außen und innen liegende Entwässerung mit Gratbildung z.B. durch Gefälledämmung

Tab. 3.2.1 Dachneigungen in Grad und Prozent

GRAD → PROZENT	PROZENT → GRAD	ERLÄUTERUNG		
1°	1,8 %	2 %	1,15°	DN < 2 % Sonderkonstruktion ¹⁾
2°	3,4 %	3 %	1,72°	DN ≤ 5 % behinderter Wasserablauf (z.B. Pfützenbildung)
3°	5,2 %	4 %	2,29°	Ermittlung des Dachgefälles in Grad [°] bzw. [%] [°] = tan ⁻¹ h/l [%] = h/l x 100% h = Höhendifferenz l = Bezugslänge
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⁾ Unterschreitungen der Mindestdachneigung sind nur in begründeten Ausnahmefällen unter besonderer Beachtung der Ausführung der Dachabdichtung möglich und mit dem Auftraggeber vertraglich zu vereinbaren (siehe Kap. 3.2).

Notentwässerung

Dachflächen ohne freie Entwässerung müssen unabhängig von ihrer Größe neben planmäßigen Dachabläufen über Notüberläufe oder -abläufe verfügen. Ein einzelner Dachablauf stellt auch bei ausreichender Dimensionierung aufgrund eines möglichen Versagens (z.B. durch Verstopfung) keine sichere Entwässerung dar. Die Notentwässerung darf nicht an die Grundleitungen angeschlossen werden und ist möglichst über die Fassade (z.B. als Speier) nach außen zu führen, wodurch eine nicht funktionierende Entwässerung sichtbar wird. Im Industrie- und Gewerbebau wird für die Notentwässerung ein eigenes Leitungssystem vorgesehen, das als Druckströmungsentwässerung auf frei überflutbare Flächen geplant und ausgeführt wird.

Anordnung von Abläufen

Grundsätzlich ist die Entwässerung so zu planen, dass Niederschläge auf möglichst kurzem Weg abgeleitet werden können. Kaskadenentwässerungen sind nicht offen über Dachabdichtungen (z.B. Terrassen) hinwegzuführen sondern als geschlossenes Entwässerungssystem zu planen. Abläufe sind an den Tiefpunkten der Dachfläche anzuordnen und so auszuführen, dass die Abdichtung homogen angeschlossen werden kann. Hierfür sollen Abläufe einen Mindestabstand von 30 cm zu Dachaufbauten, Fugen oder anderen Durchdringungen, Aufkantungen und aufgehenden Wänden aufweisen. Dort und im Bereich von aufgehenden Bauteilen wie Wänden und Attikas sind Keile mit Gegengefälle zur Verhinderung von Pfützenbildung anzuordnen.

Abb. 3.3.2

Punktentwässerung durch Gefälledämmung in Kombination mit Kehlgefälleplatten bei gleichmäßiger Verteilung der Dachabläufe

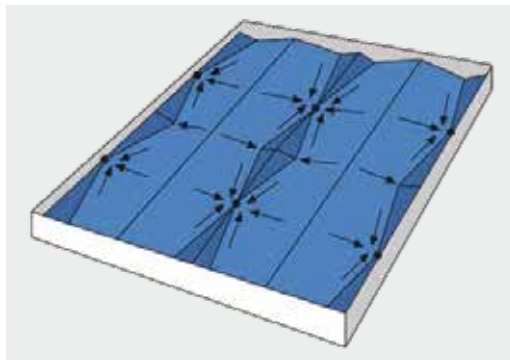
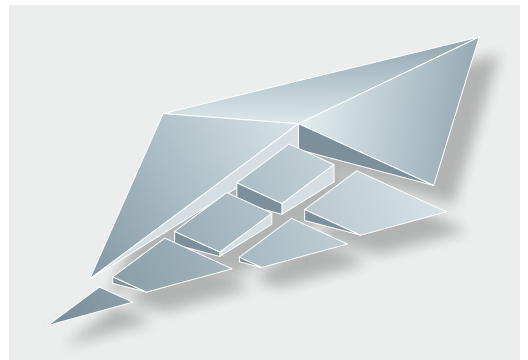


Abb. 3.3.3

Dachreitervarianten als Ergänzung von Gefälledämmsystemen für eine gezielte Wasserableitung



Bemessung der Entwässerung

Für die Bemessung von Rinnen und Abläufen gilt DIN 1986-100. Anhand von Tabellen wird standortbezogen die Niederschlagsmenge für ein 5-minütiges Regenereignis in 2 bzw. 5 Jahren ermittelt, woraus in Abhängigkeit von der Dachfläche und deren Oberfläche (Abflussbeiwert) die Anzahl der Abläufe errechnet wird. Der Abflussbeiwert ist dabei abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Daches. In einem weiteren Schritt erfolgt die Dimensionierung der Notüberläufe für ein außergewöhnliches (100-jähriges) Regenereignis. Zielsetzung ist, dass der jeweilige Berechnungsregen zu jedem Zeitpunkt vom Dach abgeführt werden kann und ein außergewöhnliches Regenereignis die Sicherheitsreserven der Tragkonstruktion nicht überbeansprucht.

Bei der Planung der Notentwässerung ist besonders zu berücksichtigen, dass die für den Jahrhundertregen (abzüglich Bemessungsregen) errechnete Last durch Wasseranstau nicht die Bemessungsschneelast überschreitet. Die Anstauhöhe richtet sich nach der Auswahl des Dachablaufs bzw. der Höhenlage des Überlaufs und sollte 80 mm nicht überschreiten. Als Ablaufsysteme sind sowohl in den Dachaufbau integrierte Systeme als auch aufgesetzte Systeme lieferbar, siehe Abb. 3.3.4 und 3.3.5. Erforderlichenfalls sind die Abläufe mit Rohrbegleitheizung gegen Vereisung im Winter auszustatten.

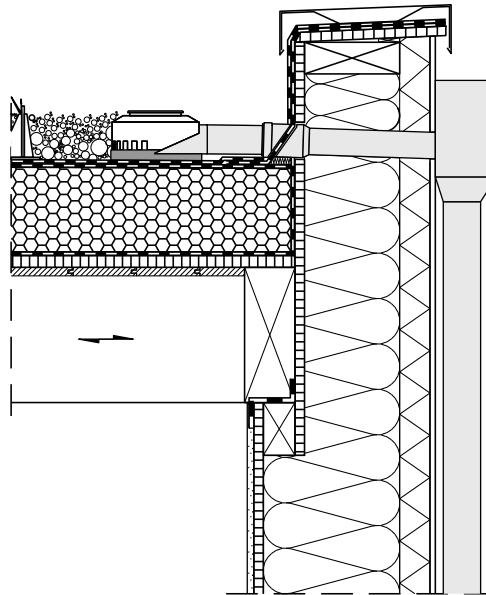
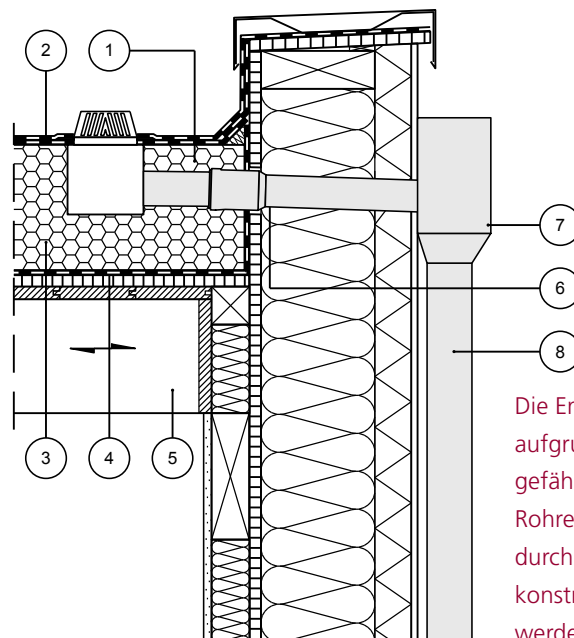


Abb. 3.3.4

Attikadirektablauf als aufgesetztes System

Eine Anstauhöhe von 80 mm entspricht einer Bemessungsschneelast von 0,80 kN/m² (80 kg pro Quadratmeter) – mehr als 100 mm Höhe sind bei Dachabdichtungen nicht zulässig.



Die Entwässerung sollte aufgrund der Tauwassergefährdung durch kalte Rohre nicht ungedämmt durch die hölzerne Tragkonstruktion geführt werden!

Abb. 3.3.5 Attikadirektablauf als kombinierte Haupt- und Notentwässerung

- | | |
|---|---|
| 1. Attikaentwässerung als Rohr-in-Rohr-System | 6. Schiebeflansch (Einbindung in Notabdichtung) |
| 2. Bitumenabdichtungsbahn | 7. Sammel-/Rinnenkasten |
| 3. Aufdachdämmung | 8. Regenfallrohr |
| 4. Dampfsperre bzw. Notabdichtung | |
| 5. Tragkonstruktion | |

3.4 _ Dachabdichtungen

3.4.1 _ Auswahl und Verlegung

Die maßgebende Abdichtungsnorm DIN 18531 enthält in Teil 1 ein Klassifizierungssystem für die jeweils vorliegende Bausituation. Hierbei finden die äußeren mechanischen und thermischen Einwirkungen auf das Dach sowie die vorgesehene Nutzung der Dachflächen Berücksichtigung. Anhand der vorliegenden Randbedingungen werden mögliche Abdichtungsbauarten benannt. Hierzu zählen Abdichtungen aus Bitumenbahnen sowie Kunststoffabdichtungsbahnen, Bahnen aus EPDM-Kautschuk und Abdichtungssysteme aus Flüssigmaterien.

Auswahl der Abdichtungsbauart

Den jeweiligen Abdichtungsstoffen sind in DIN 18531-2 Eigenschaftsklassen zugewiesen, die durch ihre thermische und mechanische Belastbarkeit gekennzeichnet sind. Geeignete Abdichtungsmaterialien, Lagenanzahl sowie Materialdicken und Qualität werden in Abhängigkeit der vorliegenden Einwirkungs- und Anwendungsklassen bestimmt (siehe Tab. 3.4.1). Dazu zählen Dachaufbau und Tragkonstruktion, Einwirkungsart und Nutzung der Oberfläche (und darunter liegender Räume) sowie ihre Anwendungsklasse. Die Auswahl des Abdichtungsmaterials selbst hängt dabei häufig von den individuellen Präferenzen der Planer oder der ausführenden Unternehmen ab. Die Flachdachrichtlinie [FDR] differenziert nicht mehr nach K1 und K2; sie geht grundsätzlich von der höherwertigen Ausführung aus.

Überblick zu bewährten
Dachabdichtungsbahnen
siehe Tabelle 3.4.3

Verlegearten

Unterschieden werden lose verlegte (mechanisch befestigt oder mit Auflast versehen) und verklebte Abdichtungen. Die lose Verlegung erleichtert den Rückbau und die stoffliche Verwertung, bedingt aber eine mechanische Befestigung oder Auflast zur Windsogsicherung durch Bekiesung oder Begrünung. Eine mechanische Befestigung ist bei Kunststoff- und EPDM-Dachbahnen ohne Auflast üblich, wobei hierbei die Mindestdicke der tragenden Unterkonstruktion zu beachten ist (vgl. Kap. 3.6). Die Anzahl der Befestigungspunkte für eine linienförmige oder punktweise Befestigung wird in Abhängigkeit der Windsogbelastung festgelegt. Ein Verkleben der Abdichtungslagen erfolgt meist bei Bitumenbahnen, hat sich aber auch bei Kunststoffdachbahnen bewährt. Bei Verzicht auf Auflasten zur Windsogsicherung muss eine Verklebung mit den darunterliegenden Dämmschichten erfolgen, wobei die Verarbeitungsanleitungen der jeweiligen Produkthanbieter genau zu beachten sind.

Abdichtung auf Holzuntergründen

Vor dem Aufbringen von Abdichtungen auf Dachschalungen aus Holz und Holzwerkstoffen ist je nach Verlegeart eine Trennlage aufzubringen. Dadurch sind Längenänderungen der Dachabdichtung bei Temperaturschwankungen sowie Bewegungen der Dachschalung infolge Feuchteschwankungen schadensfrei möglich. Bei Kunststoffabdichtungen sind Bahnen mit Vlieskaschierung verfügbar, die den Zweck einer Trennlage erfüllen können. Bei Bitumenabdichtungen können z.B. Glasvlies-Bitumenbahnen in umgekehrter Verlegung mit der beschieferten Seite auf der Schalung mechanisch befestigt werden, auf die anschließend die erforderliche Dachabdichtung aufgebracht wird.

Tab. 3.4.1 Klassifizierungssystem der DIN 18531-1 zur Auswahl der Abdichtungsbauart

MECHANISCHE EINWIRKUNG	THERMISCHE EINWIRKUNG	ANWENDUNGSKLASSE	EIGENSCHAFTSKLASSE
<p>I hoch</p> <p>Genutzte Dächer, sowie Aufdachdämmung aus XPS und MiFa, Abdichtung auf Holzschalung und extensive Begrünung</p>	<p>Stufe A hoch</p> <p>Fehlender oder leichter Oberflächenschutz, ggf. Abdichtungsanschlüsse mit Metallabdeckungen</p>	<p>K1 Standardausführung</p> <p>als übliche Ausführung z.B. im Wohnungs- und Gewerbebau mit DN ≥ 2 %</p> <p>K2 Höherwertige Ausführung</p> <p>für erhöhte Zuverlässigkeit, längere Nutzungsdauer bzw. geringeren Instandhaltungsaufwand (z.B. Denkmal oder schwere Zugänglichkeit der Dachabdichtung bei PV-Anlagen) = Regelfall nach Flachdachrichtlinie [FDR]</p>	<p>Auswahl der Abdichtungsbauart</p> <p>als Vorgabe für Abdichtungsmaterial, Anzahl der Abdichtungslagen, deren Dicke und Qualität in Abhängigkeit von Einwirkungsklasse und Anwendungsklasse:</p> <p>E1 hoher therm. u. hoher mech. Widerstand E2 mäßiger therm. u. hoher mech. Widerstand E3 hoher therm. u. mäßiger mech. Widerstand E4 mäßiger therm. u. mäßiger mech. Widerstand</p>
<p>II mäßig</p> <p>sofern keine hohe Einwirkung</p>	<p>Stufe B mäßig</p> <p>Kiesschüttung, Holzroste, Dachbegrünung</p>		
<p>Kombination aus mechanischer und thermischer Einwirkung: IA IB IIA IIB</p>			
<p>Einwirkungsklasse +</p>		<p>Anwendungsklasse</p>	<p>= Abdichtungsbauart</p>

3.4.2 _ Abdichtungsmaterialien

Bei der Auswahl der Abdichtungsmaterialien werden im wesentlichen Bitumen- und Kunststoffdachbahnen unterschieden. Um Planern eine Entscheidungshilfe bei der Auswahl zu geben und auf Qualitätsunterschiede innerhalb der Materialien hinzuweisen, ist in Tab. 3.4.2 zu einigen wesentlichen Kriterien ein Vergleich aufgeführt. Innerhalb der jeweiligen Abdichtungsmaterialien gibt es Qualitätsunterschiede, weshalb sich der Planer über die Eigenschaften informieren muss und nicht allein über den Materialpreis entscheiden sollte. Im Holzbau bewährte Bitumen- und Kunststoffabdichtungsbahnen sind in Tab. 3.4.3 mit genormten Kurzbezeichnungen aufgeführt.

Bitumenbahnen (Abb. 3.4.1) werden in der Regel zweilagig verlegt und miteinander verschweißt, eine einlagige Verlegung ist mit dafür

geeigneten Bahnen möglich. Durch die Einmischung von Polymeren und Elastomeren werden Bitumenbahnen chemisch widerstandsfähig und elastoplastisch. Vlies-, Gewebe- oder Mischeinlagen erhöhen die mechanische Beanspruchbarkeit. Eine Beschieferung dient als leichter Oberflächenschutz und macht die Bahnen unempfindlich gegenüber IR- und UV-Strahlung. Durch die Gesamtdicke des Abdichtungspakets von 6 bis 10 mm entsteht eine gegenüber mechanischen Einflüssen robuste Oberfläche.

Kunststoffabdichtungsbahnen (Abb. 3.4.2) werden einlagig verlegt und mit Heißluft und/oder mit Quellschweißmittel miteinander verschweißt. Durch die geringe Materialdicke von 1,5 bis 2,3 mm (produktbezogen, mind. 1,8 mm empfohlen) wird das Ausführen von Anschlüssen auf kleinteiligen Dachflächen erleichtert.

Abb. 3.4.1
 Bitumendachbahnen
 (beschiefert)

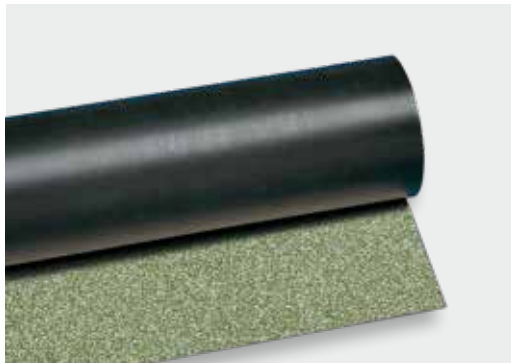
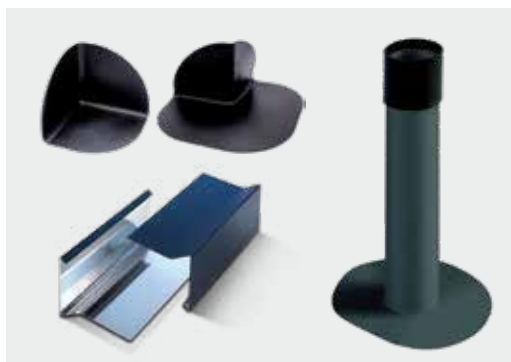


Abb. 3.4.2
 Kunststoffdachbahn



Abb. 3.4.3
 Zubehörteile für
 Kunststoffabdichtungen:
 Innenecke, Außenecke,
 Rohreinfassung,
 Verbundbleche



Zur mechanischen Fixierung dienen Spezial-Verbindungsmittel sowie Verbundbleche, die vorgefertigt oder individuell gekantet werden, siehe Abb. 3.4.3. Vliesbeschichtungen machen eine einlagige Verlegung auch auf Holzuntergründen möglich. Kunststoffdachbahnen können kostengünstig und schnell verarbeitet werden. PVC- und EVA-Bahnen haben mit s_d -Werten um 20 m relativ geringe diffusionshemmende Eigenschaften, können aber für eine planmäßige Trocknung von Nutzungsfeuchte aus dem Bauteilquerschnitt nur bedingt verwendet werden. Bei Dachbegrünungen kann es zu einem Diffusionsstrom in die Konstruktion kommen, was z.B. bei FPO-Bahnen (s_d -Wert ca. 400 m) ausgeschlossen ist.

EPDM-Bahnen sind Bahnen aus synthetischem Kautschuk und zeichnen sich durch ihre hohe Elastizität und Alterungsbeständigkeit aus. Sie sind selbst bei einlagiger Verlegung robust gegenüber mechanischer Beanspruchung, aber sehr aufwändig in der Nahtfüging. EPDM-Abdichtungen können als werkseitig vorgefertigte Planen (einschließlich aller Anschlüsse und Durchdringungen) empfohlen werden, was für kleinere und mittlere Dachflächen im Holzbau sehr interessant ist.

Flüssigabdichtungen kommen seltener in der Dachfläche als vielmehr bei der Reparatur von Flachdächern und für die Abdichtung komplexer, schwer anformbarer Anschlüsse zum Einsatz. Sie sind mehrlagig mit eingebetteter Vlieslage aufzutragen, aber für den großflächigen Einsatz im Holzbau nicht zu empfehlen und in Bezug auf die Aufnahme von Horizontalkräfte nicht konform mit den Fachregeln und DIN 18531-3.

Tab. 3.4.2 Bewertungsschema für Abdichtungsbahnen als Anhaltspunkt für Planung und Ausschreibung

KRITERIUM	BITUMEN- UND POLYMER- BITUMENBAHNEN	KUNSTSTOFFDACHBAHNEN			ELASTOMER- BAHNEN (EPDM-BAHNEN)
		PVC BV ¹⁾	PVC NB ²⁾	FPO	
Materialdicke (je Lage)	3 bis 5 mm	1,2 bis 2 mm		1,2 - 2,5 mm	1,3 bis 2,0 mm
Lagenanzahl (Regelfall)	2 Lagen	1 Lage	1 Lage	1 Lage	1 Lage
Materialkosten (ohne Verarbeitung)	o	o	+	+	o
Mechanische Robustheit	+	o/+	o/+	o/+	+
Langlebigk. o. schweren Oberflächenschutz	+	+	o	+	+
Umweltverträglichkeit (Graue Energie) ³⁾	o	+/-	+/-	+/-	o
Herstellung der Nahtfügung	o	+	+	o	-
Verarbeitbarkeit im Anschlussbereich	-	+	+	o	-
Zubehör (Anschlüsse und Durchdringungen)	o	+	+	+	-
Eignung zur Fertigung von Dachelementen	-	o	o	o	+
Oberflächenvielfalt (Farbtöne)	+	+	+	+	-
Eignung als „harte Bedachung“	Nach Prüfzeugnis oder mit Vlieskaschierung bzw. schwerem Oberflächenschutz				

Bewertung: + gut geeignet bzw. bewährt; o geeignet bzw. durchschnittliche Eigenschaften; - weniger vorteilhaft bzw. aufwendig

¹⁾ bv = bitumenverträglich ²⁾ nb = nicht bitumenverträglich ³⁾ Vorteile bei loser Verlegung oder mechanischer Befestigung

Tab. 3.4.3 Bewährte Bitumen- und Kunststoffabdichtungsbahnen (Kurzbezeichnungen aus DIN 18531-2)

Erläuterungen:	BITUMEN- UND POLYMERBITUMENBAHNEN	KUNSTSTOFFBAHNEN
	G 200	Bitumendachdichtungsbahnen nur als untere Lage - G 200 DD, PV 200 DD
Glasgewebeeinlage 200 g/m ²	Bitumenschweißbahnen nur als untere Lage - G 200 S4, G 200 S5, PV 200 S5	PIB Polyisobutylen (bitumenverträglich)
PV 200	Polymerbitumenschweißbahnen als obere Lage - PYE/PYP-KTG S4, PYE/PYP-KTP S4 oder S5	PVC-P Bahnen aus weichmacherhaltigem Polyvinylchlorid (bitumenverträglich und nicht bitumenverträglich lieferbar)
Polystervlieseinlage 200 g/m ²	- PYE/PYP-G 200 S4, PYE/PYP-PV 200 S5	EVA Ethylen-Vinylacetat-Terpolymer/- Copolymer (bitumenverträglich)
V60	- PYE-Vcu S5, PYE-Cu01 S5	PE-C Chloriertes Polyethylen
(Glas)Vlieseinlage 60 g/m ²	Kaltselbstklebende Polymerbitumenbahnen (KSP) als untere (obere) Lage	EPDM Ethylen-Propylen-Dien Polymer (bitumenverträglich)
S4 oder S5	- PYE-KTG KSP-2,8 (3,2), PYE-KTP KSP-2,8 (3,2)	TPE Thermoplastisches Polymer
Schweißbahn, Bahndicke	- PYP-KTG KSP-2,8 (3,2), PYP-KTP KSP-2,8 (3,2)	FPO/TPO Flexibles Polyolefin (bitumenverträglich)
KTG/KTP	Glasvlies-Bitumendachbahnen nur als zusätzliche Lage oder Trennlage - V13	
Kombinationsträgereinlage		
VCu bzw. Cu01		
Kupferbandeinlage		

3.4.3 _ Bauzeit- und Behelfsabdichtungen

Grundsätzlich sind Holzbauteile durch geeignete Maßnahmen vor der Witterung und hohen Feuchten zu schützen, siehe DIN 68800-2 und VOB/C¹⁾. Dies kann bspw. über ein Schutzdach (vgl. Abb. 3.4.4) oder bei Flachdächern auch über eine Bauzeit- bzw. Behelfsabdichtung erfolgen. Erfahrungsgemäß bietet der temporäre Witterungsschutz durch lose aufgebrachte Planen und Folien bei Flachdächern keinen zuverlässigen Schutz gegen Witterungseinflüsse, insbesondere bei fehlendem Gefälle. Deshalb ist bei den Holzbauweisen bereits für die Montagephase eine robuste Bauzeit- oder Behelfsabdichtung einzuplanen und auszuführen. Diese können bei Aufdachdämmsystemen gleichzeitig die Funktion der Dampfsperre übernehmen.

Eine Befeuchtung der hölzernen Tragkonstruktion während der Bauphase kann bei nicht belüfteten Bauweisen des Typs II und III zu Holzfeuchten führen, die selbst bei fachgerechter Planung mittel- bis langfristig zu Schäden führen (vgl. Kap. 5). Auch optische Mängel an sichtbar bleibenden Dachuntersichten können durch geeignete Schutzmaßnahmen vermieden werden.

Als Bauzeit- und Behelfsabdichtung haben sich einlagige, streifen- oder punktiertig befestigte Polymerbitumenbahnen sowie frei bewitterbare PVC-Dachbahnen bewährt. PE-Folien sind dagegen nicht geeignet.

Sie sollen eine ausreichende Robustheit aufweisen und übernehmen später innerhalb der Konstruktion die Funktion einer Diffusionssperre bzw. -dichtung. Sie sind vorzugsweise dem Gewerk des Zimmerers zuzuordnen, damit sie ohne Zeitverzögerung unmittelbar nach Verlegen der Tragkonstruktion aufgebracht werden. Bei der Ausführung ist darauf zu achten, dass Wasser in der Bauzeit sicher und kontrolliert abgeleitet wird. Dazu müssen die Abdichtungen bis über den Bauwerksrand hinweggeführt werden. Entwässerungseinläufe sind bereits in der Bauphase in die Behelfsabdichtung einzusetzen, Aufstockelemente werden dann später mit der Aufdachdämmung ergänzt.

Abb. 3.4.4

Beispiel eines temporären Witterungsschutzes während der Bauphase bei einem Altbau mit rollbarem Kehlerdach



¹⁾ Der Schutz der Holzbauteile vor Niederschlägen während der Bauphase zählt zu den grundsätzlichen baulichen Holzschutzmaßnahmen nach DIN 68800-2. Gemäß ATV DIN 18299 ist „die Sicherung der Arbeiten gegen Niederschlagswasser mit dem normalerweise gerechnet werden muss und seine etwa erforderliche Beseitigung“ eine Nebenleistung, die in den Verantwortungsbereich des Unternehmers fällt. Als besondere Leistungen gem. ATV DIN 18334 gelten jedoch „besondere Schutzmaßnahmen (...) mit Bautenschutzfolien ab 0,2 mm“. Hierzu zählen die hier empfohlenen Bauzeit- und Behelfsabdichtungen, die separat ausgeschrieben werden müssen.

3.4.4 _ Anschlüsse an aufgehende Bauteile

Besonders zu beachten sind Anschlusshöhen von Abdichtungen an aufgehende Bauteile und Dachränder, die ab Oberkante Belag i.d.R. 15 cm betragen, siehe Tabelle 3.4.4. Sie haben Auswirkung auf die Höhenlage von Dachrändern oder die Erreichbarkeit von Dachterrassen.

Eine Verringerung der Anschlusshöhe auf 5 cm ist z.B. vor Türen dann möglich, wenn im Belag unmittelbar vor der gesamten Türbreite durch Einbau einer Entwässerung die Wasserbelastung minimiert wird. Zu jeder Zeit muss hierbei der einwandfreie Wasserablauf gewährleistet sein, siehe Abb. 3.4.5.

Soll im Ausnahmefall ein weitgehend niveaugleicher oder barrierefreier Austritt ermöglicht werden sein, sind abdichtungstechnische Sonderkonstruktionen erforderlich, z.B. Schwellen mit Magnetdichtung und integrierter Entwässerung, siehe Detail Abb. 3.4.6 und Abb. 3.4.7. Diese Ausführung entspricht jedoch nicht den einschlägigen Regelwerken. Empfohlen werden:

- Schutz durch Überdachungen bzw. Vordächer,
- Rinnenausbildung vor Fenstertüren
- Verwendung geeigneter Abdichtungsprofile
- Fensterprofile mit Abdichtungsanschluss
- Hinweis an die Bauherrschaft zur Abweichung von Normen

Tab. 3.4.4 Anschlusshöhen von Abdichtungen für genutzte (nicht genutzte) Dächer nach DIN 18531-1¹⁾

DACHNEIGUNG	BIS 5°	ÜBER 5°
Aufgehende Bauteile ²⁾	15 cm	15 (10) cm
Dachränder	10 cm	10 (5) cm

¹⁾ Angaben ab OK Abdichtung bzw. Schutzschicht (z.B. Kies). In schneereichen Gebieten sind diese ggf. zu erhöhen. Im Holzbau sind die Angaben als Mindestanforderung zu betrachten.

²⁾ Vor Türen auf 5 cm zu reduzieren in Verbindung mit wannenbildender Entwässerungsrinne mit Anschluss an die Entwässerung.

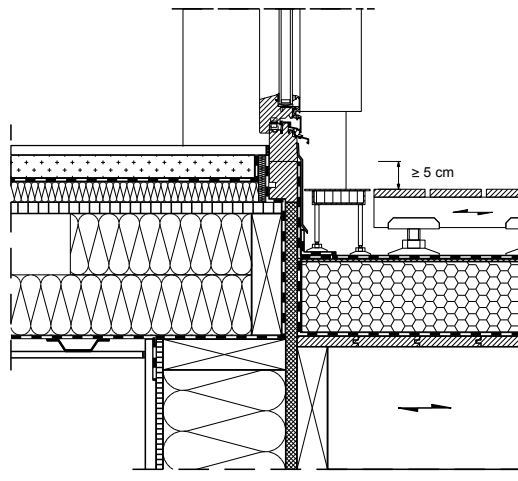


Abb. 3.4.5

Detailausbildung einer durch Rinnenausbildung auf 5 cm reduzierten Anschlusshöhe

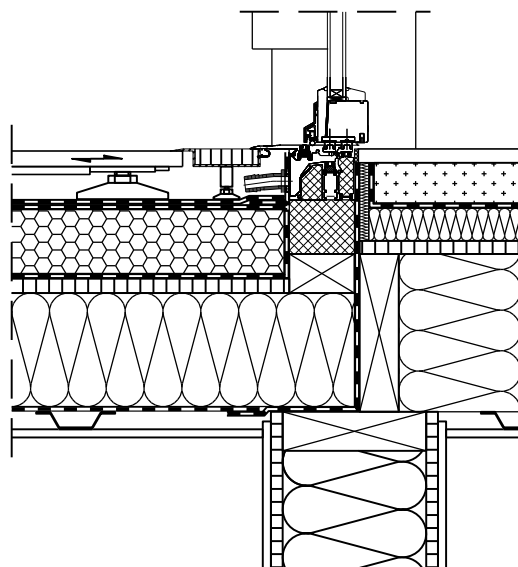


Abb. 3.4.6

Detailausbildung eines barrierefreien Zugangs einer Dachterrasse mit Rinne und speziellem Fensterprofil als Sonderkonstruktion mit besonderen Schutzmaßnahmen



Abb. 3.4.7

Beispiel einer barrierefreien Ausführung eines Terrassenaustritts mit Rinne und Fensterprofil mit Entwässerung als Sonderkonstruktion

Abb. 3.5.1a

Doppelstehfalzdeckung



Abb. 3.5.1b

Leistendeckung als Klicksystem



Abb. 3.5.2

Strukturierte Trennlage
 unter Metalldachbekleidung
 aus Titanzink
 (Dicke i.d.R. mind. 7 mm)



Abb. 3.5.3a und b

Entwässerungsprofil für Traufe
 für Metalldachdeckung mit
 strukturierter Trennlage



3.5 _ Dachdeckungen aus Metall

Metalldachdeckungen finden im Flachdachbereich im Regelfall bei Dachneigungen ab 7° Anwendung, siehe Tabelle 3.5.1. Da Metalldachdeckungen keine in der Fläche geschlossenen Systeme sind, werden Dachneigungen unterhalb 7° nicht empfohlen.

Aufgrund eines möglichen Tauwasseranfalls auf der Rückseite der Metalldachdeckung ist auf Dachschalungen aus Holzwerkstoffplatten eine geeignete Trennlage anzuordnen. Bewährt haben sich diffusionsoffene, strukturierte Trennlagen (auch Wirrfaserbahn genannt), die ein 6 bis 8 mm dickes Polyamid- bzw. Polypropylengeflecht aufweisen, siehe Abb. 3.5.2. Durch die entstehende Dränageschicht kann durch Sekundärtauwasser anfallende Feuchtigkeit abgeführt werden. Traufseitig ist ein Entwässerungsprofil vorzusehen, damit sich kein Wasser zwischen Blech und Dachschalung ansammelt und Schäden verursacht, siehe Abb. 3.5.3. Eine strukturierte Trennlage reduziert zudem die Geräuschentwicklung bei Starkregen um bis zu 11 dB.

Tab. 3.5.1 Dachneigungen bei Metalldachdeckungen nach Klempnerfachregeln [KFR]

DACHNEIGUNG	METALLDACHDECKUNG
< 3°	rollennahtgeschweißte Edelstahldeckung
≥ 7° (≥ 3°)	Doppelstehfalzdeckung (bei 3° bis 6° mit Sondermaßnahmen, z.B. Dichtbandeinlage, Falzerhöhung oder Unterdach – nicht empfohlen)
≥ 3° bis 15°	zusätzliche Maßnahmen bei Titanzink, z.B. Trennlage mit Dränagefunktion
≥ 3°	Leistendeckung

3.6 _ Konstruktionshölzer und Schalungen aus Vollholz

Bauschnitthölzer und Dachschalungen aus Nadelholz müssen grundsätzlich trocken eingebaut und vor Feuchteeinwirkungen während der Bauphase geschützt werden [03]. Als trocken gilt eine massenbezogene Holzfeuchte von $u_m \leq 20 \%$. Für den Holzhausbau gelten gemäß ATV DIN 18334 mit maximal 18 % erhöhte Anforderungen, um eine hohe Maßhaltigkeit zu erzielen und Setzungen bzw. Verformungen durch Schwinden zu vermeiden.

Bei nicht belüfteten Flachdachkonstruktionen (Typ II und III) ist aufgrund ihrer eingeschränkten Trocknungsmöglichkeiten eine Einbaufeuchte von 15 % anzustreben (vgl. Kap. 6). Hierfür eignen sich konstruktive Vollholzprodukte wie Konstruktionsvollholz ($u = 15 \pm 3 \%$) bzw. Balken- oder Brettschichtholz ($u = 15 \%$), siehe Abb. 3.6.1.

Zur Reduzierung des Vollholzanteils und zur Realisierung großer Bauteildicken bzw. Spannweiten können als Alternative zu Vollholzbauteilen Holzstegträger eingesetzt werden, deren Flansche meist aus Furnierschichtholz und der Steg aus Holzwerkstoffplatten (OSB oder Hartfaserplatten) bestehen, siehe Abb. 3.6.2.

Dachschalungen aus Vollholz

Tragende Dachschalungen aus Vollholz müssen aus Brettern oder Bohlen mindestens der Sortierklasse S 10 bzw. der Festigkeitsklasse C 24 hergestellt werden (vgl. Tabelle 3.6.1). Die Mindestdicke tragender Dachschalungen beträgt 24 mm, die Maximalbreite der Bretter unter Abdichtungen sollte auf 160 mm begrenzt werden. Eine Nut- und Feder-Verbindung von Brettschalungen unter Dachabdichtungen ist vorteilhaft, damit bei hohen Einzellasten keine Beschädigungen an der Abdichtung entstehen.

Weitere Informationen zu Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz (Duo-balken, Triobalken) im gleichnamigen Informationsdienst HOLZ (hh 4/2/1)

Tab. 3.6.1

Zuordnung von Sortier- zu den Festigkeitsklassen¹⁾

SORTIERKLASSE	
nach DIN 4074-1	Festigkeitsklasse nach DIN EN 338
S 10	C 24
S 13	C 30

¹⁾ Die Zuordnung gilt nur für trocken sortiertes Holz



Abb. 3.6.1

Konstruktionsvollholz und Balkenschichtholz (KVH, Duo und Triobalken)

Tab. 3.6.2

Mindestdicken für Dachschalungen und Untergründe für Abdichtungen ohne rechnerischen Nachweis [FDR]

ACHSABSTAND	$e \leq 80 \text{ cm}$	$e \leq 90 \text{ cm}$	$e \leq 100 \text{ cm}$
Vollholz	24 mm	28 mm	30 mm
Holzwerkstoff	22 mm	25 mm	25 mm



Abb. 3.6.2

Holzstegträger als Alternative zu Vollholz

Weitere Anforderungen
an Holz und Holzwerkstoffe
siehe Kapitel 4.6

3.7 _ Holzwerkstoffe als tragende und aussteifende Dachschalung

Dachschalungen aus Holzwerkstoffplatten müssen zum Aufbringen von Dachabdichtungen und Metalldachdeckungen eine Mindestdicke von 22 mm bzw. 25 mm bei 80 bis 100 cm Spannweite aufweisen, siehe Tab. 3.6.2. In Abhängigkeit der Nutzungsklasse als tragende und aussteifende Beplankung verwendbare Platten sind in Tabelle 3.7.1 aufgeführt. Die Nutzungsklassen (NKL) können folgenden Anwendungsbereichen zugeordnet werden:

NKL 1 Trockenbereich, bei 20° C; ≤ 65 % r.F.:
der Raumseite zugeordnete Dachschalungen beheizter Gebäude

NKL 2 Feuchtbereich, bei 20° C; ≤ 85 % r.F.:
Regelfall für Dachschalungen und Unterdeckplatten von belüfteten und unbelüfteten Dächern

NKL 3 Außenbereich, bewittert bzw. > 85 %
keine Anwendung

Grundsätzlich dürfen nur solche Holzwerkstoffe eingebaut werden, die neben der DIN EN 13986 auch der DIN 20000-1 (Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken–Teil 1: Holzwerkstoffe) entsprechen. Nicht genormte Platten müssen über eine europäisch-technische Zulassung (ETA) geregelt sein. Zusätzlich gelten für Holzwerkstoffe die in der nationalen Anwendungsnorm DIN 20000-1 festgelegten ergänzenden Anforderungen wie z.B. die Einhaltung der Emissionsklasse E1 (geringe Formaldehydemissionen) oder bestimmte, vom Hersteller zu deklarierende Kennwerte (z.B. μ -Wert).

Abb 3.7.1 Holzwerkstoffplatten für Dachschalungen: OSB, Spanplatte, Sperrholz, Massivholzplatte, Furnierschichtholz, Zementgebundene Spanplatte



Tab. 3.7.1 Technische Klassen von Holzwerkstoffen für die Anwendung als tragende Dachschalung

HOLZWERKSTOFF nach DIN EN 13986	TECHNISCHE KLASSE	NKL 1 trocken	NKL 2 feucht	NKL 3 außen
OSB-Platten¹⁾ nach DIN EN 300	OSB/2 (tragend)	●	-	-
	OSB/3 (tragend)	●	●	-
	OSB/4 (hochbelastbar)	●	●	-
Spanplatten¹⁾ (kunstharzgebunden) nach DIN EN 312	P4 (tragend)	●	-	-
	P5 (tragend)	●	●	-
	P6 (hochbelastbar)	●	-	-
	P7 (hochbelastbar)	●	●	-
Sperrholzplatten²⁾ nach DIN EN 636	EN 636-1	●	-	-
	EN 636-2	●	●	-
Massivholzplatten nach DIN EN 13353 oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung	SWP/1	●	-	-
	SWP/2	●	●	-
	SWP/3 ³⁾	●	●	o
Furnierschichtholz nach DIN EN 14279 bzw. DIN EN 14374 (tragend)	LVL/1	●	-	-
	LVL/2	●	●	-
	LVL/3	●	●	o ⁴⁾
Zementgebundene Spanplatten nach DIN EN 634-1/-2	Klasse 1	●	●	o ⁴⁾
	Klasse 2	●	●	o ⁴⁾

¹⁾ Span- und OSB-Platten sind in NKL 2 als Dachschalung verwendbar, wenn sie eine PMDI-Verklebung aufweisen

²⁾ Die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften werden über bauaufsichtliche Zulassungen geregelt

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

⁴⁾ Die Anwendung in NKL 3 erfordert einen gesonderten baurechtlichen Nachweis



Weitere Informationen zur Ausbildung von Holztafelbauelementen siehe Informationsdienst HOLZ „Holzrahmenbau“ (hh 1/17) [05] sowie holzbau statik aktuell 03 „Bemessung von aussteifen Deckentafeln“

Scheibenausbildung

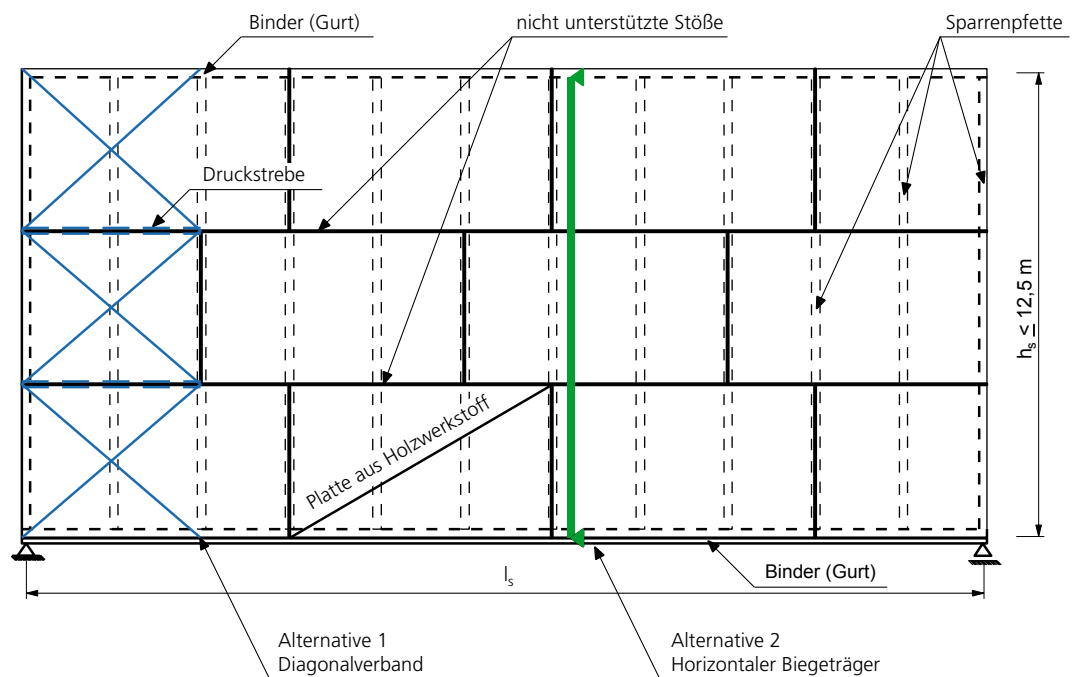
Für Herstellung von Dach- und Deckenscheiben sind die im Handel üblichen Plattenformate ab 1,25 m x 2,50 m geeignet. Hierbei gelten die nachfolgenden Anforderungen an die Scheibenausbildung, welche in DIN EN 1995-1-1 im Rahmen des rechnerischen Nachweises konkretisiert werden, siehe auch Abb. 3.7.2:

- Beplankung rechtwinklig zur Balkenlage verlegen (Normalfall, Ausnahmen möglich)
- Stöße an den Plattenenden sind grundsätzlich auf den Balken auszuführen (Empfehlung: geeignetes Rastermaß vorsehen)
- Kontinuierliche Verbindung mit der Balkenlage durch Nägel, Klammern oder Schrauben
- Anordnung und Verbindung der Beplankung mit einem umlaufenden Druck- und Zuggurt
- Seitliche Plattenstöße können ohne Hinterlegung ausgeführt werden (Anzahl begrenzt)

Nicht unterstützte Plattenstöße sind nur in begrenztem Umfang orthogonal zur Unterkonstruktion (Balkenlage) möglich. Genaue Vorgaben zur Scheibenausbildung sind vom Statiker einzufordern.

Alternativ zur Ausführung von Dach- und Deckenscheiben können Diagonalverbände in der Dachebene oder horizontale Biegeträger eingebaut werden, wodurch die Anforderungen an die Unterstützung von Plattenstößen bei Beplankungen aus Holzwerkstoffen bei großen Dachflächen entfallen können (Prinzipdarstellung siehe Abb. 3.7.2).

- Abb. 3.7.2** Ausführungsbedingungen von Dachscheiben:
- Anordnung von Holzwerkstoffplatten bei Scheibenstützweiten bis 12,5 m [05]. Bei größeren Stützweiten muss eine Hinterlegung der nicht unterstützten Plattenstöße zur kraftschlüssigen Verbindung der Beplankung erfolgen.
 - Alternative 1: Diagonalverbände (blau)
 - Alternative 2: horizontaler Biegeträger (grün)



3.8 _ Wärmedämmstoffe

Mindestanforderungen an Dämmstoffe für die verschiedenen Anwendungszwecke sind in DIN 4108-10 festgelegt. Bei der Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe muss zwischen Nennwert (λ_D) und Bemessungswert (λ_B) unterschieden werden, wobei letzterer für den Nachweis des Wärmeschutzes (U-Wert-Berechnung) maßgebend ist. Tab. 3.8.1 enthält hierzu Orientierungswerte.

Aufdachdämmungen

Dämmstoffe sind bei Flachdächern immer dann einer besonders hohen Druckbeanspruchung ausgesetzt, wenn sie als Aufdachdämmung direkt unterhalb der Abdichtung eingesetzt werden. Geeignet sind Dämmstoffe, wenn sie für diesen Anwendungsbereich (DAA) deklariert sind.

Schaumkunststoffe aus EPS, XPS sowie PUR bzw. PIR finden im Holzbau auf zahlreichen Flachdächern Anwendung. Sie bieten sehr gute Wärmedämmeigenschaften und sind als Gefälldämmung lieferbar. EPS und das feuchteunempfindlichere XPS sind kostengünstig, stellen aber im Brandfall eine erhebliche Brandlast dar. Bei XPS-Dämmstoffen können durch temperaturbedingte Längenänderungen und hohe Kantensteifigkeit Zwängungen auftreten, weshalb eine vollflächige Trennung von der Abdichtung erfolgen muss.

Nichtbrennbare **Mineralwolledämmstoffe** bieten insbesondere bei großflächigen Dächern Vorteile, weil sie keinen Beitrag zur Brandlast leisten. Besonders druckfeste Mineralwolle-Dämmstoffe können ohne Zusatzmaßnahmen unter Abdichtungen eingesetzt werden, wenn die Dachfläche nicht genutzt und nur in Ausnahmefällen betre-

ten wird. Bei genutzten Dachflächen sind lastverteilende Maßnahmen oberhalb der Dämmschicht vorzunehmen.

Mit **Schaumglasdämmstoffen** können wegen ihrer hohen Druckfestigkeit und der vollflächigen Verklebung mit Untergrund und Dachabdichtung besonders robuste Dachoberflächen hergestellt werden. Bei Undichtigkeiten sind Feuchtigkeitsschäden an der Konstruktion kaum zu erwarten und bleiben lokal begrenzt. Das diffusionsdichte Material macht diffusionsperrende Schichten unterhalb des Dämmstoffes entbehrlich, was aufgrund der im Holzbau erforderlichen Behelfs- bzw. Bauzeitabdichtung und der notwendigen Entkopplung vom Untergrund aber nicht empfehlenswert ist.

Zwischensparrendämmung (Matten- und Einblasdämmstoffe)

Zwischen der Tragkonstruktion eingebrachte Dämmstoffe müssen flexibel sein, um sie fugenfrei einbringen zu können. Es kommen Faserdämmstoffe aus Mineralwolle, Zellulose, Holzfasern und andere Naturdämmstoffe zum Einsatz. Die Dämmung kann zwischen die Tragkonstruktion geklemmt oder lose auf eine flächige Unterkonstruktion aufgelegt werden.

Mit den im Holzbau verbreiteten Einblasdämmstoffen aus Zellulose- oder Holzfasern, seltener auch lose Mineralfaser oder mineralischen Granulaten, lassen sich fugenlose Dämmungen selbst in schwer zugänglichen Bereichen herstellen. Zellulose- und Holzfaserdämmstoffe zeichnen sich neben ihrer hohen Wärmespeicherfähigkeit durch ihre Feuchteabsorptionsfähigkeit aus.

Tab. 3.8.1 Eigenschaften von Dämmstoffen und Zuordnung zu üblichen Anwendungsbereichen

DÄMMSTOFF (Kurzbezeichnung)	PRODUKTNORM baurechtliche Grundlage	ANWENDUNGS- BEREICHE ¹⁾	WÄRMELEITFÄHIGKEIT Bemessungswert λ_B [W/(mK)]	BRANDVERHALTEN	
				Baustoff- klasse ²⁾	Euro- klasse ³⁾
MW	Mineralwolle (Steinwolle für DAA)	DIN EN 13162 DZ DAA, DAD	0,032 - 0,035 0,038 - 0,040	A1/A2	A1
EPS	Polystyrol-Hartschaum	DIN EN 13163	0,032 - 0,035	B14)	E
XPS	Polystyrol-Extruderschaum	DIN EN 13164	0,034 - 0,039	B14)	E
PUR ⁵⁾	Polyrethan-Hartschaum	DIN EN 13165	0,023 - 0,025	B2	- ⁵⁾
PF	Phenolharz-Hartschaum	DIN EN 13166	0,022 - 0,025	B2	E
CG	Schaumglas	DIN EN 13167	0,037 - 0,040	A1	A1
WF	Holzfasern (für DAA nicht empfohlen)	DIN EN 13171	0,038 - 0,040 0,045 - 0,048	B2	E
-	Zellulosefaser nach allgemein bauaufsichtlicher Zulassung	ETA / abZ	0,039 - 0,042	B2	E ⁶⁾

¹⁾ Bezeichnungen nach DIN 4108-10 (siehe Tabelle 3.8.2)

²⁾ Baustoffklasse nach DIN 4102-4: A = nicht brennbar, B1 = schwerentflammbar, B2 = normalentflammbar

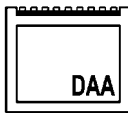


³⁾ Euroklasse nach DIN EN 13501-1 ohne Brandnebenerscheinungen: A = nicht brennbar, E = normalentflammbar

⁴⁾ EPS und XPS erfüllen nach europäischem Prüfverfahren nicht mehr die Klassifizierung „schwerentflammbar“, siehe Euroklasse

⁵⁾ Neben PUR ist auch PIR (Polyisocyanurat-Schaum) mit beidseitiger Aluminiumkaschierung gebräuchlich (B-s2, d0)

⁶⁾ Die meisten Produkte mit ETA haben B-s2, d0 – mangels Glimmnachweis wird auf Klasse E reduziert

Tab. 3.8.2 Anwendungsgebiete und erforderliche Eigenschaften¹⁾ für Aufdach- und Zwischensparrendämmungen von Flachdächern nach DIN 4108-10

ANWENDUNGSBEREICH (Dämmstofftyp)	MW	EPS	XPS	PUR/PIR	CG	WF	ZELLULOSE
 DAA Dach/Decke, Außendämmung unter Abdichtung	nur nicht genutzte Dachflächen (ngDF)	(dm für ngDF) dh ds	dm dh ds	dh ds	dh ds dx	nicht geeignet	nicht geeignet
 DZ Dach, Zwischensparrendämmung	+	-	-	-	-	+	+
 DAD Dach/Decke, Außendämmung unter Deckungen	dk dh	+	+	(+)	-	dg dm ds	nicht geeignet

¹⁾ Anforderungen an die Druckbelastbarkeit: dm = mittlere, dh = hohe, ds = sehr hohe, dx = extrem hohe Druckbelastbarkeit

3.9 _ Dachbegrünungen

Flachdächer sind für die Nutzung von Dachbegrünungen prädestiniert. In vielen Bebauungsplänen ist das Aufbringen extensiver Begrünungen auf Flachdächern Pflicht, in einigen Bauordnungen wurden entsprechende Verpflichtungen aufgenommen. Ursache der Anforderungen sind die positiven Eigenschaften von Dachbegrünungen, die Insekten Lebensraum bieten und durch die Bindung von Staub und Schadstoffen für ein besseres Mikroklima in Städten sorgen. Durch den verzögerten Wasserablauf werden die Entwässerungssysteme entlastet, was sich positiv auf Abwasserbeiträge und die Dimensionierung von Abflüssen auswirken kann. Im Holzbau kommen aus statischen Gründen extensive Begrünungssysteme bis maximal 15 cm Gesamtdicke zum Einsatz, siehe Abb. 3.9.1.

Vorteile für die Flachdachkonstruktion

Begrünungssysteme haben eine schützende Funktion für die Dachhaut, da sie UV-Strahlung und erhebliche Temperaturschwankungen abhalten, wodurch sich die Lebensdauer der Abdichtung verlängert. Sie dienen als Beschwerung (Windsogsicherung) lose aufgelegter Abdichtungen und haben Bekiesungen weitgehend abgelöst. Ihre kühlende und dauerhaft erdfeuchte Oberfläche verbessert zudem den sommerlichen Wärmeschutz.

Bei den nicht belüfteten Bauweisen ohne bzw. mit Teilüberdämmung (Typ II bzw. III, vgl. Kap. 2.1) bewirkt die Begrünung eine Einschränkung des Rücktrocknungspotentials, da die Erwärmung der Deckschichten durch die Verdunstungskälte des Wassers stark verzögert wird. Dies muss bauphysikalisch berücksichtigt werden (siehe Kap. 5).

Uneingeschränkt, d.h. ohne bauphysikalischen Nachweis, können extensive Begrünungen nur für Konstruktionen mit Aufdachdämmung (Typ I) empfohlen werden.

Planungshinweise

Bei der Planung von extensiven Dachbegrünungen sind nachfolgende Aspekte zu beachten:

- Zusatzgewicht, je nach System zwischen 55 bis ca. 150 kg/m² (wassergesättigt),
- Dachabdichtung mit wurzelfesten Eigenschaften, ansonsten zusätzliche Wurzelschutzbahn,
- Gewünschte Oberflächenbeschaffenheit klären (Art und Höhe des Bewuchses),
- Für dauerhaft grüne Oberflächen sind Systeme mit Wasserspeicherelementen vorzuziehen,
- Entwässerung (Dränage) ohne Wasseranstau sicherstellen,
- Dachrandausbildung und erhöhte Anschlüsse an aufgehende Bauteile beachten,
- Bekiesung für Dachrandbereiche und Inspektionswege vorsehen.

Grundsätzlich sind aufeinander abgestimmte Begrünungssysteme jeweils eines Herstellers mit bauaufsichtlichem Verwendbarkeitsnachweis zu verwenden. Besondere Eigenschaften, wie z.B. Eignung als „harte Bedachung“ (vgl. Kap. 4.5) sind durch Prüfzeugnis nachzuweisen. Für auf die Dachfläche aufzubringende Photovoltaik-elemente sind Systeme erhältlich, die zugleich als Sogsicherung dienen können.

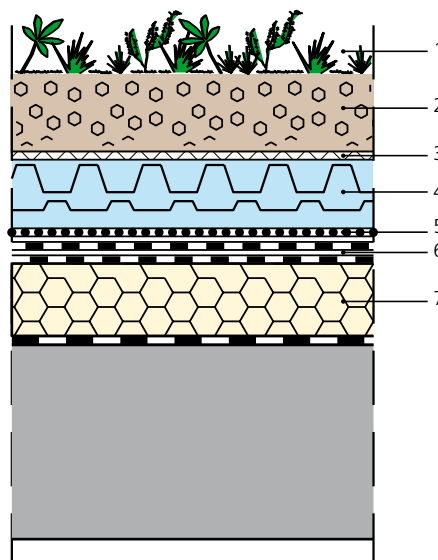


Abb. 3.9.1

Aufbau einer extensiven Begrünung

1. Bepflanzung, bestehend aus Moosen, Sedum, Gräsern oder Kräutern, ggf. auch Sträuchern
2. Substratschicht zur Verwurzelung, Nährstoffversorgung und Wasserspeicherung
3. Filtervlies gegen Ausschwemmen von Feinteilen
4. Wasserspeicherelement bzw. mineralische Wasserspeicher- und Filterschicht
5. Vlies zum Schutz der Dachabdichtung
6. Wurzelschutzbahn bzw. wurzelfeste Abdichtung
7. Druckfeste Dämmung (Bauwerk)

3.10 _ Ausführung und Unterhaltung

3.10.1 _ Ausführungshinweise

An Flachdächer als oberer Abschluss der Gebäudehülle bestehen besondere Anforderungen an den Feuchteschutz – nicht nur während der Nutzung, sondern bereits in der Bauphase. Um dauerhafte Konstruktionen zu realisieren sind die nachfolgend zusammengefassten Regeln zu beachten. Wesentliches Schadenrisiko für Flachdächer in Holzbauweise ist ein unplanmäßiger Feuchteeintrag, der folgende Ursachen haben kann:

Ursachen für ungeplanten Feuchteeintrag:

1. Zu hohe Materialfeuchte
2. Niederschläge während der Bauzeit
3. Baufeuchte z.B. durch Estrich und Putz
4. Konvektion durch mangelhafte Luftdichtheit
5. Abdichtungsmängel
6. Mangelhafte Unterhaltung

Diese Risiken können durch sorgfältige Planung und Arbeitsvorbereitung sowie eine fachgerechte Ausführung minimiert werden. Darüber hinaus bedürfen Flachdächer – wie andere Gebäudeteile auch – einer regelmäßigen Kontrolle. Da ihre Oberflächen meist nicht direkt einsehbar sind und Schäden an der Abdichtung nur durch Folgeschäden erkennbar sind, muss zudem eine regelmäßige Bauwerksunterhaltung erfolgen.

1. Begrenzung der Materialfeuchte

Die Verwendung von trockenem Holz und Holzwerkstoffen ist verpflichtend (siehe Kap. 3.6/3.7). Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass die Materialien während der Bauphase trocken bleiben. Bei beidseitig geschlossenen Konstruktionen (Typ II und III) muss die Holzfeuchte vor dem Schließen des Bauteils dokumentiert werden. Sofern ein ungeplanter Feuchteeintrag stattgefunden hat, sind vor Schließen des Bauteils Trocknungsmaßnahmen einzuleiten.

2. Witterungsschutz bei Montage

Der Schutz der Holzkonstruktion während der Bauphase liegt in der Regel im Verantwortungsbereich des Unternehmers. Durch Behelfs- bzw. Bauzeitenabdichtungen sind Niederschläge von der Konstruktion fern zu halten. Diese können später als zusätzliche Abdichtungsebene und Dampfsperre dienen, vgl. Kap. 3.4.3. Dabei ist es empfehlenswert, diese bereits bei der Planung des Bauteilaufbaus zu berücksichtigen.

3. Baufeuchte minimieren

Die während der Bauphase freiwerdenden Feuchtemengen dürfen nicht unterschätzt werden, insbesondere wenn Holzflachdächer eine Mauerwerks- oder Betonbauweise nach oben abschließen. Einbindendes Mauerwerk und der Einbau von Nassestrichen bewirkt einen erheblichen Feuchteeintrag, der ebenso kontrolliert abgeführt werden muss, wie Feuchte durch Spachtel- und Malerarbeiten. Dazu sind durch die Bauleitung organisatorische Maßnahmen zu veranlassen, wie regelmäßiges Stoßlüften und das Nachbehandeln von Estrichen, z.B. durch Folienabdeckung. Die hölzerne Dachkonstruktion ist vor Ausführung von feuchteintensiven Baumaßnahmen zu dämmen und luftdicht auszuführen.

Bei der Verwendung feuchtevariabler Dampfbremsen bei Holzflachdächern des Typs II und III muss auf die Gefahr eines Feuchteeintrags durch Diffusion hingewiesen werden.

4. Konsequente Luftdichtung

Die luftdichte Gebäudehülle ist nicht nur aus energetischen Aspekten von Bedeutung, sondern dient auch der Vermeidung von Feuchteintrag in geschlossene Bauteile. Die Luftdichtheit ist nach DIN 4108-7 so zu planen, dass sie handwerklich umsetzbar ist (Luftdichtheitskonzept). Bei der Ausführung ist besonderes Augenmerk auf die dem Holzbau nachfolgenden Gewerke zu richten, insbesondere die Installationen der technischen Gebäudeausrüstung. Empfehlenswert ist es darüber hinaus, die Arbeiten zum Herstellen der Luftdichtheit nicht vom Gewerk des Holzbaus zu trennen, sondern diese in einem Verantwortungsbereich zu belassen. Bei nicht belüfteten Flachdächern (Typ II) sollte, bei Dächern des Typ III muss neben einer visuellen Überprüfung der Luftdichtheitsebene zusätzlich eine Luftdichtheitsmessung mit Leckagesuche erfolgen.

5. Abdichtungsmängel vermeiden

Bei Dächern ohne zusätzliche Deckschichten sollten robuste Abdichtungen bevorzugt werden. Bei häufiger Begehung der Dachflächen sind z.B. Inspektionswege mit Schutzlagen wie Bautenschutzmatten zu versehen. Ein schwerer Oberflächenschutz wie Kiesschichten oder extensive Begrünungen können eine wirkungsvolle Maßnahme sein, um die Lebensdauer der Dachabdichtung zu verlängern. Grundsätzlich sollte im Holzbau eine Bauzeiten- bzw. Behelfsabdichtung vorgesehen werden, vgl. Kap. 3.4.3.

3.10.2 _ Unterhaltungsmaßnahmen

Zur Instandhaltung von Abdichtungen auf Dächern werden nach DIN 18531-4 folgende grundsätzliche Maßnahmen unterschieden:

Inspektionen als Sichtkontrolle zur Feststellung des Zustandes und der Funktion der Abdichtung einschließlich ihrer An- und Abschlüsse und Entwässerungen. Die Überprüfung der Dachfläche und ihrer Anschlüsse soll mindestens einmal jährlich erfolgen, die der Entwässerungseinrichtungen nach DIN 1986-3 mindestens halbjährlich. Die Ergebnisse der Inspektion sind schriftlich in einem Zustandsbericht zu dokumentieren, der erforderlichenfalls weitere Maßnahmen empfiehlt.

Wartungen sind Maßnahmen zur Pflege und Reinigung der Abdichtung und ihrer Entwässerung. Hierzu zählen zum Beispiel

- die Beseitigung von Verschmutzungen und unerwünschtem Pflanzenbewuchs,
- die Reinigung von Dachabläufen und Dachrinnen sowie
- die Beseitigung von Kiesverwehungen.

Die Wartung sollte mindestens einmal jährlich im zeitlichen Zusammenhang mit einer Inspektion erfolgen und dokumentiert werden.

Instandsetzungen sind Reparaturmaßnahmen von vorhandenen Schäden an Abdichtungen einschließlich ihrer An- und Abschlüsse mit dem Ziel einer fachgerechten Wiederherstellung. Hierbei ist darauf zu achten, dass im Rahmen von Voruntersuchungen ein Abgleich mit der geforderten Konstruktion bzw. Abdichtung vorgenommen wird. Bei Abweichungen oder eventuellen Schäden an der hölzernen Tragkonstruktion sind geeignete Fachleute und ggf. Gutachter hinzuzuziehen.

Ebenso ist bei geplanten Änderungen des Dachaufbaus oder bei zusätzlichen Dachaufbauten Rücksprache zu halten, um deren statische und bauphysikalische Auswirkungen zu klären. Hierzu zählen u.a.:

- Verwendung neuer Abdichtungsmaterialien,
- andere Farbigekeit der Abdichtung,
- zusätzliche Abdichtungsschichten,
- Veränderungen des Dachaufbaus,
- Aufbringen von zusätzlichen Aufbauten (Terrassen oder technische Anlagen).

Tabelle 3.10.1 enthält eine Übersicht über empfohlene Wartungsintervalle für die Dachabdichtung bzw. Metalldachdeckung und die Dachent-

wässerung. In Gebieten mit hohem Baumbestand müssen die Wartungsintervalle eventuell verkürzt werden. Die Ergebnisse der Wartungsmaßnahmen sollten schriftlich und ggf. fotografisch dokumentiert werden.

Auf die Oberflächenbeschaffenheit der wasserführenden Schicht und der Dichtheit der Fugenähte ist besonders zu achten. Bei Kies- und Gründächern sind bereits 2 bis 3 Monate nach Fertigstellung die Dachentwässerungen zu kontrollieren, da lose Partikel in die Dachabläufe geschwemmt werden und sich dort festsetzen können. Für spezielle Anwendungen und Standorte können zusätzliche Wartungen anfallen.

Tab. 3.10.1 Empfohlene Wartungsintervalle und Tätigkeiten nach [13]

BAUTEIL	TÄTIGKEIT	INTERVALL, ZEITPUNKT
Foliendächer (Kunststoffbahnen) ohne Auflast	Reinigung der Dachfläche, bei Attika insb. in Randbereichen	1-2 x jährlich bzw. nach Unwetter
	Inspektion Dachabdichtung (Wellen, Blasen, Falten, Nähte)	alle 3-4 Jahre
	Inspektion von Anschlüssen und Durchdringungen	jährlich
Kiesdach	Sichtkontrolle Bekiesung auf Kiesverwehungen, Bewuchs, Verschlammung	jährlich bzw. nach Unwetter
	Inspektion von Anschlüssen und Durchdringungen	jährlich
Gründach (extensiv)	Bepflanzung pflegen, Entwässerungssysteme freihalten	laufend
	Inspektion von Anschlüssen und Durchdringungen	jährlich
Blechdach	Inspektion auf Korrosionsschäden, ggf. Schutzanstrich erneuern	alle 3-5 Jahre
Dacheinläufe	Inspektion, Sicherstellung der Funktionstauglichkeit	halbjährlich bzw. nach Unwetter
Dachrinnen, Abflussrohre (vgl. DIN 1986-3)	Überprüfung auf Verstopfungen	halbjährlich bzw. nach Unwetter
	Überprüfung auf Verformung	während Frostperiode
	Eis im Bereich der Regenwasserführung entfernen	während Frostperiode
	Außenwand hinter Dachrinne, Feuchtigkeit und Verfärbungen bei Ablaufrohren	halbjährlich
Hinterlüftungsebene	Inspektion	halbjährlich bzw. nach Unwetter
Innenbekleidung des Daches	Kontrolle auf Wasserflecken und Feuchtigkeit	laufend

3.10.3 _ Flachdach-Monitoring

Monitoringsysteme sind mittlerweile weit verbreitet und werden nicht mehr nur bei Flachdächern über Räumen mit hochsensibler Nutzung eingesetzt. Sie dienen bei großen oder schwer zugänglichen Dachflächen, z. B. bei Schulen oder Sportstätten und Dächern mit extensiver Begrünung, sowohl der laufenden Kontrolle (Leckagedetektion) als auch der schnellen Leckageortung bei Abdichtungsschäden. Die Systeme können zudem einen unzulässigen Feuchteanstieg infolge von Mängeln in der Luftdichtheitsebene bzw. Dampfsperre melden und mit Schneelastsensoren kombiniert werden. Monitoringsysteme sind in Bezug auf die Herstellungskosten von Flachdächern mittlerweile nur noch mit geringen Mehrkosten verbunden.

Feuchtemonitoring

Eine Feuchtedetektion wird bei den wenig fehler-toleranten Holzbauweisen des Typs III dringend empfohlen. Üblich sind permanente Überwachungssysteme bei denen Feuchteeintritte im Bereich der Aufdachdämmung durch Feuchte- und Temperatursensoren erfasst werden (Abb. 3.10.1). Als Sensoren dienen Feuchtemessgeräte, elektrisch leitfähige Glasvliese (gleichzeitig Trennlage), Sensorkabel bzw. -bänder oder Edelstahl-Messgitter bzw. Kontaktplatten, die unter der Dachabdichtung, ggf. auf der Dampfsperre eingebaut werden. Die Daten werden durch einen Datenkolektor gesammelt, an einen externen Daten-server gesendet und von diesem ausgewertet. Im Bedarfsfall wird der Eigentümer oder Betreiber des Gebäudes informiert (Abb. 3.10.2).

Einbau und Verkabelung der Systeme erfolgt im Regelfall mit Verlegung der Dachdämmung und Dachabdichtung, seltener durch das Holzbaugewerk. Die Monitoringsysteme können zur Unterstützung der Dichtheitsprüfung bei der Bauabnahme dienen.

Schneelastsensoren

In einige Leckagedetektorsysteme lassen sich auch funkgestützte Schneelastsensoren einbinden, die bei Überschreitung der statisch angesetzten Schneelasten Alarm schlagen. Diese System haben sich im Gebäudebestand bewährt, und sind aber aufgrund sich verändernder Klimabedingungen mit häufigen Frost-Tau-Wechseln und damit verbundenem nassen und schweren Schneemassen in Verbindung mit Vereisungseffekten auch im Neubau ein hilfreiches Instrument zur Gewährleistung des geforderten Personen- und Sachwertschutzes.



Abb. 3.10.1 Funktionsprinzip der Leckageortung durch eingebaute Sensoren

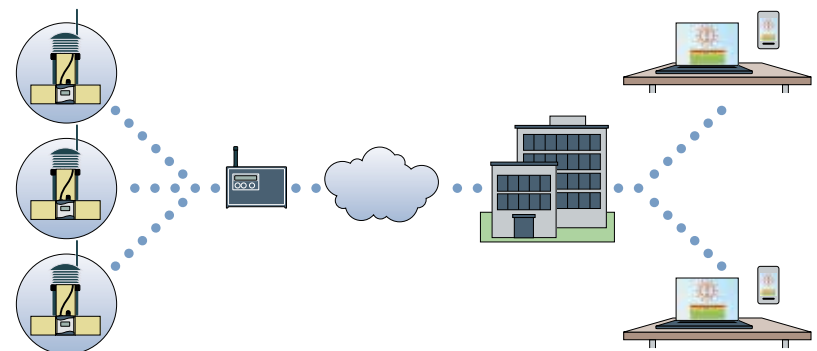


Abb. 3.10.2 Übertragungsprinzip beim Monitoring von Flachdächern

4 _ Bauphysikalische Grundlagen

Weitergehende Hinweise enthalten die Wärmebrückenkataloge verschiedener Produktanbieter sowie Informationsdienst HOLZ „Wärmebrücken“ (hh 3/2/6) [05]

4.1 _ Wärmeschutz

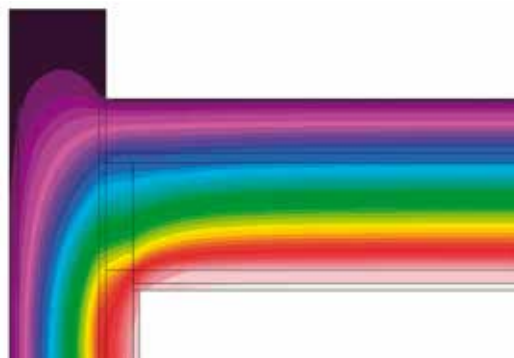
Die Anforderungen an den winterlichen Wärmeschutz sind in DIN 4108-2 und der Energieeinsparverordnung [EnEV] als gesetzliche Grundlage geregelt. DIN 4108-2 benennt Maßnahmen zur Sicherstellung eines Mindestwärmeschutzes um Tauwasser und Schimmelpilzbildung an Innenoberflächen zu vermeiden. Der Mindestwärmeschutz stellt sicher, dass Oberflächentemperaturen von 12,6° C an keiner Stelle unterschritten werden. Bei den Holzbauweisen sind diese Anforderungen aufgrund der guten Dämmeigenschaften des Baustoffs Holz von vornherein gegeben.

Zeitgemäße Flachdächer beheizter Bauwerke weisen U-Werte meist unter der EnEV-Anforderung von 0,20 W/m²K auf, vgl. Tab. 4.1.1. Diese können im Holzbau bereits mit Bauteildicken von ca. 22 cm erreicht werden.

Die Holzbauweise wird auch deshalb für Flachdachkonstruktionen gewählt, weil damit die in den letzten Jahren gestiegenen Anforderungen an den Wärmeschutz mit vergleichsweise schlanken Bauteilen erfüllt werden können. Durch das Ausdämmen der Ebene der Tragkonstruktion wird die Gesamtdicke geringer, jedoch sind hierbei die Besonderheiten des Feuchteschutzes zu beachten, vgl. Kapitel 6. Für den Regelfall wird eine Überdämmung der Tragkonstruktion empfohlen, vgl. Flachdach Typen I und II, die als Gefälledämmung ausgeführt werden kann.

Zu beachten sind mögliche Wärmebrücken in Kombination mit Mauerwerks- und Betonbauweisen, insbesondere im Bereich von Auflagern auf Ringbalken oder bei in die Dachfläche einbindenden Wohnungstrennwänden bzw. bei Brandwänden. Dies ist auch insichtlich des Feuchteschutzes von Bedeutung (siehe Kap. 4.2).

Abb. 4.1.1
 Minimierte Wärmebrücke eines Flachdachanschlusses mit Attika und Überdämmung (Typ II)



Tab. 4.1.1 Energetische Anforderungen an Flachdächer beheizter Gebäude¹⁾ mit Orientierungswert der Dämmdicke²⁾

ENERGIESTANDARD	U-Wert (W/m ² K)	Mittlere Dämmdicke bei Aufdachdämmung mit WLS 035 → Typ I	Dämmdicke im Gefach- plus Überdämmung mit WLS 035 und WLS 040 → Typ II	Dämmdicke ausschließlich im Gefach mit WLS 040 (alternativ: WLS 035) → Typen III bis V
EnEV 2014/16 (Referenzgebäude ²⁾)	≤ 0,20	16 cm	16 + 6 cm	20 (18) cm
KfW-Effizienzhaus ⁴⁾⁵⁾	≤ 0,14	24 cm	20 + 8 cm	28 (26) cm
KfW-Effizienzhaus 40 ⁴⁾ (Passivhaus)	≤ 0,11	30 cm	24 + 10 cm	36 (32) cm
EnEV 2014/16 Sanierung	≤ 0,20	16 cm	16 + 6 cm	16 (14) cm

¹⁾ Gebäude mit Raumtemperatur T ≥ 19° C - Dämmdicken auf übliche (gerade) Dämmdicken aufgerundet

²⁾ Bauteilaufbau für Typ II vorbehaltlich der Überprüfung des Feuchteschutzes, vgl. Kap. 5

³⁾ Bauteilanforderung für das Referenzgebäude – Abweichungen im Rahmen der Gesamtbilanz möglich

⁴⁾ Effizienzhäuser gemäß Förderprogramm „Energieeffizient Bauen“ (Merkblatt 153) der Kreditanstalt für Wiederaufbau (www.kfw.de)

⁵⁾ Bauteilanforderung für den alternativen Nachweis nach Referenzwerten

Flachdachsanierung

Werden Veränderungen an der Gebäudehülle vorgenommen, legt die Energieeinsparverordnung [EnEV] ebenfalls Mindestanforderungen an den U-Wert fest. Bei der Änderung bzw. Ertüchtigung von Flachdächern ist ein U-Wert von 0,20 W/m² K nicht zu überschreiten, was häufig bereits mit dem Ausdämmen der Gefache erreicht werden kann. Dies kann durch das Ausblasen vorhandener Belüftungsebenen mit Einblasdämmstoffen erfolgen. Hierbei sind jedoch die besonderen Anforderungen an die Ausbildung einer wirksamen Luftdichtheitsebene mit dampfbremsender und nicht -sperrender Wirkung zu beachten, siehe Kapitel 5. Oft erlaubt jedoch der Feuchteschutz eine solche „einfache“ Nachrüstung nicht. Es bietet es sich dann an, die Ertüchtigung von Flachdächern durch das Aufbringen neuer Dämm- und Abdichtungsschichten vorzunehmen, wobei vorhandene Belüftungsebenen verschlossen werden müssen. Liegt der Großteil der Dämmung (mind. 80 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstands) oberhalb einer ausreichend diffusionssperrenden Behelfsabdichtung, kann auf einen Feuchteschutznachweis verzichtet werden, vgl. Kap. 5 bzw. Bauteilaufbau Typ I

Sommerlicher Wärmeschutz

Anforderungen und Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz sind ebenfalls in DIN 4108-2 geregelt. Aufgrund der heute üblichen großen Dämmdicken ist der Einfluss der Bauweise und der Dämmstoffart auf den sommerlichen Wärmeschutz gering. Die maßgebenden Einflussgrößen zur Begrenzung des Temperaturanstiegs in Innenräumen bei sommerlichen Klimabedingungen sind in Tabelle 4.1.2 zusammengestellt. Helle und metallische Dachoberflächen sind aufgrund ihres vernachlässigbaren Einflusses auf den sommerlichen Wärmeschutz nicht aufgeführt, sie sind jedoch aus feuchteschutztechnischer Sicht zu beachten, da sie das sommerliche Rücktrocknungspotenzial reduzieren, siehe Kapitel 5.

Tab. 4.1.2 Einflussgrößen auf den sommerlichen Wärmeschutz des Raumklimas

EINFLUSSGRÖSSE	BEWERTUNG DES EINFLUSSES UND ERLÄUTERUNG DER MASSNAHME	
Sonneneinstrahlung durch Fenster oder Oberlichter	++	Verkleinerung nach Südost/Südwest ausgerichteter Fensterflächen
	+++	Außenliegende Verschattungen, Dachüberstände
Lüftung	+++	Nächtliche und morgendliche Fensterlüftung
Wärmespeicherkapazität der raumzugewandten Bauteilschichten	++	Schwere Baustellenestriche (Zement- oder Calciumsulfatestrich)
	+	Einsatz von Massivholzbauweisen (z.B. Brettsperholz)
Dämmstoffe bei Holztafelbauweisen	+	Dämmstoffe mit hoher Wärmespeicherkapazität (Zellulose, Holzfaser)
	+	Große Dämmdicken (U-Werte kleiner 0,20 W/mK)
Dachaufbau bzw. Oberflächenbeschaffenheit	+	Extensive Dachbegrünung bzw. schwerer Oberflächenschutz ¹⁾
Haustechnik	+	Nutzung der Nachtlüftung durch mechanische Lüftungsanlagen
	++	Aktivierung von Bauteilflächen (Boden, Decke) zur Kühlung

Bewertung: + / ++ / +++ geringer, mittlerer und großer Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz im Raum

¹⁾ Der wärmespeichernde Effekt dieser Deckschichten ist bei nicht belüfteten Konstruktionen besonders zu berücksichtigen

4.2 _ Feuchteschutz

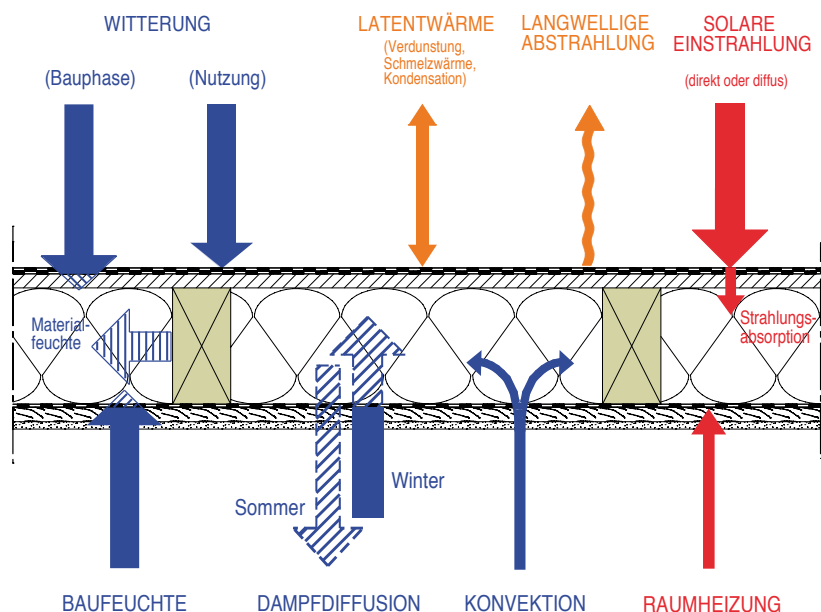
4.2.1 _ Feuchteeinwirkungen

Flachdachkonstruktionen sind besonderen Feuchteeinwirkungen ausgesetzt (siehe Abb. 4.2.1). Hierzu zählen Witterungseinflüsse während der Montage, Baufeuchtigkeit und später durch die Nutzung entstehende Feuchte. Hinzu kommt die Feuchte der verbauten Materialien. Durch den Einbau von trockenem Holz und die Verwendung von Holzwerkstoffen sind allerdings nachteilige Feuchteeinwirkungen aus der Holzkonstruktion nur noch sehr gering. Für nicht belüftete Flachdächer sollte im Hinblick auf ein reduziertes Rücktrochnungsvermögen die maximale Holzbaufeuchte bei 18 % (z.B. Konstruktionsvollholz: $u = 15 \pm 3 \%$) liegen.

Witterungseinflüsse

Regen kann während Transport, Montage und Bauzeit das Bauteil mit erheblichen Mengen an Feuchte beanspruchen. Daher ist besonders auf einen Witterungsschutz zu achten. Es wird emp-

Abb. 4.2.1
 Einwirkungen bei
 Flachdachkonstruktionen [12]



fohlen eine Behelfsabdichtung mit geeigneten Bahnen sofort nach der Montage aufzubringen, sofern nicht werkseitig bereits eine Abdichtung aufgebracht ist (siehe Kap. 3.4.3). Zudem ist auf möglichst kurze Bauzeiten zu achten. Durch Bewitterung feucht gewordene Hölzer und Materialien müssen vor dem Schließen des Bauteils vollständig abtrocknen bzw. ausgetauscht werden. Die Holz- bzw. Holzwerkstofffeuchte ist zu überprüfen und zu dokumentieren.

Baufeuchte

Neben dem Regen können auch während der Bau- und ersten Nutzungsphase erhebliche Mengen an Feuchtigkeit durch flankierende und einbindende Massivbauteile (Mauerwerk, Ringanker etc.) in das Holzflachdach gelangen (siehe Abb. 4.2.2). Die Dachkonstruktion ist unbedingt durch geeignete Maßnahmen (z.B. Folienabdeckung) vor dieser Feuchte zu schützen. Zudem können in geschlossenen Gebäuden, z.B. durch Estrich- (Nassestriche), Putz- und Malerarbeiten, sehr hohe relative Luftfeuchten entstehen. Diese Feuchte muss insbesondere bei ungedämmten Dachkonstruktionen auf Winterbaustellen beachtet werden. Weil es im Winterhalbjahr auf den kalten Bauteiloberflächen zu Tauwasseranfall kommen kann, sollten Dachkonstruktionen, soweit nicht vorgefertigt, unverzüglich gedämmt und die Luftdichtheitsschicht vollständig ausgeführt werden. Bei Verwendung von feuchtevariablen Dampfbremsen ist eine sehr hohe relative Luftfeuchte bei gleichzeitiger Baustellentemperatur über einen längeren Zeitraum zu vermeiden. Angaben dazu finden sich bei den Herstellern. Dies kann durch ausreichendes Lüften und/oder den Einsatz von Bautrocknungsgeräten erfolgen. Gegebenenfalls ist ein Estrich mit Folie in den ersten beiden Wochen abzudecken, um das Auffeuchten der Raumluft zu reduzieren.

Dampfdiffusion und Konvektion

Außenbauteile werden während der Nutzungszeit durch die beiden Feuchtetransportprozesse Diffusion und Konvektion beansprucht. Die Diffusionsprozesse resultieren aus dem unterschiedlichen Wasserdampfgehalt zwischen Innen- und Außenluft. Im Allgemeinen kommt es im Winter zu einem Diffusionsstrom von innen nach außen und im Sommer umgekehrt (Rückdiffusion). Grundsätzlich stellen nach außen diffusionsoffene Aufbauten ($s_{d,e} \leq 2,0 \text{ m}$) robuste Konstruktionen dar (siehe Tabelle 4.2.1). Bei Flachdächern bzw. flach geneigten Dächern ist eine solch geeignete Schichtenfolge nur bei den Typen IV+V möglich.

Bei außen diffusionshemmenden oder dichteren Aufbauten ($s_{d,e} \geq 10 \text{ m}$) (Typen I bis III) findet minimale Austrocknung nach außen statt. Daher muss die Feuchte, die im Winter durch Diffusion und Konvektion in das Bauteil gelangt, im Sommer zum Raum hin rücktrocknen können. Der raumseitigen Dampfbremse kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Sie soll so diffusionsdicht wie nötig sein, um die Tauwassermenge auf ein zulässiges Maß zu begrenzen und gleichzeitig so diffusionsoffen wie möglich sein, um eine hohe Verdunstung zum Raum hin zu gewährleisten.

Dieses Prinzip schließt diffusionshemmende oder dichtere Schichten ($s_{d,i} > 10 \text{ m}$) auf der Raumseite aus, da eingedrungene Feuchte nur minimal aus-

trocknen kann. In der Regel kommen heute auf der Raumseite feuchtevariable Dampfbremsen zum Einsatz (siehe Kapitel 5.2).

Aufbauten, die innen und außen mindestens diffusionshemmende Schichten ($s_d \geq 10 \text{ m}$) aufweisen und daher nur eine sehr geringe Austrocknung zulassen, haben sich seit über 25 Jahren als schadensträchtig erwiesen und entsprechen nicht mehr den anerkannten Regeln der Technik.

Feuchte aus Konvektion infolge von Luftundichtigkeiten ist kritisch. Deshalb ist die fachgerechte Ausbildung einer Luftdichtungsschicht gemäß DIN 4108-7 bei Flachdachkonstruktionen von besonderer Bedeutung. Weiterhin ist eine möglichst geringe Luftdurchlässigkeit (q_{50} -Wertes von max. $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) anzustreben.

Im Vergleich zur Diffusion kommt es bei Konvektion (Luftströmung) zu viel höheren Feuchteinträgen in das Bauteil.

Die baubegleitende Überprüfung der Luftdichtigkeit mittels Blower-Door-Messung mit Abdichtung der ermittelten Leckagen reduziert das Risiko von Fehlstellen in der Luftdichtungsebene und hilft Bauschäden zu vermeiden. Fugenfrei eingeklebte Dämmstoffe erhöhen den Strömungswiderstand und tragen zur Luftdichtheit in der Fläche bei. Bei außen diffusionshemmenden oder dichteren Flachdächern (Typ II) sollte eine Messung der Luftdichtheit inkl. Leckageortung erfolgen [WTA 6-8], bei Typ III ist dies zwingend erforderlich.

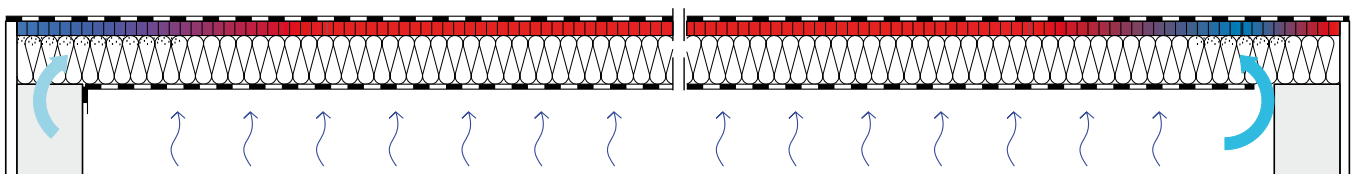


Abb. 4.2.2 Ursachen für Feuchteintrag in die Dachkonstruktion – links: Bauteilaustrocknung (Nassbau) in das Dach, rechts: Konvektion durch undichten Bauteilanschluss – beides muss durch geeignete Maßnahmen verhindert werden.

4.2.2 _ Nachweisverfahren

Die DIN 4108-3 ermöglicht mehrere Verfahren für den Feuchteschutznachweis eines Bauteilaufbaus. Nicht alle Verfahren können bei allen Flachdachtypen angewendet werden. Nach DIN 4108-3 bzw. DIN 68800-2 werden für die unterschiedlichen Flachdachtypen folgenden Nachweisverfahren erforderlich:

- A **Ohne Tauwassernachweis** für eindeutig zu bewertende Bauteile gemäß DIN 4108-3 bzw. DIN 68800-2, Anhang A (außer A.23 – siehe Kap. 2.2) → Typen I, IV und V
- B **Rechnerischer Tauwassernachweis** mittels vereinfachter stationärer Diffusionsbilanz → Typen IV und V
- C **Hygrothermische Simulation** nach DIN EN 15026 → Typen II und III

A Bauteile ohne rechnerischen Tauwassernachweis

Auf einen rechnerischen Tauwassernachweis nach DIN 4108-3 kann unter den in Tabelle 4.2.1 benannten Randbedingungen für Dächer verzichtet werden. Im Holzbau zählen dazu nicht belüftete Flachdächer mit überwiegender Aufdachdämmung (Typ I) sowie belüftete Dächer (Typen IV und V).

B Rechnerischer Tauwassernachweis mittels vereinfachter stationärer Diffusionsbilanz

Das vereinfachte Diffusionsbilanzverfahren nach DIN 4108-3 (Periodenbilanz bzw. Glaser-Verfahren) ist nur eingeschränkt anwendbar und für den Einzelfall zu prüfen. In Bezug auf Dächer darf es nicht bei Deckschichten (u.a. Begrünung,

Bekiesung, Plattenbelag, Terrassen) verwendet werden. Diese Einschränkung bezieht sich auf nicht belüftete Dächer (Typen II + III).

Die DIN 68800-2 und andere Regelwerke (DIN 4108-3, DIN 18531-1, [MBW] und [WTA 6-8]) fordern für voll gedämmte, nicht belüftete Dachkonstruktionen mit Metalleindeckung oder Abdichtung auf Schalung bzw. Beplankung immer einen Nachweis mittels hygrothermischer Simulation nach DIN EN 15026 (Nachweisverfahren C).

Hinweis: Das vereinfachte Diffusionsbilanzverfahren nach DIN 4108-3 (Periodenbilanz/Glaser) ist ein modellhaftes Nachweis- und Bewertungsverfahren. Es bildet nicht die realen physikalischen Vorgänge in ihrer tatsächlichen zeitlichen Abfolge ab. Es ist also nicht mehr als ein „Prüfverfahren“. Somit können damit keine Aussagen über die Feuchtezustände in den einzelnen Materialschichten erfolgen. In dem Verfahren bleiben unberücksichtigt:

- Veränderliche Klimarandbedingungen,
- Einflüsse aus kurzweiliger Einstrahlung (Absorption) und langweiliger Abstrahlung (Emission) auf der Dachoberseite,
- Erhöhte Feuchtelasten, z.B. durch Baufeuchte oder besondere Klimabedingungen im Raum,
- Feuchte- und temperaturabhängige Materialkennwerte, z.B. für den Diffusionswiderstand und die Wärmeleitfähigkeit,
- Feuchtespeicherung und -transport durch Sorption und Kapillarleitung sowie mehrdimensionaler Feuchtetransport in den Bauteilen.

Wird das Verfahren angewendet, gelten für den Holzbau folgende Grundsätze:

- Die Menge an rechnerischem Tauwasser muss so weit begrenzt werden, dass die Dämmfähigkeit und die Dauerhaftigkeit der Konstruktion nicht beeinträchtigt werden.
- Es muss in der Trocknungsperiode mehr ausdiffundieren als die Wassermenge, die in der Tauperiode berechnet wurde. Dabei ist für Dächer die erforderliche jährliche Trocknungsreserve von 250 g/m^2 nach DIN 68800-2 zu beachten.
- Es soll so diffusionsbremsend wie nötig, jedoch zur Erhöhung der Austrocknungsfähigkeit so diffusionsoffen wie möglich konstruiert werden.

Vorgehen:

Bei dem in DIN 4108-3 enthaltenen vereinfachten Diffusionsbilanzverfahren wird im ersten Schritt ermittelt, ob und an welcher Bauteilschicht Tauwasser in der Konstruktion ausfällt und inwieweit die errechnete Tauwassermenge (M_c) zulässig ist. In einem zweiten Schritt wird die Verdunstungsmenge (M_{ev}) berechnet und anhand der Tauwasserbilanz überprüft, ob das eingebrachte Tauwasser in der Verdunstungsperiode wieder vollständig austrocknen kann.

Trocknungsreserve

Nach DIN 68800-2 muss bei der vereinfachten Diffusionsbilanz in der Verdunstungsperiode bei Dächern 250 g/m^2 mehr Feuchtigkeit austrocknen als Tauwasser in der Tauperiode entstanden ist. Dieser Wert zur Berücksichtigung unplanmäßigen Feuchteintrags durch Konvektion wird als Trocknungsreserve bezeichnet. Damit wird gewährleistet, dass die Konstruktion ausreichend robust ist und auch geringe Mengen Feuchte aus Diffusion und Konvektion ebenfalls austrocknen kann [14], [15].

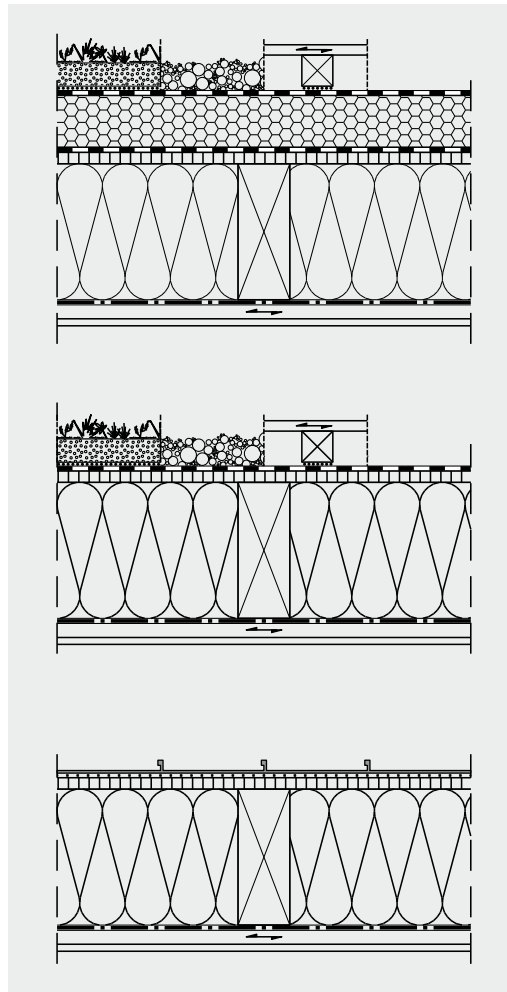


Abb. 4.2.3

Flachdächer Typ II + III die nicht nach dem vereinfachten Diffusionsbilanzverfahren nach DIN 4108-3 berechnet werden dürfen. Ein Nachweis kann nur über DIN EN 15026 (hygrothermische Simulation) erfolgen (siehe DIN 68800-2 Pkt. 7.5).

Die Dampfdiffusionsberechnungen erfolgen unter definierten konstanten Klimarandbedingungen jeweils für eine Tauperiode (Winter) und eine Verdunstungsperiode (Sommer). Für besonnte bzw. dunkle Dächer werden im Vergleich zu Wänden günstigere Randbedingungen angesetzt, so dass eine erhöhte Verdunstung rechnerisch stattfindet. Davon sollte aber nur dann Gebrauch gemacht werden, wenn eine ausreichende Erwärmung der Dachfläche durch Besonnung sichergestellt ist. Bei Verschattung oder hellen Dachoberflächen (Absorptionskoeffizient $a < 0,6$) sind bei der Verdunstungsperiode die Klimabedingungen für Wände anzusetzen (siehe DIN 4108-3).

Erläuterungen zur Anwendung hygrothermischer Berechnungen enthält Kapitel 5.3

C Hygrothermische Simulation

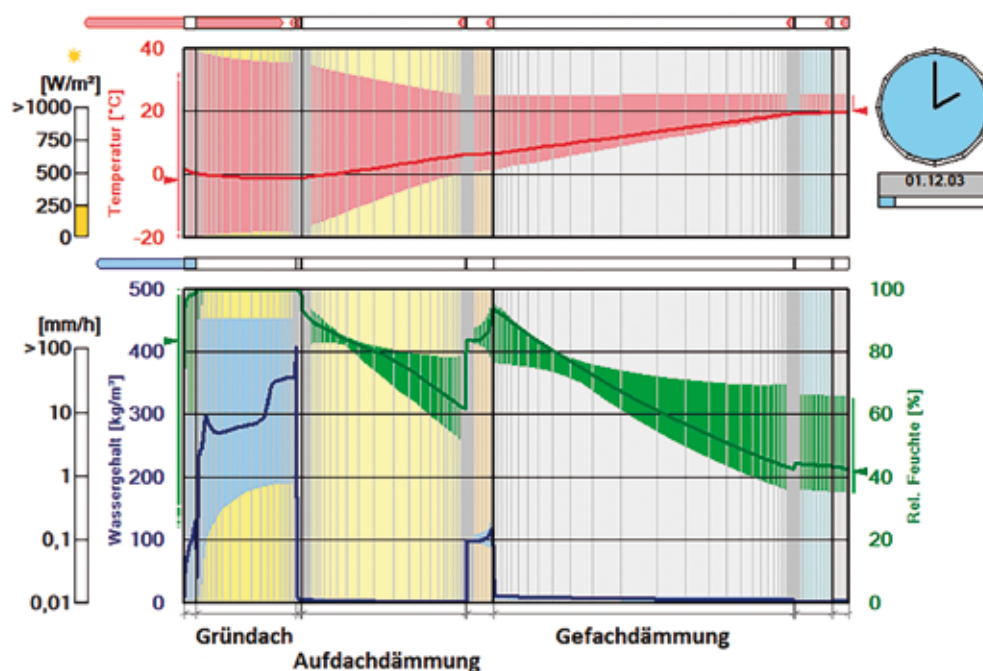
Die realitätsnahe Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Bauteilen erfolgt über Simulationsprogramme. Sie berechnen den gekoppelten Temperatur- und Feuchtetransport innerhalb des Bauteils in kurzen Zeitschritten (i.d.R. Stundenschritte). Dabei berücksichtigen sie den Feuchtetransport sowohl in der Flüssig- als auch in der Dampfphase sowie die Feuchtespeicherung poröser Baustoffe. Für solche Berechnungen werden entsprechende Eingabekenngrößen benötigt. Dies sind unter anderem:

- Außenklima (Temperatur, rel. Luftfeuchte, Regen, Wind, Strahlungsparameter) stundengenau
- Innenklima
- Oberflächeneigenschaften (Absorptions- und Emissionskoeffizienten, Wärmeübergangskoeffizienten)
- Hygrothermische Stoffeigenschaften (z.B. Flüssigwassertransport, Wasserdampftransport, Feuchtespeicherfunktion, feuchte- und temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit).

Für die Eingabe aller Daten, die hygrothermische Simulation und die Auswertung der Berechnungsergebnisse ist eine ausreichende Fachkenntnis und Erfahrung erforderlich. Die WTA Merkblätter [WTA 6-1] [WTA 6-2] [WTA 6-8] dienen als Richtlinie für die Anwendung moderner Simulationsverfahren. Sie werden auch in der DIN 4108-3 normativ eingeführt. Grundsätzlich sind alle Eingabedaten und Auswertungen vollständig und so im Nachweis zu dokumentieren, dass die Simulation von Fachleuten nachvollzogen werden kann.

Abb. 4.2.4

Standbild der hygrothermischen Simulation eines begrünteren Flachdachs aus WUFI® (links: Außenseite): Oben der Temperaturverlauf und unten der Wassergehalt (blau - linke Skala) und die rel. Luftfeuchte (grün - rechte Skala).



Tab. 4.2.1 Diffusionsregeln für Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise in Anlehnung an DIN 4108-3

DACHAUFBAUTEN	ANFORDERUNG AN DEN s_d -WERT	
	innen $s_{d,i}$ (m)	außen $s_{d,e}$ (m)
Nicht belüftete Konstruktionen		
Typ I: Nicht belüftete Flachdächer mit Dachabdichtung		
Zwischen der Dachabdichtung und $s_{d,i}$ dürfen sich weder Holz noch Holzwerkstoffe befinden. Wärmedurchlasswiderstand R der Bauteilschichten unterhalb der diffusionshemmenden Schicht max. 20 % von R_{Ges} ; nach [WTA 6-8] auch 33 % möglich.	≥ 100 (in Verbindung mit Bauzeit- oder Behelfsabdichtung)	keine Anforderung
Typen II und III: Nicht belüftete (Flach)-Dächer mit $s_{d,e} > 2,0$ m		
Bei nicht belüfteten (Flach)-Dächern mit $s_{d,e} \geq 2,0$ m kann eingedrungene Feuchte (konvektiv und Baufeuchte) nur schlecht oder gar nicht austrocknen. In der Regel ist eine Überdämmung (Typ II) erforderlich.	Berechnung mittels hygrothermischer Simulation	
Belüftete Konstruktionen		
Typ IV: Belüftete Flachdächer¹⁾ (DIN 4108-3, Tabelle 3)		
Dachhaut: u.a. Abdichtungen auf Schalung und Konterlattung	$\geq 1,0$	$\leq 0,1$
Die Zuordnung der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken (s_d -Werte) unter- und oberhalb der Wärmedämmung liegenden Schichten ist zu beachten.	$\geq 2,0$ $\geq 6 \times s_{d,e}$	$0,1 \leq s_{d,e} \leq 0,3$ $0,3 \leq s_{d,e} \leq 2,0$
Typ V: Belüftete Flachdächer mit Dachabdichtung (Dachneigung $< 5^\circ$)		
Wärmedurchlasswiderstand R der Bauteilschichten unterhalb der diffusionshemmenden Schicht max. 20 % von R_{Ges} ; max. 10 m Lüftungslänge	≥ 100 ²⁾ (nicht empfohlen)	Belüftungsebene ³⁾
Typ V: Belüftete Dächer mit Dachneigung $\geq 5^\circ$		
Wärmedurchlasswiderstand R der Bauteilschichten unterhalb der diffusionshemmenden Schicht max. 20 % von R_{Ges} ; max. 10 m Lüftungslänge	$s_{d,i} \geq 2$ m	Belüftungsebene ³⁾

¹⁾ Die Bezeichnungen „belüftet“ und „nicht belüftet“ sind sprachlich vereinfacht worden und weichen deshalb von den Definitionen der DIN 4108-3 ab, siehe Kap. 2.1.

²⁾ Aus Gründen der Diffusion sind solche hohen s_d -Werte nicht erforderlich und erhöhen das Risiko, dass bei reduzierter Lüftung unplanmäßige Feuchte nur schlecht nach innen austrocknen kann. Es reicht auch hier ein s_d -Wert von 5 bis 10 m.

³⁾ Die Belüftung ist wesentliche Voraussetzung für die dauerhafte Funktionsfähigkeit des Daches (siehe Kapitel 6).

Um die GK 0 zu erreichen sind grundsätzliche bauliche Maßnahmen immer einzuhalten. Ggf. sind zusätzlich besondere bauliche Maßnahmen erforderlich, um das Bauteil in die GK 0 eingruppiert zu können, siehe [04]

4.3 _ Holzschutz

Die Gefährdung von Holzbauteilen durch holzerstörende Pilze, Moderfäule oder holzerstörende Insekten ist abhängig von den Umgebungsbedingungen und ihrer baulich-konstruktiven Ausbildung. Dementsprechend werden Holzbauteile nach DIN 68800-1 in Gebrauchsklassen (GK) eingestuft. Maßgebendes Kriterium ist dabei die Holzfeuchte im Gebrauchszustand. Hierbei wird unterschieden, ob das Holz ständig trocken oder gelegentlich, häufig bzw. ständig feucht ist.

Ziel ist es, das Holzbauteil in eine möglichst niedrige Gebrauchsklasse einzustufen, um auf den Holzschutz mit bioziden Holzschutzmitteln zu verzichten. In der Gebrauchsklasse 0 (GK 0) liegt keine Gefährdung des Holzes durch Insekten oder Pilze vor.

Grundsätzliche bauliche Maßnahmen

Zu den grundsätzlichen baulichen Holzschutzmaßnahmen nach DIN 68800-2 gehören beim Dach:

1. Schutz vor Feuchte während Transport, Lagerung und Montage.
2. Einbau trockener Holzprodukte mit einer Holzfeuchte von max. 20 % (Holzwerkstoffe max. 17 %) sowie Schutz vor unzuträglicher Erhöhung z.B. durch hohe Baufeuchte.
3. Schutz vor Niederschlägen durch geeigneten Wetterschutz bzw. rasches, staunässefreies Ableiten der Niederschläge.

4. Schutz vor Feuchteaufnahme aus angrenzenden Baustoffen z.B. durch Anordnung von Sperrschichten.
5. Schutz vor unzuträglicher Veränderung des Feuchtegehalts durch Tauwasser aus Wasserdampfdiffusion oder -konvektion durch Nachweis nach DIN 4108-3 (mit 250 g/m²a Trocknungsreserve) oder DIN EN 15026 (siehe Kapitel 4.2 bzw. 5).

Besondere bauliche Maßnahmen

Können tragende Holzbauteile im ersten Schritt nicht ohne weiteres der GK 0 zugeordnet werden, ist durch besondere bauliche Maßnahmen die Gebrauchsklasse GK 0 erreichbar (siehe Tabelle 4.3.1). Zu diesen Maßnahmen gehören bei Flachdächern:

1. Nutzung der Konstruktionen aus Anhang A der Norm (bis auf A.23 – siehe Kapitel 2.2)
2. Anpassung gemäß der Konstruktionsprinzipien aus den Abschnitten 7.7 (Typ I) und 7.5 (Typen II und III) der DIN 68800-2; letzteres mit rechnerischem Nachweis nach DIN EN 15026 (Berücksichtigen von Standort, Farbe der Außenoberfläche, Verschattung, Begrünung, Bekiesung, Dämmschichten, Konvektion etc.)

In Tabelle 4.3.2 wird eine Einstufung der tragenden bzw. aussteifenden Dachschalungen und der aussteifenden Unterdeckungen in Nutzungsklassen vorgenommen. Besonders für Holzwerkstoffe ist die korrekte Einstufung entscheidend, da bei übermäßiger Feuchte Festigkeitsverlust sowie irreversible Verformungen und schließlich die Zerstörung durch Pilzbefall drohen.

Tab. 4.3.1 Zuordnung von Flachdachkonstruktionen in die Gebrauchsklassen (GK) nach DIN 68800-1¹⁾

GK	DEFINITION (HOLZFEUCHTE) ALS AUSGANGSSITUATION	GEFÄHRDUNG DURCH:	ERFORDERLICHE BESONDERE BAULICHE MASSNAHME ZUR EINSTUFUNG IN GK 0
0	Trocken (ständig ≤ 20 M-%) mittlere rel. Luftfeuchte bis 85 %	-	→ keine Maßnahme erforderlich
1	Trocken (ständig ≤ 20 M-%) mittlere rel. Luftfeuchte bis 85 %	Insekten	→ technisch getrocknetes Bauholz und fachgerechte Belüftung
2	Gelegentlich feucht (> 20 M-%) mittlere rel. Luftfeuchte > 85 % oder zeitweise Kondensation	Insekten, Pilze	→ Konstruktionswechsel zu: Typ I bzw. IV: ohne rechnerischen Nachweis oder vereinfachte Diffusionsbilanz nach DIN 4108-3 Typ II und III: mit hygrothermischer Simulation (vgl. Tabelle 4.2.1)

¹⁾ Die GK 3.2 bis GK 5 sind für tragende Bauteile von gedämmten Holzbauteilen i.d.R. nicht von Bedeutung – grundsätzliche bauliche Maßnahmen sind immer zu berücksichtigen.

Tab. 4.3.2

Erforderliche Feuchtebeständigkeit von Holzwerkstoffen in Abhängigkeit ihres Anwendungsbereichs als Beplankung von Dächern, tragende Dachschalung

TYP	ANWENDUNGSBEREICH	TECHN. KLASSE GEM. TAB. 3.7.1	ZUORDNUNG NUTZUNGSKLASSE (NKL)	
Nicht belüftete Konstruktionen				
Typ I	Beplankung oder Schalung steht mit der Raumluft in Verbindung	Trockenbereich	NKL 1	
Typ II	Flachdach mit Dachabdichtung – Beplankung/Schalung nicht belüftet hygrothermischer Nachweis nach DIN EN 15026 erforderlich	Feuchtbereich (Trockenbereich) ¹⁾	NKL 2 (NKL 1) ¹⁾	
Typ III	Flachdach mit Dachabdichtung – Beplankung/Schalung nicht belüftet hygrothermischer Nachweis nach DIN EN 15026 erforderlich	Feuchtbereich	NKL 2	
Belüftete Konstruktionen				
Typ IV	a) Dachquerschnitt unterhalb der Beplankung/Schalung belüftet ²⁾	Feuchtbereich	NKL 2	
	b) wie zuvor, aber bei Deckschichten wie Begrünung, Bekiesung etc.	Außenbereich	NKL 3	
	Dachquerschnitt unterhalb der Beplankung/Schalung nicht belüftet	Feuchtbereich	NKL 2	
Typ V	a) Flachdach mit Dachabdichtung – Beplankung/Schalung belüftet ²⁾	Feuchtbereich	NKL 2	
	b) wie zuvor, aber bei Deckschichten wie Begrünung, Bekiesung etc.	Außenbereich	NKL 3	

¹⁾ Durch die hygrothermische Simulation kann das Bauteil so bemessen werden, dass die Holzwerkstoffplatte (orange) in den Trockenbereich nach DIN EN 13986 fällt. In der Bauphase muss aber mit höherem Feuchtegehalt gerechnet werden.

²⁾ Die Belüftung ist wesentliche Voraussetzung für die dauerhafte Funktionsfähigkeit des Daches.

Grundlageninformationen in Informationsdienst HOLZ „Schallschutz Wände und Dächer“ (hh 3/3/4) [08]

Geprüfte Schalldämm-Maße von Flachdächern sind bei den Herstellern von Dämmstoffen anzufragen oder unter www.dataholz.eu verfügbar

4.4 _ Schallschutz

Mit Flachdachkonstruktionen in Holzbauweise lassen sich gute Schalldämmeigenschaften erzielen. Maßgebende Größe ist das Maß der Luftschalldämmung, welche dem Schutz gegen Außenlärm und umgekehrt dem Schutz der Umwelt gegen Schallemissionen aus dem Gebäude heraus dient. Bei Terrassenoberflächen sind zudem Trittschalleinwirkungen zu berücksichtigen und bei einschaligen Flachdachkonstruktionen kann es zu Körperschalleinwirkungen durch Starkregen oder Kleintiere (z.B. Vögel) kommen. Neben der Bauakustik ist die Raumakustik zur Sicherstellung des Nutzungskomforts von Bedeutung.

Je nach Nutzung des Gebäudes ist auch die Raumakustik in der Planung zu berücksichtigen. Dies gilt besonders für öffentlich Bauten, Schulen und Kindergärten.

Anforderungen und Regelwerke

Die Anforderungen an die Schalldämmung von Außenbauteilen sind in der DIN 4109-1 geregelt. Sie werden für die Luftschalldämmung in Abhängigkeit des Außenlärmpegels vor dem Bauteil angegeben (i.d.R. erf. $R'_{w,ges} = 30$ dB bis 55 dB) und sind inklusive aller Einbauten einzuhalten. Für Dachterrassen oder Decken unter Loggien, die Trennbauteile zu fremden Wohnbereichen darstellen, sind auch Anforderungen an den zulässigen Norm-Trittschallpegel (i.d.R. zul. $L_{n,w} \leq 50$ dB) einzuhalten. Werden Flachdächer als flankierende Bauteile von Trennwänden eingepplant, so ist im Nachweis die Flankendämmung des Dachaufbaus zu berücksichtigen.

Rechenverfahren für den schalltechnischen Nachweis werden in DIN 4109-2 beschrieben. Bauteilwerte für die Planung sind in DIN 4109-33 enthalten. Da Flachdächer im Teil 33 bislang nicht ausreichend repräsentiert werden, wurden er-

gänzende Aufbauten untersucht [09] und daraus Planungsdaten abgeleitet (siehe Tabelle 4.4.1).

Einflussfaktoren auf die Schalldämmung

Der Schallschutz flacher und flachgeneigter Dächer ist von folgenden Aspekten abhängig die nachfolgend beschrieben werden:

- a) Bauweise
- b) Unterdecke und raumseitige Bekleidung
- c) Dämmung (druckbelastet oder nicht)
- d) Abdichtung, Dachdeckung, Deckschichten

a) Bauweise

Sichtbare Tragkonstruktionen (Typ I) können mit Sichtsparrendächern, Dachelementen aus Massivholzelementen (Brettsperrholz-, Brettschichtholz-, Brettstapelelemente) oder Rippen- und Kasten-elementen realisiert werden. Diese einschaligen Bauweisen der Grundkonstruktionen erfordern für schalltechnisch hochwertige Ausführungen Zusatzmassen in Form einer Beschwerung in oder auf dem Element. Alternativ kann durch eine (entkoppelte) Unterdecke die Luft- und Trittschalldämmung verbessert werden (Typen II bis V).

b) Unterdecke und raumseitige Bekleidung

Die Bekleidung der Unterdecke erfolgt in der Regel mit Plattenmaterialien. Vorteilhaft ist eine große flächenbezogene Masse bei geringer Biegesteifigkeit der Plattenmaterialien. Anstelle einer dicken sollten deshalb besser mehrere dünne Lagen aufgebracht werden. Mit geschlossenen Gipsbauplatten lassen sich gegenüber Nut- und Feder-Schalungen auf Grund des geringeren Fugenanteils und der höheren flächenbezogenen Masse deutlich bessere Schalldämm-Maße erreichen.

Unterdecken wirken nach dem „Masse-Feder-Masse-System“, das erst oberhalb seiner Eigenfrequenz f_0 eine deutliche Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung aufweist. Um eine möglichst große Verbesserung zu erzielen ist es deshalb sinnvoll f_0 zu tiefen Frequenzen hin zu verschieben. Dies kann durch die o.g. hohe flächenbezogene Masse der Plattenmaterialien sowie einer entkoppelten Montage der Unterdecke durch geeignete Abhänger erfolgen. Um eine gute Entkopplung zu gewährleisten, sollte nicht mehr als die konstruktiv erforderliche Anzahl an Abhängepunkten ausgeführt werden. Die Federsteifigkeit des Abhängesystems ist herstellerabhängig. Ihre schalltechnische Wirksamkeit lässt sich anhand der Lage der Eigenfrequenz bei gegebener Belastung gewährleisten (Angaben siehe Tabelle 4.4.1).

Parallel zum Abhänger wirkt auch das durch die schwingende Unterdecke eingeschlossene und komprimierte Luftvolumen als Feder. Die Steifigkeit dieser Luftschicht hängt vom Volumen bzw. der Luftschichtdicke d ab. Umso größer d gewählt wird, umso weicher ist die Feder. Eine abgehängte Unterdecke wirkt deshalb unter einem Sparrendach deutlich besser als unter einem flächigen Massivholzelement (siehe Abbildung 4.4.1).

c) Dämmung

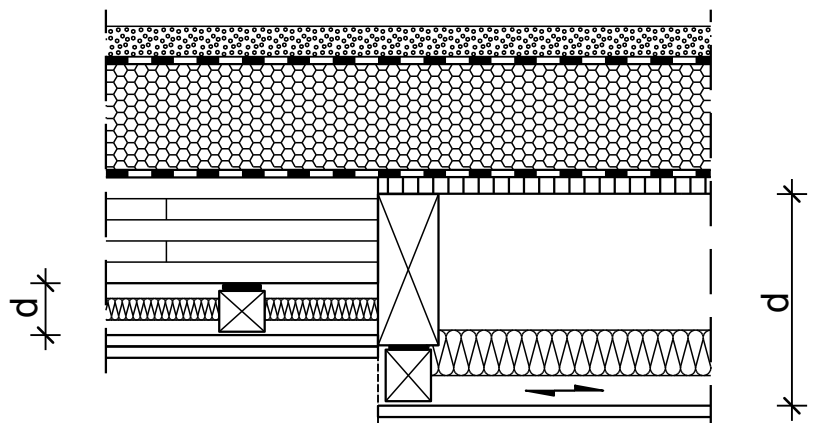
Nicht druckbelastete Dämmstoffe zwischen den Sparren und in der Unterdecke wirken schallabsorbierend, indem Schallenergie durch Reibung an und zwischen den Dämmstofffasern in Wärmeenergie umgewandelt wird. Hierzu ist eine offenzellige Struktur des Dämmstoffes erforderlich, die der Schallwechseldruckwelle einerseits

ein Eindringen ermöglicht und andererseits einen genügend großen Widerstand entgegensetzt. Eine gute schallabsorbierende Wirkung wird mit Dämmstoffen erreicht, deren längenbezogener Strömungswiderstand r zwischen 5 kPa s/m^2 und 50 kPa s/m^2 liegt [08]. Dies kann sowohl mit Faserdämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen als auch mit konventionellen Dämmstoffen erreicht werden. Geschlossenzellige Dämmstoffplatten (z.B. Hartschaumplatten) sind nicht geeignet.

Druckbelastete Aufdachdämmungen haben neben der absorbierenden Wirkung auch die Aufgabe der Entkopplung. Bei Steildächern werden hierzu bei Dachkonstruktionen mit Schallschutzanforderungen häufig Faserdämmplatten eingesetzt. Dies ist auch bei flach geneigten Dächern mit Blecheindeckung möglich (siehe Tabelle 4.4.3). Bei Flachdächern werden auf Grund der höheren Belastung meist Hartschaumdämmplatten verwendet. Diese verhalten sich auf Grund ihrer hohen Steifigkeit, der geringen Rohdichte und der fehlenden Absorption zunächst ungünstig. In Verbindung mit dünnen Abdichtungssystemen können Hagel oder Vogeltritt zu merklicher Geräuschbildung führen. Eine deutliche Verbesserung kann allerdings durch einen geeigneten Aufbau oberhalb der Dämmschicht erreicht werden.

Abb. 4.4.1

Unterdecken bei Flachdächern des Typ I. Schalltechnisch wirksame Luftschichtdicken d (Zusatzdämmung mit $\text{max } R = 20 \%$, vgl. Kap. 5)



Nicht verklebte Kunststoffabdichtungen auf Schaumkunststoffen können bei Starkregen zu Geräuschbildung führen, auch bei Tragkonstruktionen in Massiholzbauweise.

Beschwerden, insbesondere extensive Begrünungen, führen zu einer deutlichen Verbesserung der Luftschalldämmung und dämpfen Körperschalleinwirkungen wirksam ab.

d) Abdichtung, Dachdeckung und Gehbelag

Der Aufbau oberhalb der Dämmstoffebene wird nutzungsabhängig variiert: Für nicht begehbare Flachdächer werden Kiesschüttungen, extensive Begrünungen oder Dachabdichtungsbahnen verwendet. Die Ausführung mit Dachabdichtungsbahnen ohne weitere Zusatzmassen ergibt erwartungsgemäß geringere Schalldämm-Maße. Bisherige Vergleichsmessungen ergaben jedoch auch für Dachaufbauten mit extensiven Dachbegrünungen deutlich geringere Schalldämm-Maße als mit Kiesauflagen gleicher flächenbezogener Masse. Die Ursache ist noch zu klären. Bei Kiesauflagen oder extensiven Dachbegrünungen ist zusätzlich der Einfluss auf das Feuchteverhalten zu berücksichtigen (siehe Kapitel 6.3).

Abb. 4.4.2

Gründachaufbau auf Hohlkastenelement mit Akustikdecke

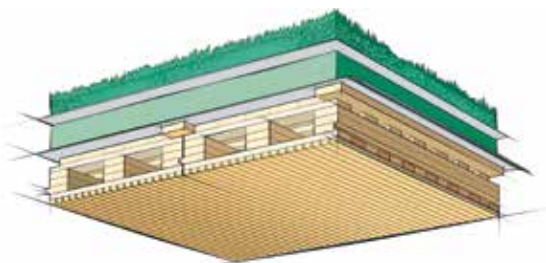


Abb. 4.4.3

Akustikdecke der Frankfurt School of F&M; Architekten werk.um, Darmstadt



Für leicht geneigte Dächer kommen Metalldachdeckungen zum Einsatz. Leichte Dachabdichtungen und Metalldachdeckungen verhalten sich insgesamt ungünstiger als schwere, mehrlagig aufgebraute Abdichtungsbahnen. Zusätzlich ist bei Blechdächern die Geräuschentwicklung bei Starkregen zu berücksichtigen. Auch aus Gründen des Feuchteschutzes sollten strukturierter Trennlagen eingesetzt werden, wodurch eine wirksame Reduzierung der Geräuschentwicklung erfolgt.

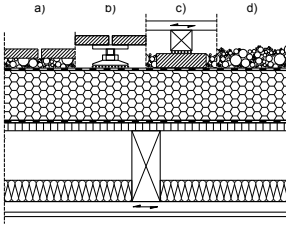
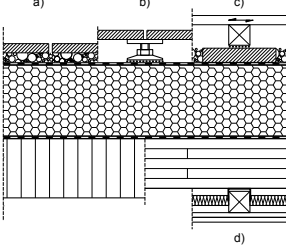
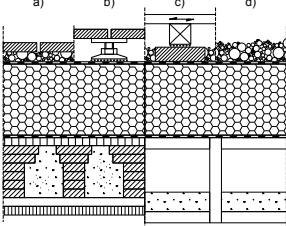
Begehbare Dächer die als Dachterrassen genutzt werden können mit Betonplatten im Kiesbett, Platten auf Stelzlagern oder einem Holzrost ausgeführt werden. Während die Betonplatten im Kiesbett durch ihre flächenbezogene Masse wirksam sind, kann bei Stelzlagern und Holzrosten eine zusätzliche Reduzierung der Übertragung durch Entkopplungsmaßnahmen (elastische Lagerung) erreicht werden. Hierzu wird das Entkopplungsmaterial vom Hersteller auf eine geeignete Eigenfrequenz des Aufbaus ausgelegt (siehe Tabelle 4.4.3).

Raumakustik

Die Raumakustik nimmt neben der Bauakustik einen hohen Stellenwert ein, da sie maßgeblich zu einer angenehmen Nutzung von Innenräumen beiträgt. In Räumen mit hohem Innenlärmpegel wie Schulen und Kindergärten, aber auch in Gewerbe- und Industriebetrieben ist eine wirksame Schallabsorption zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit und des Gesundheitsschutzes von großer Bedeutung. Die Raumakustik ist zu planen und kann bei kleinen und mittleren Räumen mit Raumakustikrechnern einfach nachgewiesen werden.

Viele Holzbausysteme können werkseitig mit raumseitig geschlitzter oder gelochter Oberfläche in verschiedenen Designs mit integrierten Schallabsorbern ausgerüstet werden (siehe Abb. 4.4.2 und 4.4.3).

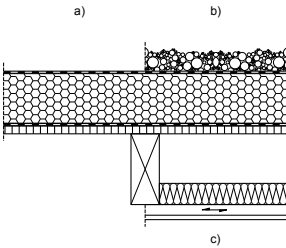
Tab. 4.4.1 Bewertete Schalldämm-Maße R_w und Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ von Flachdächern in Holzbauweise [09]

BAUTEIL	DICKE d (mm)	GRUNDBAUTEIL	DICKE d (mm)	AUFBAU	SCHALLDÄMM-MASS NORM-TRITTSCHALLPEGEL
I.1 Holzbalkentragwerk					
		Schutzvlies und Dachdichtbahn	a)	40 Betonplatten	$R_w = 70$ dB
	≥ 140	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)		30 Splitt $m' \geq 40$ kg/m ²	$L_{n,w} = 44$ dB
		Luft- und Bauzeitabdichtung	b)	40 Betonplatten	$R_w = 52$ dB
	≥ 22	Holzwerkstoffplatte		≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 38$ dB
	≥ 200	Sparren $e \geq 625$ mm	c)	26 Dielen	$R_w = 64$ dB
	≥ 50	Faserdämmstoff $r \geq 5$ kPa s/m ²		44 Kantholz $e \geq 520$ mm	$L_{n,w} = 31$ dB
	27	Federschiene $e \geq 500$ mm		12 Baulager ¹⁾ $f_0 \leq 20$ Hz	
	12,5	GKF $m' \geq 10$ kg/m ²		40 Betonplatten u. Kies	
			d)	50 Kies $m' \geq 80$ kg/m ²	$R_w = 70$ dB
I.2 Massivholzelement					
		Schutzvlies und Dachdichtbahn	a)	40 Betonplatten	$R_w = 53$ dB
	≥ 200	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)		30 Splitt $m' \geq 40$ kg/m ²	$L_{n,w} = 58$ dB
		Luft- und Bauzeitabdichtung	b)	40 Betonplatten	$R_w = 38$ dB
	≥ 140	Massivholzelement (Brettspertholz, Brettschichtholz, Brettstapel)		≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 52$ dB
		Zusätzliche Unterdecke:	c)	26 Dielen	$R_w = 51$ dB
	90	Abhänger ²⁾		44 Kantholz $e \geq 520$ mm	$L_{n,w} = 45$ dB
		+ CD-Profil $e \geq 500$ mm		12 Baulager ¹⁾ $f_0 \leq 20$ Hz	
	≥ 50	Faserdämmstoff		40 Betonplatten u. Kies	
	2 x 12,5	$r \geq 5$ kPa s/m ²	d)	wie Aufbau c) + Unterdecke	$R_w = 72$ dB
		GKF $m' \geq 2 \times 10$ kg/m ²			$L_{n,w} = 31$ dB
I.3 Rippen-/Hohlkastenelement					
		Schutzvlies und Dachdichtbahn	a)	40 Betonplatten	$R_w = 66$ dB
	≥ 200	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)		30 Splitt $m' \geq 40$ kg/m ²	$L_{n,w} = 44$ dB
		Luft- und Bauzeitabdichtung	b)	40 Betonplatten	$R_w = 51$ dB
	≥ 22	Holzwerkstoffplatte		≥ 40 Stelzlager	$L_{n,w} = 38$ dB
	≥ 196	Brettspertholz-Rippenelement gefüllt mit Splitt $m'_{ges} \geq 145$ kg/m ² (Lignotrend Rippe Q3)		12 Baulager ¹⁾ $f_0 \leq 20$ Hz	
		Schutzvlies und Dachdichtbahn	c)	26 Dielen	$R_w = 60$ dB
	≥ 200	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)		44 Kantholz $e \geq 520$ mm	$L_{n,w} = 37$ dB
		Luft- und Bauzeitabdichtung		12 Baulager ¹⁾ $f_0 \leq 20$ Hz	
	≥ 240	Kastenelement gefüllt mit 40 mm Splitt $m'_{ges} \geq 92$ kg/m ² (Lignatur Flächenelement)		40 Betonplatten u. Kies	
			d)	50 Kies $m' \geq 80$ kg/m ²	$R_w = 64$ dB

¹⁾ Baulager als elastische Lagerung (Getzner Sylomer), vom Hersteller ausgelegt auf die angegebene Eigenfrequenz f_0

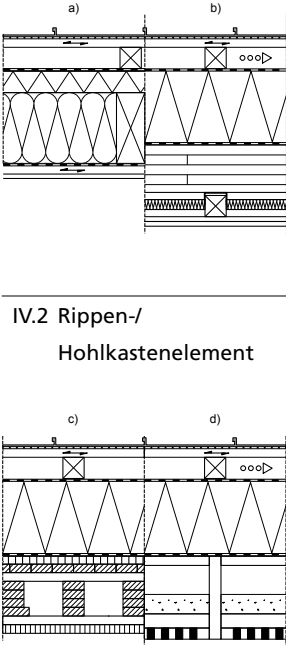
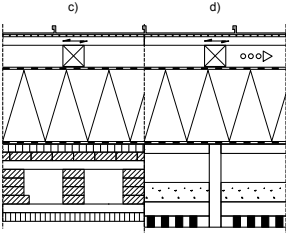
²⁾ Abhänger, schallentkoppelt, Raster 750 mm x 500 mm, Eigenfrequenz $f_0 \leq 30$ Hz

Tab. 4.4.1 Fortsetzung

BAUTEIL	DICKE d (mm)	GRUNDBAUTEIL	DICKE d (mm)	AUFBAU	SCHALLDÄMM-MASS NORM-TRITTSCHALLPEGEL
I.4 Sichtbare Balken (mit Unterdecke)	≥ 24	Bitumenbahn, $m'_{ges} \geq 5 \text{ kg/m}^2$ Holzwerkstoffplatte oder Nut- und Federschalung	a)	Dachabdichtung	$R_w = 45 \text{ dB}^3$
	≥ 200	Sparren $e \geq 625 \text{ mm}$	≥ 180	Aufdachdämmung DAA (MW, WF)	
	Zusätzliche Unterdecke:		b)	50 Kies, $m' \geq 80 \text{ kg/m}^2$ Schutzvlies und Dachdichtbahn	$R_w \geq 40 \text{ dB}^3$
	24	Lattung $e \geq 400 \text{ mm}$ mit $\geq 50 \text{ mm}$	≥ 140	Aufdachdämmung Typ DAA (EPS)	
	12,5	Faserdämmstoff $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$ GKF $m' \geq 10 \text{ kg/m}^2$	c)	wie Aufbau b) + Unterdecke	$R_w \geq 57 \text{ dB}^3$

³⁾ Nach DIN 4109-33 (Aufbau a) bzw. aus Messdaten berechnet (Aufbau b und c)

Tab. 4.4.2 Bewertete Schalldämm-Maße R_w und Norm-Trittschallpegel von flach geneigten Dächern in Holzbauweise [09]

BAUTEIL	DICKE d (mm)	GRUNDBAUTEIL	DICKE d (mm)	AUFBAU	SCHALLDÄMM- MASS
IV.1 Holzbalken-/ Massivholzelement	60	Aufdachdämmung Typ DAA (WF)	a)	- Metalleindeckung ¹⁾	$R_w = 63 \text{ dB}$
	≥ 200	Sparren $e \geq 625 \text{ mm}$	3	Bitumen-Unterdachbahn ²⁾	
	≥ 140	Faserdämmstoff $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$	24	Schalung	
	27	Federschiene $e \geq 500 \text{ mm}$	80	Lattung, $e \geq 625 \text{ mm}$	
	2 x 12,5	GKF $m' \geq 2 \times 10 \text{ kg/m}^2$			
		Luft- und Bauzeitabdichtung	b)	- Metalleindeckung ¹⁾	$R_w = 71 \text{ dB}$
	≥ 140	Massivholzelement; $m' \geq 63 \text{ kg/m}^2$	3	Bitumen-Unterdachbahn ²⁾	
	90	Abhänger ³⁾ + CD-Profil $e \geq 500 \text{ mm}$	24	Schalung	
	≥ 50	Faserdämmstoff $r \geq 5 \text{ kPa s/m}^2$	80	Lattung $e \geq 625 \text{ mm}$	
	2 x 12,5	GKF $m' \geq 2 \times 10 \text{ kg/m}^2$	200	Aufdachdämmung Typ DAA (WF)	
IV.2 Rippen-/ Hohlkastenelement		Luft- und Bauzeitabdichtung	c)	- Metalleindeckung ¹⁾	$R_w = 53 \text{ dB}$
	≥ 22	Holzwerkstoffplatte	3	Bitumen-Unterdachbahn ²⁾	
	≥ 196	Brettsperrholz-Kastenelement $m'_{ges} \geq 63 \text{ kg/m}^2$ (Lignotrend Block Q3 Akustik)	24	Schalung	
			80	Lattung $e \geq 625 \text{ mm}$	
			200	Aufdachdämmung Typ DAA (WF)	
		Luft- und Bauzeitabdichtung	d)	Metalleindeckung ¹⁾	$R_w = 63 \text{ dB}$
	≥ 240	Kastenelement gefüllt mit 40 mm Splitt $m'_{ges} \geq 92 \text{ kg/m}^2$ (Lignatur Flächenelement LFE Akustik)	3	Bitumen-Unterdachbahn ²⁾	
			24	Schalung	
			80	Lattung $e \geq 625 \text{ mm}$	
			200	Aufdachdämmung DAA (WF)	

¹⁾ Metalleindeckung, Doppelstehfalzblech, $m' \geq 2 \text{ kg/m}^2$ ²⁾ Hinsichtlich Feuchteschutz ist eine diffusionsoffene Unterdeckbahn empfehlenswert

³⁾ Abhänger, schallentkoppelt, Raster 750 mm x 500 mm, Eigenfrequenz $f_0 \leq 30 \text{ Hz}$

4.5 _ Brandschutz

Anforderungen und Regelwerke

Die Mindestanforderungen an den baulichen Brandschutz werden durch die Landesbauordnungen festgelegt, deren Grundlage die Musterbauordnung [MBO] ist. Besondere Anforderungen an die Ausführung der Dachflächen bestehen hinsichtlich des Brandschutzes für Gebäude, die den Sonderbau-Richtlinien unterliegen, z.B. der Industriebaurichtlinie [M Ind-BauRL] oder der Versammlungsstättenverordnung [M VstättV].

Auch im Wohnungsbau können Anforderungen an den Feuerwiderstand von Dachbauteilen bestehen, wenn die Dachfläche ganz oder teilweise als Dachterrasse genutzt wird. Dies ist in den Bauordnungen zwar nicht explizit formuliert, es ist jedoch in diesen Fällen von einer mindestens feuerhemmenden Ausführung des Dachaufbaus auszugehen. 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

Gemäß Musterbauordnung [MBO] bestehen an die Dachkonstruktion für Gebäude üblicher Art und Nutzung keine Anforderungen hinsichtlich des Feuerwiderstands. Ausnahme bilden Dächer von aneinanderggebauten Gebäuden, bei denen zur Verhinderung eines Brandüberschlags die raumabschließenden Bauteile für eine Brandbeanspruchung von innen nach außen einschließlich der sie tragenden und aussteifenden Bauteile feuerhemmend (F30-B) ausgebildet werden müssen. In Bezug auf das Dach bestehen weitverbreitete Unklarheiten hinsichtlich der Begrifflichkeiten, die insbesondere bei der Planung des erforderlichen baulichen Brandschutzes folgendermaßen zu unterscheiden sind:

Das Dach bezeichnet den Gesamtaufbau, also ein System einschließlich der tragenden Konstruktion. Die oberste wasserführende Schicht bildet die Dachhaut. Oberhalb des Daches können sich, direkt oder aufgeständert, zusätzlich Dachaufbauten befinden. Der in einigen Sonderbau-Vorschriften (z.B. M IndBauRL oder M VstättVO) verwendete Begriff der Bedachung bezeichnet den raumabschließenden Bauteilaufbau als Teil des Daches.

Hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer bewertete Konstruktionen sind in Tabelle 4.5.1 enthalten. Alternativ kann der Feuerwiderstand durch allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse belegt oder nach DIN EN 1995-1-2 bis zu einem Feuerwiderstand von 60 Minuten berechnet werden. Als Beplankungen und Bekleidungen von feuerwiderstandsfähigen Holzbauteilen können die in Abschnitt 10.5.4, DIN 4102-4, aufgeführten Baustoffe zum Einsatz kommen. Die Mindestrohddichte von Holzwerkstoffplatten muss $\rho_{\text{mean}} = 600 \text{ kg/m}^3$ betragen. Platten nach DIN EN 13986 mit einer Rohddichte $\rho_{\text{mean}} < 600 \text{ kg/m}^3$ sind zulässig, wenn die Mindestdicke nach den Tabellen der DIN 4102-4 mit dem Faktor $k_r = (600/\rho_{\text{mean}})^{0,5}$ erhöht wird.

Anforderungen an harte Bedachungen

Im Sinne der Anforderung der MBO müssen Bedachungen „ausreichend beständig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme“ bei Brandbeanspruchung von außen sein, es muss eine sogenannte „harte Bedachung“ gemäß DIN 4102-7 bzw. DIN EN 13501-5 ausgeführt werden. Zu unterscheiden sind hiernach klassifizierte Bedachungen nach DIN 4102-4 und Bedachungen, deren Eignung über eine Bauteilprüfung nach DIN 4102-7 bestätigt wurde (siehe Tabelle 4.5.2). Die Anwendung von Belägen aus Holzrosten bei Dachterrassen von aneinander gereihten Gebäuden ist im Einzelfall hinsichtlich des Risikos einer Brandweiterleitung zu überprüfen.

Informationsdienst HOLZ
„Brandschutz im Hallenbau“ (hh 3/4/4) [10]

Informationsdienst HOLZ
„Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockungen“ (hh 3/4/1) [11]

Als Beplankung geeignete Holzwerkstoffe:

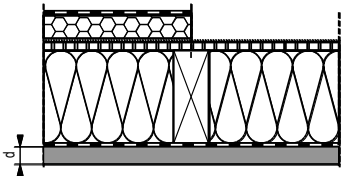
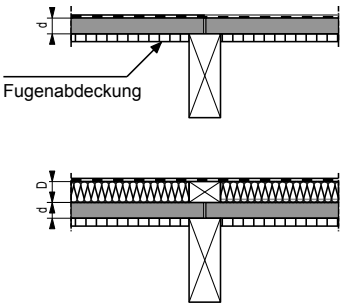
- Sperrholz
- Spanplatten
- Holzfaserplatten
- Faserzementplatten
- Holzwoleplatten
- OSB
- Zementgeb. Spanplatten
- Massivholzplatten
- Furnierschichtholz

sowie:

- Profilibretter (N+F)
- Gipsplatten

Tab. 4.5.1

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

KONSTRUKTIONSSCHEMA	TAB. – ZEILE in DIN 4102-4	UNTERE BEPLANKUNG			DÄMMSCHICHT	
		Baustoff ²⁾	d_{min} (mm)	l_{max} (mm)	Minstdicke / -rohrichten	
Konstruktionen mit unterseitiger Bekleidung → Flachdächer Typ II und III sowie belüftete Konstruktionen Typ IV und V						
	10.19 – Z. 1	HWS	19	625	Dämmung brandschutz- technisch nicht notwendig	
	10.19 – Z. 1	GKF	12,5 (15)	400 (500)	(mind. B2-Baustoff)	
	10.20 – Z. 1/2	HWS + GKF (raumseitig)	16 + 12,5 oder 13 + 15	625		
	10.20 – Z. 4	GKP + Putz	9,5 + 15	400		
	10.21	Drahtputzdecke nach DIN 4121	15	1.000		
	10.22 – Z. 1/2	HWS + GKF	19 + 12,5 oder 16 + 15	625	Dämmung aus Schaumkunststoff ⁴⁾ nach DIN	
	10.22 – Z. 3	GKF	2 x 12,5	500		
	10.23	HWS oder Bretter/Bohlen	25	1.250	aus Mineralfaser ⁵⁾ $d \geq 80$ mm $\rho \geq 30$ kg/m ³	
	Konstruktionen³⁾ mit sichtbarer Tragkonstruktion mit bzw. ohne Überdämmung → Flachdächer Typ I					
		10.24 – Z. 1	Bohlen	50	1.250	Ohne Überdämmung
10.24 – Z. 2		HWS	40	1.250		
10.25 – Z. 1		Bohlen	28	1.250	Überdämmung aus Mineral- faser ⁵⁾	
10.25 – Z. 2		HWS	28	1.250		
10.25 – Z. 3		HWS + Bohlen	25 + 16	1.250	$d \geq 80$ mm $\rho \geq 30$ kg/m ³	
10.26 – Z. 1 (2)		HWS	36 (27)	750 (650)	Überdämmung aus	
10.26 – Z. 3 (4)		Bretter/Bohlen	40 (32)	750 (650)	Schaumkunststoff ⁴⁾	
10.26 – Z. 6 (7)		HWS + GKF	25 (16) + 15 (12,5)	750 (650)		

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

²⁾ Verwendete Abkürzungen: HWS = Holzwerkstoff als Beplankung/Bekleidung; GKF = Gipskarton-Feuerschutzplatte

³⁾ Nachweis des Feuerwiderstandes der Tragkonstruktion nach DIN EN 1995-1-2 u. DIN EN 1995-1-2/NA

⁴⁾ Schaumkunststoffe nach DIN EN 13163 bis 13166 in Verbindung mit DIN 4108-10

⁵⁾ Mineralfaser nach DIN EN 13162 in Verbindung mit DIN 4108-10

⁶⁾ Fugenabdeckung, Anforderung bei HWS: $d = 30$ mm, siehe DIN 4102-4

Anforderungen an Bedachungen nach Muster-Industriebaurichtlinie [M Ind-BauRL]

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. Brandbekämpfungsabschnitten sowie die Anordnung, Lage und Länge von Rettungswegen bestimmt. Danach sind z.B. erdgeschossige Hallentragwerke (Primärkonstruktion) in Holzbauweise bis 10.000 m² Grundfläche für Sicherheitskategorie K4 unter Einhaltung einer Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile von 30 Minuten im Regelfall ohne besondere Brandschutzkonzepte möglich [10].

Einschränkungen bestehen hinsichtlich der Bedachung, wobei hier mit dem Begriff „Bedachung“ die Ausführung der die Gebäudehülle nach oben abschließenden Dachfläche (Sekundärkonstruktion) und nicht wie bei der „harten

Bedachung“ lediglich die Dachdeckung gemeint ist. Brand- bzw. Brandbekämpfungsabschnitte mit einer zusammenhängenden Dachfläche von mehr als 2.500 m² müssen nach MIndBauRL so ausgebildet werden, dass eine Brandausbreitung innerhalb eines Brandabschnitts über das Dach behindert wird. Hilfreich ist hier das sog. „Verzeichnis von Dächern“ nach DIN 18234-2, in dem mittlerweile auch das Holzflachdach Typ III geregelt ist.

Bei nicht dem Typ III entsprechenden Konstruktionen mit größeren Brandabschnittsflächen muss eine Brandprüfung der Konstruktion nach DIN 18234-1 erfolgen, oder es müssen individuelle Lösungen über ein Brandschutzkonzept festgelegt 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 (Brandlastbeschränkung).

Informationsdienst HOLZ
„Brandschutz im Hallenbau“ (hh 3/4/4) [10]



Abb. 4.5.1

Fertigungshalle der Hettich Unternehmensgruppe, Kirchlegern
Architekten: Banz + Riecks, Bochum

Tab. 4.5.2

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) oder Prüfverfahren zur Beanspruchung von Bedachungen durch Feuer von außen	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 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 bzw. nicht genormte Bitumendachbahnen	<ul style="list-style-type: none"> • Eignung mit allgemein bauaufsichtlichem Prüfzeugnis nach DIN 4102-7 nachgewiesen oder nach Prüfverfahren zur Beanspruchung von Bedachungen durch Feuer von außen
Anforderungen an das Brandverhalten begrünter Dächer	
Dachbegrünungen¹⁾ nach Mustererlass der ARGEBAU vom Juni 1989 [ME BbD]	<ul style="list-style-type: none"> • Überwiegend niedrig wachsende Pflanzen (z. B. Gras, Sedum, Eriken) • Substratschicht (Dachgärtnererde, Erds substrat), Dicke mindestens 3 cm, höchstens 20 M-% organische Bestandteile • Gebäudeabschlusswände, Brandwände oder Brandwandersatzwände sind in Abständen von höchstens 40 m mind. 30 cm über das begrünte Dach, bezogen auf Oberkante Substrat bzw. Erde geführt. Sofern diese Wände aufgrund bauordnungsrechtlicher Bestimmungen nicht über Dach geführt werden müssen, genügt eine 30 cm hohe Aufkantung aus nichtbrennbaren Baustoffen oder ein 1 m breiter Streifen aus massiven Platten oder Grobkies. • Anordnung eines mind. 0,5 m breiten Streifens aus massiven Platten oder Grobkies vor Öffnungen in der Dachfläche (Dachfenster, Lichtkuppeln) und vor Wänden mit Öffnungen, es sei denn, dass die Brüstung der Wandöffnung mehr als 0,8 m über Oberkante Substrat hoch ist. • Dächer mit Intensivbegrünung und Dachgärten sind ohne weiteres als widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme (harte Bedachung) zu bewerten. Dies sind Gründächer, die bewässert und gepflegt werden und die in der Regel eine dicke Substratschicht aufweisen.

¹⁾ Bei entsprechenden Auflagen ist der Einfluss auf das Feuchteverhalten zur berücksichtigen (siehe Kapitel 5 und 6)

Anforderungen nach Muster-Versammlungsstättenverordnung [M VstättV]

Gemäß dieser Verordnung müssen Tragwerke von Dächern als oberer Abschluss von Räumen der Versammlungsstätte feuerhemmend sein. Bedachungen, ausgenommen Dachhaut und Dampfsperre, müssen bei Versammlungsräumen mit mehr als 1.000 m² Grundfläche aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Mit Bedachung aus nichtbrennbaren Baustoffen ist u.a. eine Metalleindeckung gemeint. Brennbare Folien als Dampfsperren sind von einem Anwendungsverbot ausgenommen.

Somit darf bei Versammlungsräumen mit weniger als 1000 m² Grundfläche das gesamte Dach (Tragkonstruktion und raumabschließende Bedachung) in Holzbauweise hergestellt werden. Darüber hinaus darf die Tragkonstruktion in Holzbauweise ausgeführt werden, die raumabschließende Bedachung muss jedoch aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Bedachungen mit begrenzter Brandweiterleitung nach DIN 18234-1 bis 3 genügen hier in der Regel nicht.

Durch objektspezifische Brandschutzkonzepte kann der Einsatz von Holz im Dachbereich mit Konstruktionen, die durch Kapselung der brennbaren Baustoffe über ein hohes Maß an Brand-sicherheit verfügen, auch für größere Versammlungsräume ermöglicht werden [10].

Ein völliger Verzicht auf eine Feuerwiderstandsfähigkeit des Daches ist nur bei Versammlungsstätten mit automatischen Feuerlöschanlagen möglich.



Abb. 4.5.2

Montage Dachelement einer Industriehalle



Abb. 4.5.3

Zwischenlagerung der Dachelemente

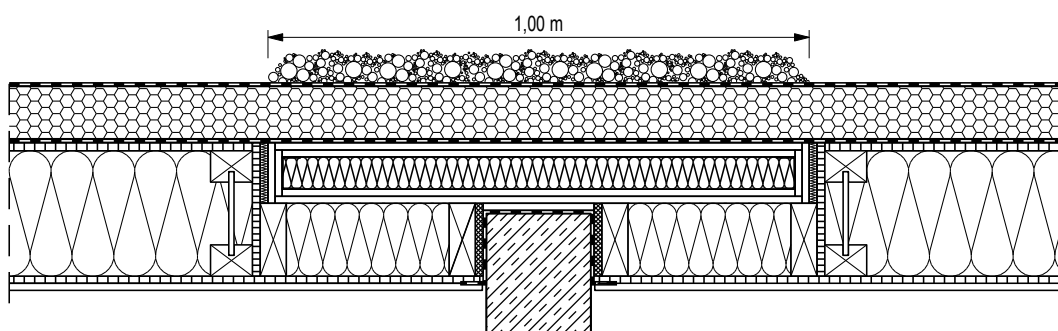


Abb. 4.5.4

Bedachung im Bereich eines Brandabschnitts eines Geschosswohnungsbaus in Passivbauweise – aufgesetztes Brandschott in Trockenbauweise ($b = 1,0$ m) als Sonderlösung im Rahmen eines Brandschutzkonzepts für die Gebäudeklasse 5

5 _ Nicht belüftete Konstruktionen

5.1 _ Planungsgrundlagen

Das Flachdach mit Aufdachdämmung (Typ I siehe Abb. 5.1.1) stellt die sicherste und robusteste Konstruktionsvariante dar, weil die Tragkonstruktion durch zwei Abdichtungsebenen vor Nässe geschützt und sie dem trockenen Innenraumklima ausgesetzt ist. Sie ist gemäß DIN 68800-2 ohne weitere Anforderungen in die Gebrauchsklasse 0 einzustufen und gilt auch in anderen Regelwerken wie DIN 4108-3 und den Flachdachrichtlinien [FDR] als nachweisfreie Konstruktion. Ist dieser Aufbau bautechnisch nicht möglich, stellt die vollgedämmte Konstruktion mit Aufdachdämmung (Typ II, siehe Abb. 5.1.2) eine

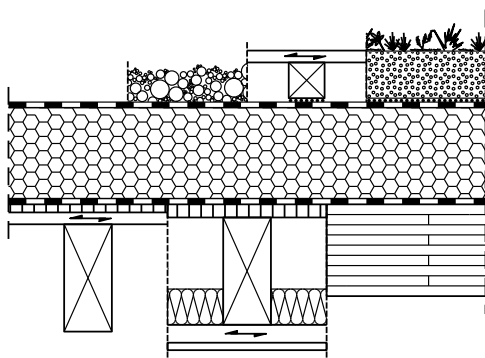


Abb. 5.1.1
 Nicht belüftete Flachdächer mit Aufdachdämmung (Typ I). Die robusteste Lösung für ein Flachdach in Holzbauweise

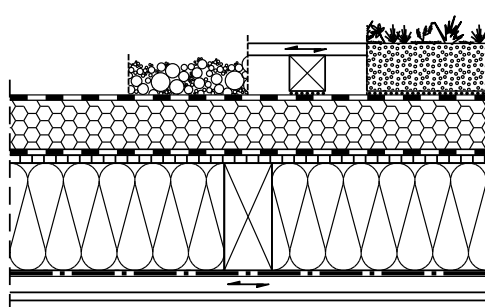


Abb. 5.1.2
 Nicht belüftete Flachdächer mit Dämmung in der Tragenebene und Aufdachdämmung (Typ II). Eine gute Alternative, die einer besonderen bauphysikalischen Planung und Baubetreuung bedarf.

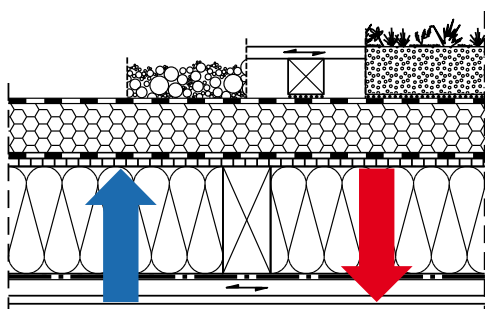


Abb. 5.1.3
 Im Winter (links) findet der Diffusionsstrom im Wesentlichen von innen nach außen statt. Im Sommer von außen nach innen (Umkehrdiffusion).

gute Alternative dar. Sie weist wie die reine Aufdachdämmung ebenfalls zwei Abdichtungsebenen auf. Ein solches Bauteil bedarf einer bauphysikalischen Planung. Es ist ein hygrothermischer Nachweis nach DIN EN 15026 erforderlich (siehe Kapitel 4.2.2) der nach WTA Merkblatt 6-8 [WTA 6-8] an verschiedene Randbedingungen geknüpft ist (u.a. Luftdichtheitsmessung, Dokumentation der Holzfeuchte).

5.2 _ Bauphysikalisches Wirkprinzip

Das bauphysikalische Wirkprinzip von nicht belüfteten Flachdächern mit Zwischensparrendämmung lässt sich wie folgt erklären: Im Winter diffundiert Feuchtigkeit in das Bauteil bis zur Abdichtungsebene und kann dort nicht nach außen dringen. Neben dieser Feuchte kann trotz guter handwerklicher Ausführung noch weitere Feuchte über Konvektion in das Bauteil durch verbleibende Luftundichtheiten gelangen (Abb. 5.1.3, links). Im Sommer muss diese Feuchte wieder aus dem Bauteil diffundieren. Da die äußere Abdichtung i.d.R. s_d -Werte oberhalb von 20 m aufweist, kann die Konstruktion zum größten Teil nur zum Raum hin rücktrocknen. Somit kommt der Dampfbremse auf der Raumseite eine hohe Bedeutung zu. Sie darf im Winter nur geringe Mengen Feuchte in die Konstruktion diffundieren lassen. Im Sommer muss sie dagegen so diffusionsoffen sein, dass die eingedrungene Feuchte wieder rücktrocknet (Abb. 5.1.3, rechts), die sogenannte Rückdiffusion.

Die Trocknung wird neben der Dampfbremse im Wesentlichen durch das Außenklima und die Bauteiloberfläche bestimmt. Verschattungen, helle Abdichtungen, Bekiesung oder Begrünung reduzieren die Rücktrocknung zum Raum hin und können zur kontinuierlichen Auffeuchtung führen.

Einfluss der Dampfbremse

Heute werden im Wesentlichen feuchtevariable Dampfbremsen eingesetzt, da sie das bauphysikalische Wirkprinzip verstärken. Durch einen höheren Diffusionswiderstand im Winter und einen reduzierten im Sommer vergrößert sich das Trocknungspotential.

Auf dem Markt befinden sich zahlreiche feuchtevariable Dampfbremsen. Sie haben einen unterschiedlichen Verlauf der Diffusionsperrwerte, zeigen aber ein ähnliches bauphysikalisches Verhalten (siehe Abb. 5.1.5). Nach DIN 68800-2 benötigen feuchtevariable Dampfbremsen derzeit eine bauaufsichtliche Zulassung, da die Eigenschaft des veränderlichen s_d -Wertes in den europäischen Standardprüfungen nicht abgebildet wird. Nach Angaben des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) werden solche Folien einer künstlichen Alterung und zusätzlichen s_d -Wert Messungen unterzogen, um sicher zu stellen, dass die feuchtevariablen Eigenschaften auf Dauer erhalten bleiben. Die Regelungen des DIBt sind zu berücksichtigen.

Der zusätzliche trockenungsfördernde Effekt durch die Anwendung feuchtevariabler Dampfbremsen kann nur durch hygrothermische Berechnungen unter instationären Klimarandbedingungen nachgewiesen werden (siehe Kapitel 5.3).

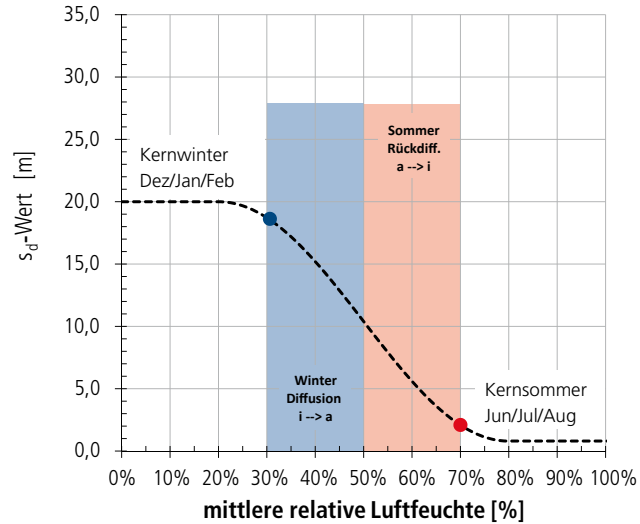


Abb. 5.1.4

Funktionsweise von feuchtevariablen Dampfbremsen mit hoher Spreizung: Bei einem Dach ergeben sich bspw. im Winter mittlere relative Luftfeuchten an der Dampfbremse von ca. 30 %; der s_d -Wert liegt dann bei ca. 18 m. Es diffundieren nur geringe Mengen in die Konstruktion. Im Kernsommer liegt die mittlere relative Luftfeuchte an der Dampfbremse bei ca. 70 % und der s_d -Wert bei 2 m. Es kann mehr Feuchte zum Raum hin rücktrocknen.

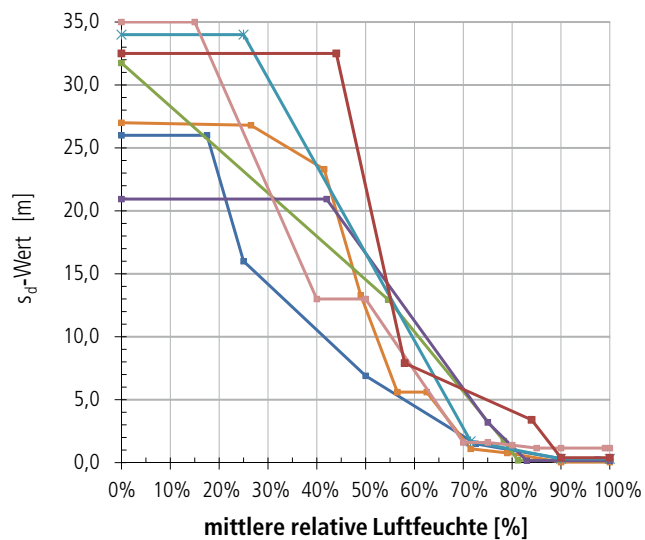


Abb. 5.1.5

Auswahl auf dem Markt befindlicher feuchtevariabler Dampfbremsen mit hoher Spreizung zwischen Trocken und Feuchtbereich

Bei der Anwendung ausgeprägt diffusionsvariabler Materialien ist zu beachten, dass diese in der Zeit von Herbst bis Frühjahr auch bei hohen Rohbaufeuchten einen ausreichenden Diffusionswiderstand aufweisen sollten, um übermäßigen Feuchteintrag in die Konstruktion während der Bauphase zu verhindern. Darüber hinaus muss die relative Luftfeuchte auf der Baustelle kontrolliert werden. Bei relativen Luftfeuchten oberhalb von 70 % 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.

Einfluss von Deckschichten

Neben dem Diffusionswiderstand auf der Raumseite ist die Ausbildung der Deckschicht des Flachdaches von besonderer Bedeutung. Der trocknungsfördernde Effekt der Rückdiffusion wird insbesondere durch wärme- und feuchte-speichernde Deckschichten (Bekiesung oder Dachbegrünung) gemindert. Dies muss bei der hygrothermischen Berechnung mittels Bauteilsimulation entsprechend berücksichtigt werden [16]. I.d.R. führt dies zu Aufbauten mit Zusatzdämmung (Typ II). Im Anhang finden sich entsprechende Beispielaufbauten.

Einfluss von Dachoberfläche und Verschattungen

Sehr helle Dachbahnen oder reflektierende, nicht selbstpatinierende Metaldachdeckungen sowie eine dauerhafte Verschattung (z.B. Solarmodule, Nachbargebäude) mindern ebenfalls die Rücktrocknung. Beim hygrothermischen Nachweis von nicht belüfteten Flachdachkonstruktionen ist dies zu berücksichtigen.

5.3 _ Instationäre, hygrothermische Berechnungsverfahren

Nicht belüftete und außen dampfdichte Konstruktionen (Typen II und III) sind nach DIN 68800-2 bzw. DIN 4108-3 mittels hygrothermischer Simulation nachzuweisen (siehe Kapitel 4.2.2). Mit hygrothermischen Simulationen nach DIN EN 15026 können die baupraktisch relevanten Wärme- und Feuchteprozesse beurteilt werden:

- Feuchteakkumulation infolge Diffusion und Konvektion
- Austrocknung von Baufeuchte
- Oberflächenfeuchten infolge Unterkühlung durch nächtliche Wärmeabstrahlung
- Wärmeverluste durch Transmission und Verdunstung
- Reduzierte Rücktrocknung durch Verschattungen

Bei der hygrothermischen Simulation sind ein- und zweidimensionale Berechnungen zu unterscheiden. Bei Bauteilen mit nur einer Dämmebene bzw. einer Dämmebene im Gefach und einer außenliegenden Dämmschicht reichen in der Regel eindimensionale Berechnungen aus, da die kritischsten Feuchtebedingungen im Gefachbereich vorherrschen. Bei einer zweiten Dämmschicht unterhalb der Gefachdämmung und bei jeglichen Betrachtungen mit Baufeuchte aus angrenzenden Bauteilen sind 2D-Berechnungen zur Absicherung der Ergebnisse erforderlich [16].

Bei den Berechnungen wird das Bauteilverhalten über mehrere Jahre unter dynamischen, realitätsnahen Klimarandbedingungen simuliert. Als Berechnungsergebnis werden u.a. der Gesamtwassergehalt im Bauteil sowie der Wassergehalt und die Porenluftfeuchte in den einzelnen Bauteilschichten ausgegeben. Die Auswertung erfolgt nach WTA Merkblatt 6-8 [WTA 6-8]. Mittelfristig ist eine Holzfeuchte unter 20 % anzustreben. Der Feuchtegehalt der Materialien lässt Rückschlüsse auf die Dauerhaftigkeit der eingebauten Holzbauteile und Dämmstoffe zu.

Randbedingungen

Um hygrothermische Simulationen durchführen zu können, werden verschiedene Informationen benötigt:

- a) Außenklima
- b) Innenraumklima
- c) Kurzwelliger Absorptionsgrad α
- d) Langwelliger Emissionsgrad ϵ
- e) Verschattungen
- f) Luftdurchlässigkeit

a) Außenklima

Das Außenklima muss stündliche Daten der wichtigen Komponenten enthalten. Dazu zählen neben Temperatur, relative Luftfeuchte, Regen und Windgeschwindigkeit insbesondere die direkte und diffuse Strahlung als auch die atmosphärische Gegenstrahlung.

b) Innenraumklima

Die Luftfeuchte des Innenraumes steht im Zusammenhang mit dem Außenklima. Ein vereinfachter Zusammenhang wird in WTA Merkblatt 6-2 beschrieben [WTA 6-2]. Dabei wird zwischen hoher, normaler und niedriger Feuchtelast unterschieden. Die normale Feuchtelast gilt u.a. für Wohnräume einschließlich Bäder und Küchen für Wohnzwecke. Werden im Rahmen einer feuchte-technischen Bemessung zusätzliche Sicherheiten gewünscht, kann eine um 5 % erhöhte relative Luftfeuchte gewählt werden (vgl. [WTA 6-2]).

c) Kurzwelliger Absorptionsgrad α

Die Erwärmung einer Oberfläche durch kurzwellige Einstrahlung (Solarstrahlung) wird tagsüber im Wesentlichen durch den kurzwelligen Absorptionsgrad α bestimmt. Dieser hängt im Wesentlichen von der Farbgebung ab. Je geringer der Wert, desto kühler die Oberflächentemperatur tagsüber.

Tab. 5.3.1 Orientierungswerte für den kurzwelligen Absorptionsgrad [WTA 6-8]

BESCHREIBUNG	ABSORPTIONS-GRAD α
weiße oder helle Oberflächen	0,2 - 0,4
rote oder graue Oberflächen	0,5 - 0,7
dunkle bis schwarze Oberflächen	0,7 - 0,9

d) Langwelliger Emissionsgrad ϵ

Die Abkühlung der Oberfläche durch langwellige Abstrahlung (Wärmestrahlung) wird durch den langwelligen Emissionsgrad ϵ beeinflusst. Der Emissionsgrad wird außer bei metallischen Oberflächen mit ca. 0,9 angesetzt. Je höher der Wert, desto stärker die Unterkühlung der Oberfläche.

e) Verschattungen

Verschattungen werden u.a. verursacht durch Terrassenbeläge, Bäume, Nachbargebäude und Solaranlagen. Sie können auf zwei unterschiedliche Arten in der Berechnung berücksichtigt werden:

- direkt: durch einen Klimadatensatz, der die bauliche Umgebung beinhaltet und damit die Ein- und Abstrahlung berücksichtigt.
- indirekt: durch die Veränderung des Absorptions- und Emissionskoeffizienten.

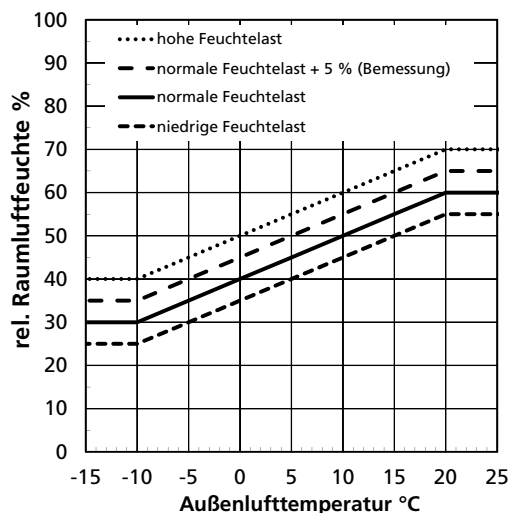


Abb. 5.3.1

Vereinfachter Zusammenhang zwischen Außentemperatur und relativer Luftfeuchte [WTA 6-2]

Entsprechende vereinfachte Ansätze befinden sich im WTA-Merkblatt 6-8 [WTA 6-8] (siehe Tabelle 5.3.2).

Der Effekt wird anhand eines Terrassenbelages erläutert: Die kurzweilige Solarstrahlung trifft auf die Holzbohlen und verschattet damit die darunter liegende Abdichtung des Flachdaches. Durch die Lüftung kann die Wärme entweichen und es bleibt unter dem Belag etwas kühler als darüber. Bei der hygrothermischen Simulation werden sowohl der Terrassenbelag als auch die darunter befindliche Luftschicht als Bauteilschicht nicht in der Rechnung dargestellt, sondern statt-

dessen der Absorptionsgrad für den Terrassenbelag auf 35 % reduziert. Der Emissionsgrad der Abdichtung kann auch auf 45 % reduziert werden, da die Oberfläche der Abdichtung durch den darüberliegenden Terrassenbelag nicht so stark unterkühlt. Bei Verschattungen durch z.B. nebenstehende Gebäude etc. wird der Emissionsgrad nicht reduziert.

f) Luftdurchlässigkeit

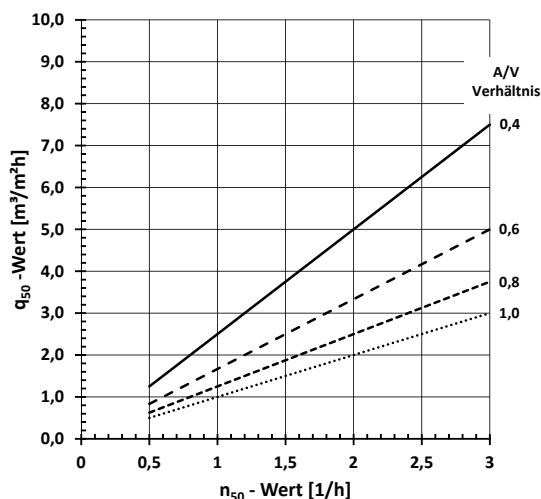
Bei der Herstellung der luftdichten Ebene kann es trotz guter handwerklicher Ausführung durch verbleibende Leckagen zu einem konvektiven Feuchteintrag in die Konstruktion kommen. Dieser lässt sich baupraktisch nicht vermeiden und ist daher in der hygrothermischen Simulation anzusetzen (siehe DIN 68800-2). Die dort angesetzte Luftdurchlässigkeit des Bauteils ist mittels Messung zu überprüfen. Sie ist zu einem Zeitpunkt durchzuführen, bei dem eine Leckageortung und eine Nachbesserung der Luftdichteitsebene noch möglich sind [WTA 6-8]. Es ist darauf zu achten, dass nicht die volumenbezogene Luftdichtheit (n_{50} in 1/h) sondern die hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit (q_{50} in m^3/m^2h) eingehalten wird (siehe Abb. 5.3.2).

Zusätzlich ist eine Leckageortung durchzuführen. Wird bei einer Messung ein heute üblicher q_{50} -Wert (bspw. $< 1,5 m^3/m^2h$) für das Gesamtgebäude gemessen und werden bei der Leckageortung keine größeren Leckagen am Dach festgestellt, kann davon ausgegangen werden, dass auch das Bauteil einen niedrigen q_{50} -Wert aufweist. Die Leckageortung ist insbesondere für das Bauteil Flachdach eine wesentliche Komponente zur Schadensvermeidung.

Tab. 5.3.2 Vorschläge effektiver Strahlungsparameter für die vereinfachte Berücksichtigung von Verschattungen auf Flachdächern [WTA 6-8]

BESCHREIBUNG	EFFEKTIVER ABSORPTIONS-GRAD a_E	EFFEKTIVER EMISSIONS-GRAD ϵ_E
Vertikale Verschattung u.a. Häuser, Bäume, Balkonbrüstung	$0,35 \cdot a_{\text{Abdichtung}}$	$1,00 \cdot \epsilon_{\text{Abdichtung}}$
Verschattung durch Solarmodule	$0,30 \cdot a_{\text{Abdichtung}}$	$0,50 \cdot \epsilon_{\text{Abdichtung}}$
Horizontale Verschattung durch Terrassenbeläge	$0,35 \cdot a_{\text{Belag}}$	$0,45 \cdot \epsilon_{\text{Abdichtung}}$

Abb. 5.3.2
 Zusammenhang zwischen n_{50} - und q_{50} -Wert über das A/V Verhältnis des Gebäudes.



6 _ Belüftete Konstruktionen

6.1 _ Planungsgrundlagen

Durch einen nach außen diffusionsoffenen Dachaufbau können belüftete Flachdächer eine hohe Fehlertoleranz aufweisen. Dies macht die Bauweise robust, auch bei temporärer Verschattung. Voraussetzung ist jedoch die Wirksamkeit der Belüftung, wofür meist ein höherer konstruktiver Aufwand erforderlich ist.

Belüftete Konstruktionen zeichnen sich dadurch aus, dass Feuchtigkeit, z.B. Materialfeuchte oder auch Nutzungsfeuchte, gezielt aus dem Bauteil abgeführt werden kann. Dies war früher für die Funktionstüchtigkeit von Flachdächern von größerer Bedeutung als heute, da kaum trockenes Bauholz lieferbar und die geringen Dämmstärken ohne Probleme Lüftungshohlräume ermöglichten. Aufgrund der mittlerweile hohen Anforderungen an Wärmeschutz und Luftdichtheit wird immer häufiger auf eine Belüftungsebene verzichtet.

Die Frage, ob eine belüftete Konstruktion für die vorliegende Bausituation sinnvoll ist oder nicht, sollte in einem frühen Planungsstadium beantwortet werden, da sie erheblichen Einfluss auf die Höhe des Dachaufbaus und die Ausführung der An- und Abschlüsse hat. Es wird darauf hingewiesen, dass es derzeit zwar Regelungen zur Dimensionierung des Belüftungshohlraums und der Be- und Entlüftungsöffnungen gibt, diese jedoch nicht wissenschaftlich abgesichert sind.

6.2 _ Konstruktionen

Es werden Konstruktionen mit Belüftung im Gefach direkt über der Dämmebene sowie beidseitig geschlossene Holzbautafeln mit zusätzlich aufgebrachtener belüfteter Luftschicht unterschieden.

Typ V: Belüftung in der Konstruktionsebene

Eine Belüftung in Ebene der Tragkonstruktion oberhalb der Wärmedämmung (siehe Abb. 6.1) war früher üblich. Sie kann einen negativen Einfluss auf die wärmedämmenden Eigenschaften haben und kommt nur noch bei flachgeneigten Dachkonstruktionen mit sehr hohen (meist aufgelösten) Tragkonstruktionen zum Einsatz.

Durch den damit verbundenen großen Luftraum bestehen nur geringe Strömungsgeschwindigkeiten, so dass es nicht zu Auskühlungen im Bereich der Dämmung durch Kaltlufteintrag kommt. Bei Zellulosedämmstoffen kann eine Verfestigung der Oberfläche durch Besprühen mit Wasser erfolgen, was diese strömungsdichter macht und zudem die Staubentwicklung mindert.

Typ IV: Separate Belüftungsebene

Zeitgemäße belüftete Flachdachkonstruktionen verfügen über eine voll ausgedämmte, winddicht ausgeführte Dämmebene. Eine Belüftung kann durch eine zusätzliche Konstruktionsebene erfolgen, deren obere Abdeckung als zusätzlicher Feuchteschutz gegenüber Sekundätauwasser ausgebildet ist (siehe Abb. 6.2).

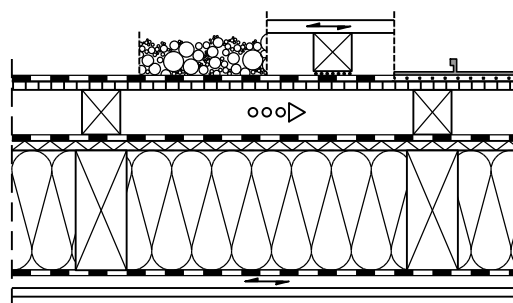
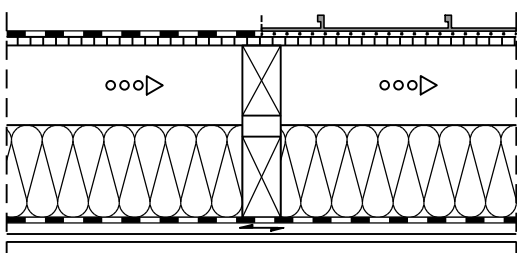
Abb. 6.1

Belüftetes flachgeneigtes Dach (Typ V, ab DN 5 %, mit Metalldachdeckung ab 7°)

Die Belüftung erfolgt bei hohen Tragkonstruktionen im Dachraum, wofür strömungsdichte Dämmstoffe empfehlenswert sind.

Abb. 6.2

Belüftetes Flachdach (Typ IV) als vollgedämmte diffusionsoffene Konstruktion mit zusätzlicher Konstruktionsebene als belüftetes Dach – Decklagen sind möglich, können aber die Trocknung beeinträchtigen



6.3 _ Belüftungsempfehlungen

Der Ausbildung der Belüftungsebene einschließlich ihrer Be- und Entlüftungsöffnungen kommt besondere Bedeutung zu. Ihre Funktionstüchtigkeit hängt von folgenden Parametern ab:

- a) Dachneigung → möglichst groß (> 3°)
- b) Belüftungsweg → möglichst kurz und ohne Unterbrechungen
- c) Belüftungsquerschnitt → möglichst groß
- d) Be- und Entlüftungsöffnungen → direkt durch Wind anströmbar und gegenüberliegend

Bei Dächern mit unklaren Belüftungssituationen sollten nicht belüftete Konstruktionen (Typ I und II) bevorzugt werden, siehe Kap. 5. Die Belüftungsebene von Fassaden darf nicht in die der Flachdachkonstruktion geführt werden, sondern ist separat zu entlüften. Andernfalls kann es zu zusätzlichem Feuchteintrag in die Dachkonstruktion kommen.

a) Dachneigung

Aufgrund des bei Flachdächern in der Regel geringen Höhenunterschieds zwischen Be- und Entlüftung entsteht nur ein sehr geringer thermischer Auftrieb, so dass die Belüftung im Wesentlichen durch äußere Windeinwirkungen zustande kommt.

Bei Dachneigungen kleiner als 5° sind nicht belüftete Konstruktion zu bevorzugen, unter 3° sollten sie grundsätzlich vermieden werden, sofern keine exponierte Lage vorliegt.

b) Belüftungsweg

Der Belüftungsweg sollte über die kurze Dachseite geführt sein. Mit zunehmender Länge besteht die Gefahr, dass der Luftstrom nachlässt oder abreißt. Die Empfehlungen der DIN 68800-2 und der DIN 4108-3 beschränken sich auf Belüftungslängen von 15 m bzw. 10 m. Mit abnehmender

Dachneigung und zunehmender Belüftungslänge steigen die Anforderungen an die Querschnittshöhe.

c) Belüftungsquerschnitt

Die normativen Angaben für die Querschnittshöhe sind Tabelle 6.1 zu entnehmen. Die vergleichsweise geringen Anforderungen nach DIN 4108-3 für Flachdächer, bei denen sich direkt über der Dämmung eine Belüftung befindet sind aufgrund der expandierenden Mattendämmstoffe (komprimiert gerollt), der heute geforderten Dämmstoffdicken und der zulässigen Dickentoleranzen handwerklich nicht realisierbar und werden deshalb nicht empfohlen.

Bei Dächern mit geringem Rücktrocknungsvermögen z.B. bei Begrünung oder Verschattung sollte der Querschnitt großzügiger bemessen werden. Durch Unterbrechungen des Belüftungswegs (z.B. Lichtkuppeln, Attikaausbildungen, vgl. Abb. 6.3) oder eine starke Gliederung der Dachflächen kann die Belüftung eingeschränkt oder ganz verhindert werden. Sie sind daher zu vermeiden. Gleiches gilt für Schneeverwehungen an ungeschützten Dachrändern. Ansonsten sind nicht belüftete Aufbauten (Typ I und II) zu bevorzugen.

d) Be- und Entlüftungsöffnungen

Bei Auswahl und Größe der Be- und Entlüftungsöffnungen sind die reduzierten freien Lüftungsquerschnitte der Lüftungsgitter zu berücksichtigen; ggf. ist die Querschnittshöhe anzupassen. Zu beachten ist weiterhin, dass die Belüftungsöffnungen direkt gegenüberliegend und „sich sehend“ angeordnet werden. Kaldachlüfter können eine wirkungsvolle Querlüftung nicht ersetzen und sind nur im Ausnahmefall z.B. bei Unterbrechungen denkbar. Die Belüftungsöffnungen müssen gegenüber Schlagregeneintrag und Flugschnee geschützt werden.

Tab. 6.1

Anforderungen an den Belüftungsquerschnitt und die Be- und Entlüftungsöffnungen nach verschiedenen Regelwerken in Abhängigkeit der Dachneigung¹⁾

DACHNEIGUNG	DIN 68800-2		DIN 4108-3 UND FACHREGELN DES DACHDECKERHANDWERKS [MB WS]	
	Querschnitt	Öffnung ³⁾	Querschnitt	Öffnungen ³⁾ bei DN < 5° bis max. 10 m
< 3°	Für Dachneigungen unter 3° wird grundsätzlich keine Belüftung empfohlen!			
≥ 3° und < 5°	≥ 80 mm bzw. ≥ 150 mm ⁴⁾	≥ 40 %	≥ 50 mm ⁵⁾	- Traufe und Pultdachanschluss für DN < 5°: 2 ‰ der Dachfläche, mind. 200 cm ² /m
≥ 5° und < 15°	≥ 80 mm	≥ 40 %	(≥ 20 mm) ⁵⁾	- First und Grat für DN ≥ 5°:
≥ 15°	≥ 40 mm	≥ 40 %	(≥ 20 mm) ⁵⁾	0,5 ‰ der Dachfläche, mind. 50 cm ² /m

¹⁾ Die i.d.R. maßgebenden Bedingungen der Holzschutznorm DIN 68800-2 sind zu bevorzugen.

²⁾ Bei Sparrenlängen größer 15 m bzw. 10 m werden besondere Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Belüftungsfunktion erforderlich, z.B. der Einbau von Lüftern.

³⁾ Bezogen auf den Lüftungsquerschnitt – Lüftungsgitter und Querschnittsverengungen sind zu berücksichtigen

⁴⁾ Angabe gültig für begrünte, flach geneigte oder geneigte Dächer nach DIN 68800-2 Anhang A Bild A.17

⁵⁾ Theoretischer Wert gemäß Regelwerk, da aufwölbende Mattendämmstoffe bzw. deren Maßtoleranzen die Belüftung verhindern. Die Lüftungsquerschnitte sollten daher größer als das angegebene Mindestmaß ausfallen.



Abb. 6.3

Fitnessstudio der Frankfurt School of F&M –
Modulbauweise mit belüfteter Dachkonstruktion
Architekten: werk.um, Darmstadt

6.4 _ Bewertung des Holzschutzes

Tragkonstruktion → GK 0

Die Tragkonstruktion diffusionsoffen ausgeführter Flachdächer kann unter Einhaltung der Belüftungsregeln nach DIN 68800-2 (Tab. 6.1) der Gebrauchsklasse 0 zugeordnet werden, so dass keine besonderen Holzschutzmaßnahmen erforderlich sind. Voraussetzung ist jedoch die Einhaltung der grundsätzlichen baulichen Holzschutzmaßnahmen, insbesondere die Luftdichtheit in Verbindung mit einer raumseitig dampfbremsenden und oberseitig der Dämmebene diffusionsoffenen Ausführung (siehe Kap. 4.3 bzw. [04]). Randbedingungen für nachweisefreie Konstruktionen bezogen auf den Feuchteschutz enthält Tabelle 4.2.1.

Unterdeckung bei Typ V → NKL 2

Die Ausführung der i.d.R. nicht tragenden Unterdeckung als obere Abdeckung von Tragkonstruktion und Dämmebene unterhalb der Belüftungsebene kann in Anlehnung an DIN 68800-2, Bild A.17 folgendermaßen ausgeführt werden:

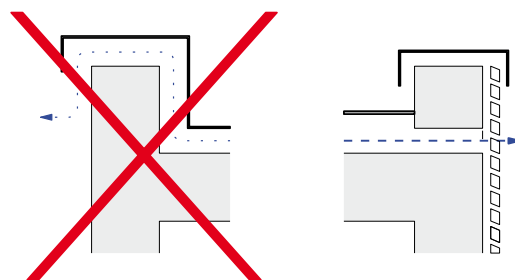
- Abdeckung mit wasserableitender Schicht als Unterdeckbahn mit $s_d \leq 0,3$ m
- Trockene Bretterschalung mit $b \leq 160$ mm in Verbindung mit Unterdeckbahn, siehe a)
- Unterdeckplatte als Holzfaserdämmplatte, Anwendungsgebiet DADdm (DIN 4108-10) für NKL 2 – empfohlen in Verbindung mit a)

Tragende Dachschalung → GK 0 und NKL 2

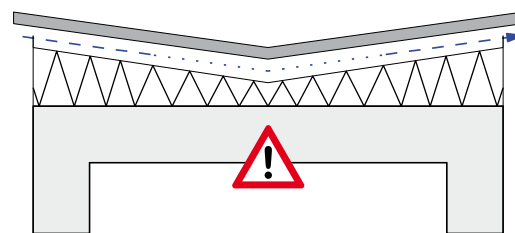
Die direkt unter der Dachabdichtung angeordnete tragende Dachschalung kann bei fachgerechter Belüftung ebenfalls der Gebrauchsklasse GK 0 nach DIN 68800-2 zugeordnet werden. Geeignet sind hierfür trockene Vollholzschalungen ($d \geq 24$ mm, C24) oder tragende Holzwerkstoffe für den Anwendungsbereich NKL 2 (z.B. OSB/3 bzw. OSB/4 oder Spanplatten P5 bzw. P7). Die Fachverbände des Klempnerhandwerks fordern bei Verwendung von OSB und Spanplatten eine feuchteunempfindliche PMDI-Verklebung.

Anforderungen an den Diffusionswiderstand zur Einstufung in GK 0 nach DIN 68800-2, vgl. auch Tabelle 4.2.1:
 Raumseite: $s_{d,i} \geq 2$ m
 Außenseite: $s_{d,e} \leq 0,3$ m

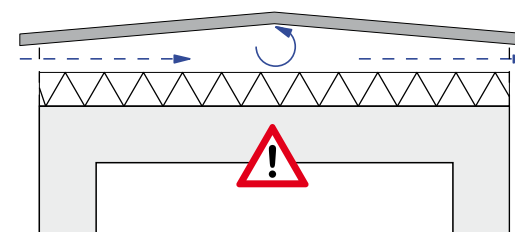
Abb. 6.4 a-d
 Beispiele für die Anordnung von Belüftungswegen – Probleme und Lösungen



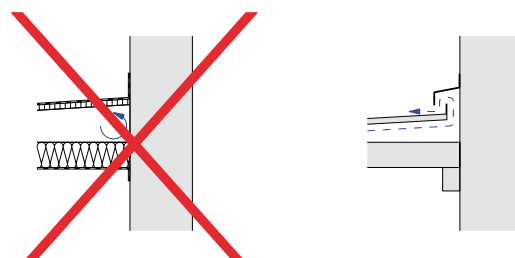
a) Links: Belüftung über Attika nicht möglich, ggf. direkt durchlüften, durch Gitter oder Lückenschalung



b) Dachkehle → Durchlüftung durch Gegengefälle erschwert



c) Dachsattel → Luftstau im Firstbereich bei langen Lüftungswegen möglich → Firstlüftung vorsehen



d) Anschluss an Bestand → Querlüftung vorzuziehen, $DN > 5^\circ$ belüftetes Wandanschlussprofil möglich

7 _ Dachränder und Dachuntersichten

7.1 _ Problemstellung

Dachüberstände werden gerne als filigran gestaltetes Element eingesetzt, wobei die Holzbauteile nach außen sichtbar belassen werden. Das Gleiche gilt für nicht gedämmte Dächer von offenen Überdachungen, z.B. Carportanlagen. Die konstruktive Ausbildung dieser Bauteile bedarf aber besonderer Beachtung, da sie dazu neigen, sich im Laufe der Nutzungszeit dunkel zu verfärben. Außerdem verlangt die Herstellung von Dachüberständen bei Aufdachdämmsystemen besondere Beachtung hinsichtlich des Holzschutzes, da die Holzbauteile als Stichsparren häufig in der Dämmebene zwischen diffusionshemmenden Schichten angeordnet werden. Hinweise hierzu enthält Kapitel 6 sowie das Merkblatt „Vordächer in Holz“ [TKF2].

7.2 _ Feuchteeinwirkungen

Ein wichtiger Aspekt ist der Einfluss der Wärmeabstrahlung von der Dachoberseite. Insbesondere bei unbedecktem Nachthimmel kommt es zu einer starken Abkühlung der Dachfläche, die zu einer Unterschreitung der Oberflächentemperaturen gegenüber den Außenlufttemperaturen führt (siehe Abb. 7.1 bzw. [18]). Dadurch entstehen auf der Dachunterseite oberflächennah hohe relative Luftfeuchten, die zu einer Erhöhung

der Bauteilfeuchte führen. Dies kann zu unerwünschten Verfärbungen infolge Bläue und Schimmelpilzbefall führen, siehe Abb. 7.2.

Weitere Ursachen für Feuchteeinwirkungen an Untersichten von Dachrändern können Konvektion infolge Fensterlüftung, erhebliche Baufeuchte, direkte Bewitterung des Dachrandes sowie feuchte Umgebungsbedingungen sein. Das für die Entstehung von Schimmelpilzen notwendige Nährstoffangebot bieten neben den Holzinhaltstoffen auch Oberflächenverschmutzungen, wobei das Befallsrisiko von der Höhe des lokal vorliegenden biologischen Befallsdrucks abhängt. Dieser ist in ländlichen Bereichen häufig größer als in Ballungszentren.

Abb. 7.1

Prinzip der Wärmeabstrahlung am Dachüberstand mit der Folge von Tauwasserbildung bzw. hoher relativer Luftfeuchten im Oberflächenbereich

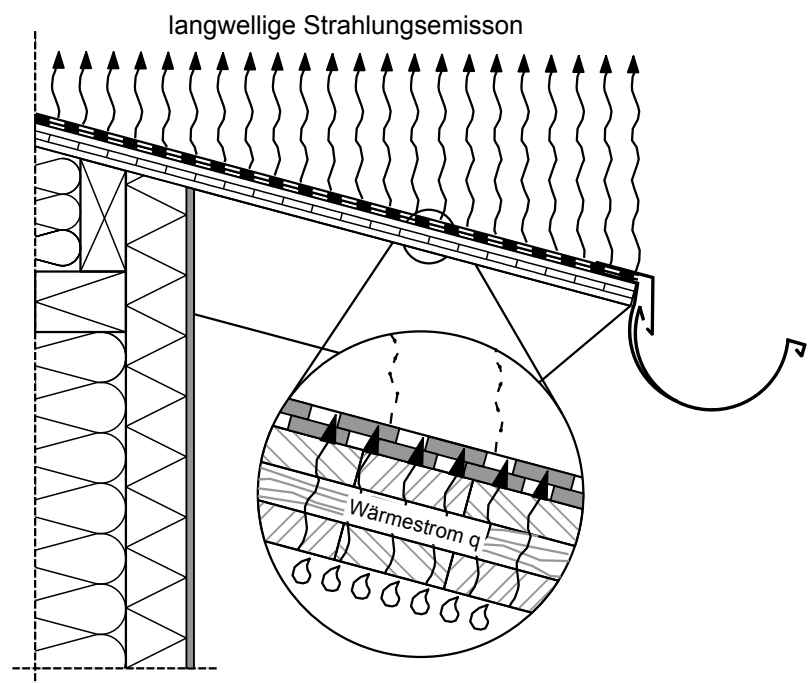


Abb. 7.2

Verfärbungen durch Schimmelpilzbefall an einer Dachuntersicht aus beschichteten BFU-Platten (sog. Seekieferplatten)



7.3 _ Ausführungsregeln

Die Unterkühlung der Dachuntersicht sollte durch baukonstruktive Maßnahmen verhindert werden. Es wird empfohlen, eine Minstdämmung oberhalb der Dachschalung im Bereich des Überstandes aufzubringen, wofür sich Dämmdicken von 30 bis 40 mm bewährt haben, siehe Detail in Kap. 8.2. Werden die Dachüberstände und Dächer aus flächigen Massivholzbauteilen (Brettsperrholz) mit Dicken größer 50 mm hergestellt, reicht deren Dämmwirkung und Wärmespeicherefähigkeit i.d.R. aus, um in Verbindung mit einer geeigneten Oberflächenbehandlung unempfindlich gegenüber Feuchte- und Schimmelpilzbildung zu sein.

Weiterhin ist eine fachgerechte Ausbildung des Dachrandes zur Vermeidung regelmäßiger Befuchtung der Plattenoberflächen und Plattenkanten infolge von Windverwirbelungen erforderlich. Die in den Klempnerfachregeln vorgegebenen Maße für die Randverblechung sind in Tab. 7.1 angegeben. Abweichungen davon sind gesondert zu vereinbaren, in diesen Fällen sollte das Schutzziel durch kompensierende Maßnahmen erreicht werden, z.B. durch die Auswahl unempfindlicher Holzarten oder durch besondere Schutzanstriche, vgl. Kap. 7.5.

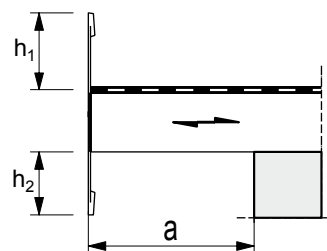


Abb. 7.3 Ortgang Flachdach mit Dachabdichtung und mehrteiligem Metallabschlussprofil nach [KFR]

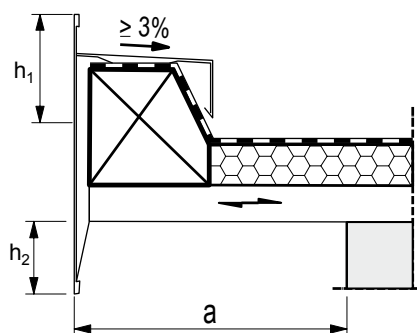


Abb. 7.4 Ortgang Flachdach mit hochgeführter Dachabdichtung und Metallabdeckung nach [KFR]

Tab. 7.1 Überdeckungen von Randverblechungen nach Klempnerfachregeln¹

BAUTEILÜBERSTAND		≤ 8 m über GOK	> 8 bis ≤ 20 m über	> 20 bis ≤ 100 m über
			GOK	GOK
Anschlusshöhe Ortgangfalz ²⁾	h_1	40 - 60 mm ³⁾	40 - 60 mm ³⁾	60 - 100 mm
Überdeckung senkrechter 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

7.4 _ Geeignete Holz und Holzwerkstoffe

Vollholz als tragende Dachschalung

Bauteile im Bereich von Dachüberständen einschließlich ihrer Dachschalungen können im Regelfall der Gebrauchsklasse 0 (GK 0) zugeordnet werden, d.h. es besteht keine Gefährdung durch holzerstörende Pilze oder Insekten. Damit bestehen keine Anforderungen an besondere bauliche oder gar chemische Holzschutzmaßnahmen. Mit den in Kapitel 7.3 genannten konstruktiven Maßnahmen kann der Tauwasserbildung vorgebeugt werden. Selbst bei vorübergehender Befeuchtung können Holzbauteile der GK 0 zugeordnet werden, sofern es sich um technisch getrocknetes Holz handelt [03], [04]. Nicht auszuschließen sind in diesen Fällen jedoch Verfärbungen z.B. durch Bläue oder Schimmel.

Geeignete Holzwerkstoffplatten

Teil 2 der DIN 68800 fordert für belüftete, überdämmte und nicht überdämmte Dachschalungen die Nutzungsklasse 2 (Feuchtbereich), siehe Tab. 4.3.2. Die hierfür einsetzbaren technischen Klassen sind in Tabelle 3.7.1 aufgeführt. Die Tabelle gibt aber keine Auskunft über deren Eignung bei erhöhter Oberflächenfeuchte aufgrund o.g. ungünstiger Randbedingungen. Deshalb sind bei der Auswahl der Holzwerkstoffe neben der technischen Klasse auch die verwendete Holzart sowie die Beschaffenheit und Dicke der Deckfurniere zu berücksichtigen.

Die Empfindlichkeit gegenüber Verfärbungen durch Bläue oder Schimmelbefall korreliert mit der Dauerhaftigkeit der Holzarten (siehe DIN EN 350-2), wobei Splintholz als nicht dauerhaft einzustufen ist. Bei dünnen Decklagen aus Furnieren kann es bei Feuchteeinwirkung zu einer Anreicherung von Feuchtigkeit in der Oberfläche kommen, wohingegen sich bei den dickeren Brettlagen von Massivholzplatten oder

bei Massivholzsystemen (z.B. Brettsperholz) Oberflächenfeuchte besser im dickeren Querschnitt verteilen kann. Besonders gefährdet sind Platten aus Schäl furnieren (BFU oder LVL) aufgrund ihrer produktionsbedingten Mikrorisse, die den Zugang von Holzinhaltstoffen zur Oberfläche erleichtern. Im Besonderen haben sich Seekieferplatten aufgrund ihres hohen Frühholzanteils als schimmelpilzanfällig erwiesen.

Weiterhin hat der pH-Wert auf der Plattenoberfläche Einfluss auf die Befallswahrscheinlichkeit. Oberflächen im alkalischen Bereich wie z.B. von zementgebundenen Spanplatten sind weniger schimmelpilzempfindlich als pH-neutrale oder saure Oberflächen. Der Einfluss der Verleimungsart der Platten ist dagegen von untergeordneter Bedeutung. In der Vergangenheit waren phenolharzverleimte Platten aufgrund ihrer höheren Ausgleichsfeuchte einer größeren Gefährdung ausgesetzt, was bei den heutigen Produkten nicht mehr festzustellen ist. Eine Hilfestellung zur Auswahl geeigneter Holzwerkstoffe enthält Tabelle 7.2.

Teilweise noch im Handel befindliche chemisch geschützte Holzwerkstoffe (ehemals Holzwerkstoffklasse 100 G) sind keine wirksame Maßnahme gegen Schimmelbefall. Ihr Einsatz ist zudem wegen der sich aus den Holzschutzmitteln ergebenden Probleme hinsichtlich der Rückführung in den Stoffkreislauf (Recycling) problematisch und deshalb zu vermeiden.

Ausführliche Informationen zu Holzschutz und Gebrauchsklassen im Informationsdienst HOLZ „Holzschutz bauliche Maßnahmen“ (hh 5/2/2) [04]

Hinweise zum Thema Schimmelpilzbildung an Dachüberständen, Dachräumen und Fassaden und zu dessen Beseitigung enthält das Merkblatt „Schimmelpilze auf Holz und Holzwerkstoffen“ [MBS]

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 [19]. Hierbei handelt es sich üblicherweise um deckende oder lasierende, diffusionshemmende Dickbeschichtungen. Massivholzplatten und andere Massivholzsysteme sind dagegen wie gering maßhaltige Bauteile vorzugsweise mit dünn-schichtigen Anstrichsystemen zu versehen. Zum Schutz gegen Bläuebefall muss bei lasierenden Anstrichen vorab ein Bläueschutzgrund aufgebracht werden, bei hellen Anstrichen ist zusätzlich ein Sperrgrund gegen das Durchschlagen von Inhaltsstoffen aufzubringen. Um einen wirksamen Schutz bei hellen Beschichtungen gegen Schimmelpilze zu bewirken, können Deck-

beschichtungen mit schimmelpilzhemmenden Inhaltsstoffen (fungizide Ausrüstung) ausgerüstet werden. Diese Wirkstoffe verflüchtigen sich jedoch im Laufe einiger Jahre, so dass sie allein keinen dauerhaften Schutz vor Verfärbungen bieten und somit baukonstruktive Maßnahmen (z.B. Überdämmung) einhergehen müssen. Die Bauherrschaft ist entsprechend zu beraten. Im Ausnahmefall zu verwendende biozide oder fungizide Schutzmaßnahmen sind vertraglich zu vereinbaren.

Die Anwendung der Anstriche erfolgt entsprechend den Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller bzw. gemäß Merkblatt des Bundesverbandes Farbe und Sachwertschutz [20]. Es wird empfohlen abgetönte Farben weißen 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.

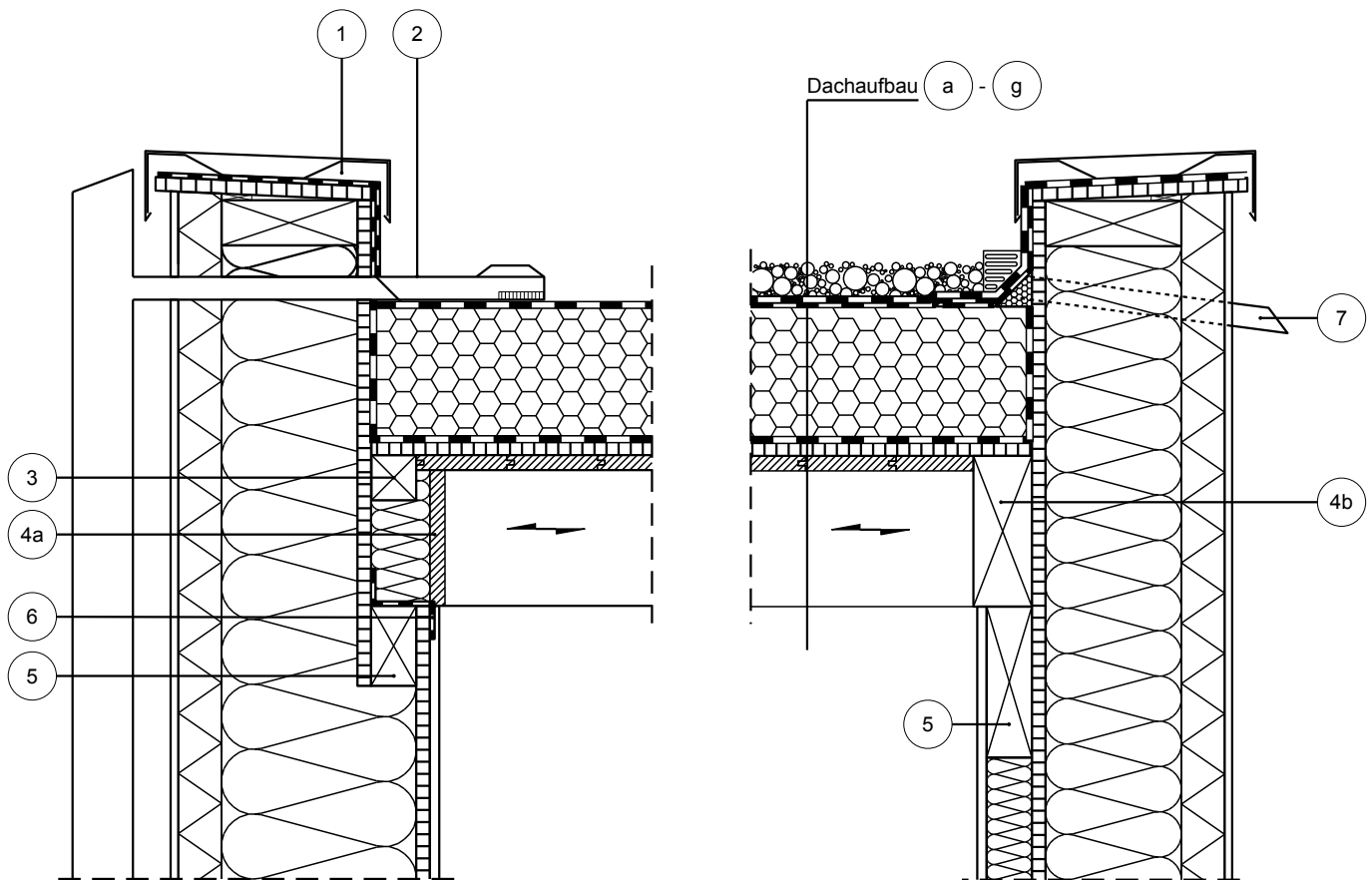
Tab. 7.2 Eignung von Holz und Holzwerkstoffen (NKL 2) für die Ausbildung von Dachüberständen und Dachuntersichten

MATERIAL	+/- ¹⁾	BEMERKUNG
Vollholzschalung oder Massivholzplatte Fichte / Tanne	+	Massivholzplatten mit Decklagen > 7 mm der Erscheinungsklasse 0/A gemäß DIN EN 13 017-1
Vollholzschalung oder Massivholzplatte Lärche / Douglasie	++	Oberflächenbeschichtung für nicht maßhaltige Bauteile vorsehen
Massivholzbauteile	++	Fichte/Tanne im Regelfall geeignet, Oberflächenbeschichtung für nicht maßhaltige Bauteile vorsehen
Zementgebundene Spanplatte	++	pH-Wert günstig, geeigneten Sperrgrund gegen Zementschleiereffekt vorsehen
Furnierschichtholz (Fichte)	o	Schäl furniere kritisch, möglich bei guter Oberflächenqualität mit geeigneter Oberflächenbeschichtung und Überdämmung
OSB	o	Anwendung bei feuchteunempfindlicher PMDI-Verklebung in Verbindung mit geeigneter Beschichtung und Überdämmung möglich
Sperrholz: nordische Fichte	o	Schäl furniere kritisch, möglich bei guter Oberflächenqualität mit geeigneter Oberflächenbeschichtung und Aufdachdämmung
Sperrholz: Seekieferplatten	--	Holzarten wegen hohem Frühholzanteil nicht dauerhaft; meist Schäl furniere u. kritische Inhaltsstoffe
Sperrholz: Birke, Buche (Multiplex)	--	Holzarten für Außenbereich ungeeignet; meist Schäl furniere und kritische Inhaltsstoffe

¹⁾ -- nicht geeignet - kaum geeignet o bedingt geeignet + geeignet ++ gut geeignet

8_ Anschlussdetails

8.1 _ Attikaanschluss Aufdachdämmung (Typ I)



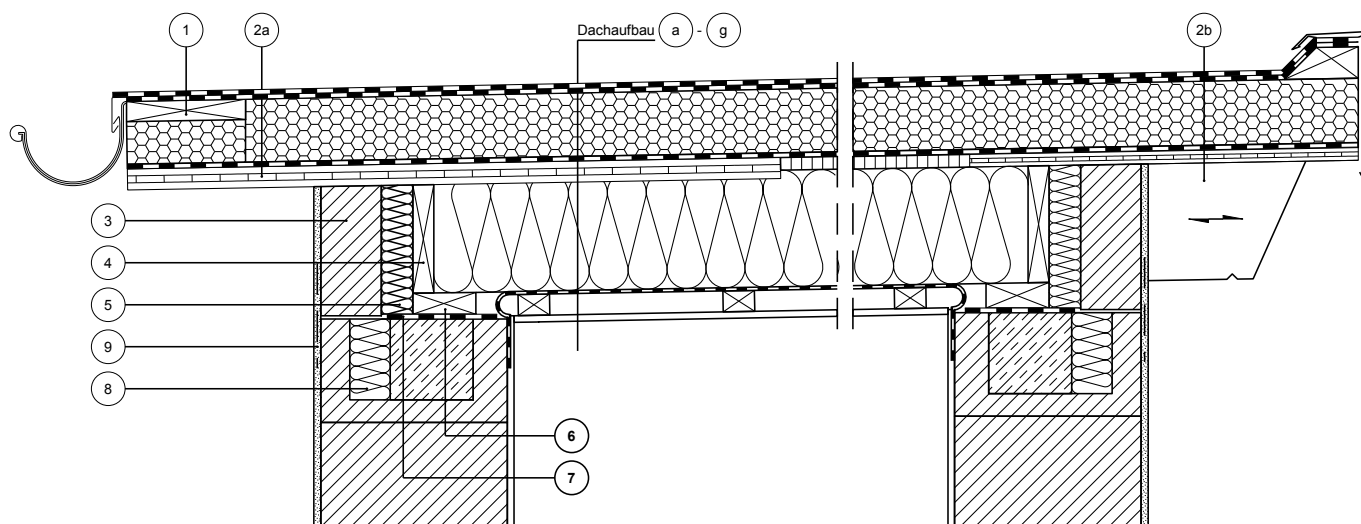
Dachaufbau (von oben)

- a Schutzschicht Kies oder extensive Begrünung (optional)
- b Dachabdichtungsbahn bis über Attika führen
- c Aufdachdämmung Typ DAA, druckfest, als Gefälledämmung DN 2 %
- d Behelfsabdichtung, bis OK Attika hochführen und fixieren
- e OSB/2 bzw. -3 zur Scheibenausbildung nach Statik
- f Sichtschalung N+F, d = 16 mm
- g Deckenbalken als KVH oder DUO/TRIO-Balken, C24

Detailpunkte

- 1 Blechabdeckung auf Trennlage im Gefälle $\geq 2\%$ auf OSB-Schalung
- 2 Entwässerungselement, Durchdringung mit Manschette abgedichtet
- 3 Gurtholz KVH 60/60 mm, als Zug- und Druckgurt (Dachscheibe)
- 4a Stellbohle in Deckenbalken 5 mm einnuten und ausdämmen
- 4b Alternative rechts: Große Stellbohle zwischen den Deckenbalken
- 5 Lagerholz ca. 60/100 mm als Auflager bzw. Randbohle $> 60/200$ mm bei Installationsebene
- 6 Luftdichtung mit Folienstreifen ergänzt
- 7 Notablauf

8.2 _ Dachüberstand Flachdach an Massivbau (Typ II)



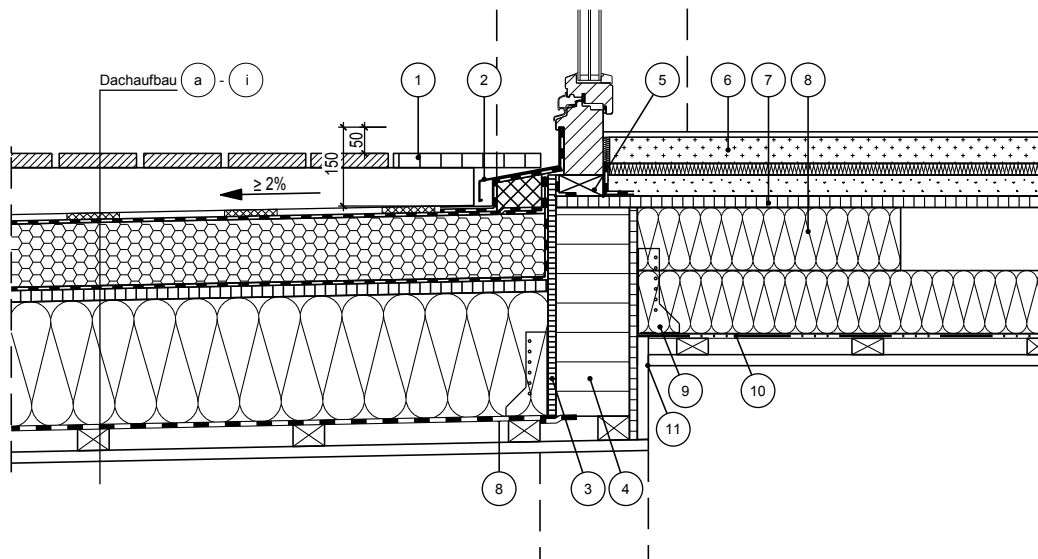
Dachaufbau (von oben)

- a Dachabdichtung, ggf. Metalldachdeckung
- b Aufdachdämmung als Überdämmung, Typ DAA, druckfest
- c Behelfsabdichtung, am Rand durchlaufend
- d Massivholzplatte, $d = 40$ mm, bzw. OSB/3, $d = 22$ mm, als tragende Dachschalung
- e Faserdämmstoff (voll ausgedämmt)
- f Dampfbremse (feuchtevariabel), luftdicht angeschlossen
- g Bekleidung, z.B. Gipskarton auf Unterkonstruktion

Detailpunkte

- 1 Randholz KVH mit Einlaufblech
- 2a Massivholzplatte (SWP/2), statisch tragend
- 2b Ausragender Dachsparren (alternativ)
- 3 Ausmauerung zwischen Sparren
- 4 Randbohle KVH als Druck- bzw. Zuggurt
- 5 Dämmstreifen MiFa, $d = 40$ mm
- 6 Schwellholz KVH (Befestigung und Höhenausgleich)
- 7 Bitumenbahn als Feuchtesperre zum Massivbau
- 8 Ringanker mit Wärmedämmung
- 9 Armierungsgewebe zur Vermeidung von Rissbildung

8.3 _ Dachterrasse Holzbau (Typ II)



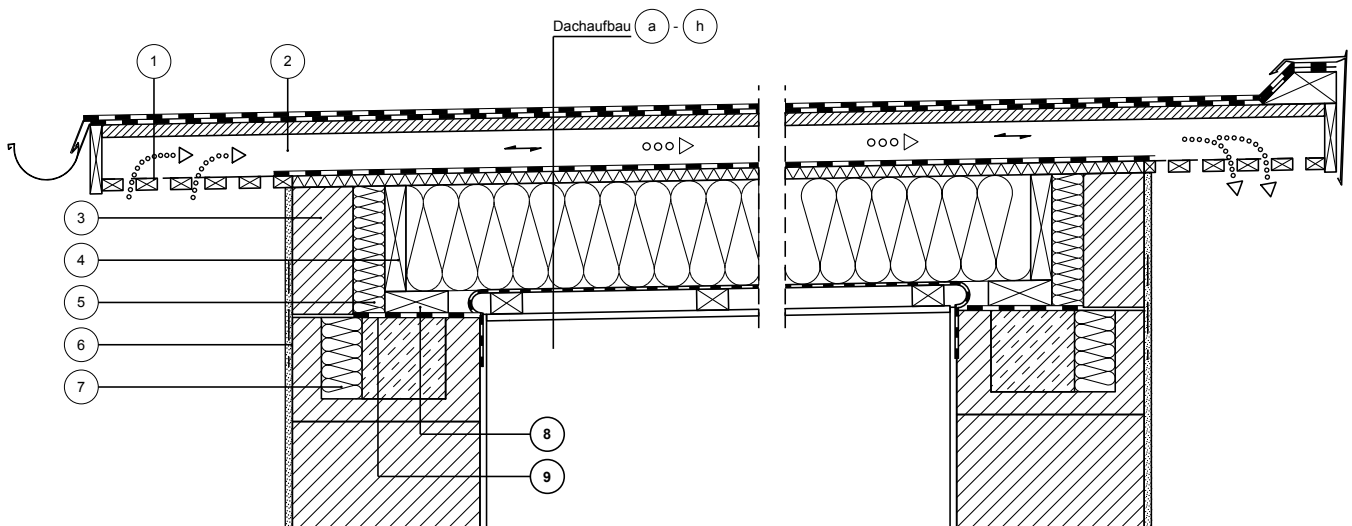
Dachaufbau (von oben)

- a Terrassenbelag auf Lücke gem. Fachregel [FR 02]
- b Unterkonstruktion konisch auf Bautenschutzstreifen, NH C24 (Lärche/Douglasie-Kernholz)
- c Abdichtung bis auf Fensterrahmen geführt und verwahrt
- d Überdämmung Typ DAA, druckfest und im Gefälle (mind. 2 %)
- e Bauzeiten- bzw. Behelfabdichtung, hochgeführt
- f Dachschalung, z.B. OSB/3
- g Faserdämmstoff (voll ausgedämmt)
- h Dampfbremse (feuchtevariabel) an Nr. 3 angeschlossen
- i Bekleidung, z.B. Gipskarton auf Unterkonstruktion

Detailpunkte

- 1 Gitterrost, b = 300 mm, auf UK befestigt
- 2 Wasserleitprofil, evtl. Fensterbank
- 3 Zementgebundene Spanplatte (12 mm) als Abdichtungsuntergrund und trennendes, luftdichtes Bauteil
- 4 Brettschichtholz (BSH)
- 5 Unterfütterung Fenstertür und luftdichter Anschluss
- 6 Estrich auf Trittschalldämmung mit Randdämmstreifen
- 7 Deckenschalung, z.B. OSB/3 mit BSH verbunden
- 8 Volldämmung im Deckenrandbereich (b = 500 mm)
- 9 Deckenbalken mit Balkenschuh angeschlossen
- 10 Rieselschutz
- 11 GKB-Anschluss mit Trennfuge

8.4 _ Belüftetes Flachdach (Typ IV)



Dachaufbau (von oben)

- a Dachabdichtung oder Metaldachdeckung
- b Vollholzschalung in der Dachfläche, $d \geq 24$ mm, NH C24
- c Unterkonstruktion, KVH C24, $d \geq 80$ mm
- d Unterdeckbahn diffusionsoffen, $s_d \leq 0,1$ m
- e Unterdeckplatte, diffusionsoffen, $s_d \leq 0,2$ m
- f Faserdämmstoff (voll ausgedämmt)
- g Dampfbremse, $s_d \geq 2$ m, luftdicht verklebt
- h Bekleidung, z.B. Gipskarton auf Unterkonstruktion

Detailpunkte

- 1 Lückenschalung mit Belüftungsschlitzen, ggf. mit Gaze hinterlegt
- 2 Auskragende Unterkonstruktion aus KVH
- 3 Aufmauerung
- 4 Randbalken KVH C24 (Scheibenausbildung)
- 5 Randdämmung
- 6 Armierungsgewebe zur Rissesicherung
- 7 Ringanker
- 8 Unterfütterung zum Höhenausgleich aus KVH
- 9 Feuchteschutzbahn

9_ Glossar

Nachfolgend werden die wichtigsten im Text kursiv gestellten Fachbegriffe in alphabetischer Reihenfolge erläutert. Weitere Begriffserläuterungen finden sich in den entsprechenden Regelwerken.

(Dach-) **Abdichtungen** schützen das Bauwerk vor Niederschlagswasser. Zu einer Dachabdichtung gehören auch alle Anschlüsse, Abschlüsse, Durchdringungen und Fugenausbildungen sowie Dachabläufe und Überlauföffnungen. Abdichtungsmaterialien und die Ausführung von Dachabdichtungen für genutzte und nicht genutzte Dachflächen sind in DIN 18531 geregelt. Es wird zwischen lose verlegten (mechanisch befestigte oder mit Auflast) und verklebten Abdichtungen unterschieden.

Bauzeit- und Behelfsabdichtungen sind Maßnahmen, die das Bauwerk vor Bewitterung während der Bauphase schützen sollen. Für Holzkonstruktionen ist eine solche Maßnahme erforderlich. Bauzeit und Behelfsabdichtungen sind so auszuführen, dass Wasser in der Bauzeit sicher und kontrolliert abgeleitet wird. Sie sollen eine ausreichende Robustheit aufweisen und übernehmen später innerhalb der Konstruktion die Funktion einer Diffusionssperre bzw. -dichtung.

Belüftete Flachdächer enthalten eine bewegte Luftschicht im Dachaufbau, die mit der Außenluft über geplante Bauteilöffnungen in Kontakt steht und vorwiegend dem Feuchteabtransport dient.

Nicht belüftete Flachdächer haben keine bewegten Luftschichten in ihrem Aufbau und sind i.d.R. voll ausgedämmt. Die Wärmedämmung kann zwischen der Tragkonstruktion (Typ III), darüber (Typ I) oder kombiniert (Typ II) angeordnet sein.

Dampfdiffusion ist der Feuchtetransport durch Molekülwanderung durch eine Schicht oder

Bauteil, verursacht durch den Unterschied der Menge der Wassergasmoleküle in den das Bauteil umgebenden Luftschichten. In der Regel liegt im Winter außen eine geringere Menge an Wassergasmolekülen/pro Kubikmeter Luft vor als innen. Dadurch entsteht ein „Dampfdruckgefälle“ von der Raumseite nach außen, bei Erwärmung der Dachoberseite infolge Sonneneinstrahlung kehrt sich die Richtung um. Durch diese Umkehrdiffusion oder Rückdiffusion funktionieren Flachdächer des Typs II und III, um die im Bauteil eindiffundierete Feuchtigkeit zur Raumseite hin austrocknen zu können.

Die **diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (s_d -Wert)** 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]. Die DIN 4108-3 differenziert wie folgt:

Definition zur Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 4108-3

Begriff	s_d -Wert (Bereich)
diffusionsoffen	$s_d \leq 0,5$ m
diffusionsbremsend	$0,5 < s_d \leq 10$ m
diffusionshemmend	$10 < s_d < 100$ m
diffusionssperrend	$100 \leq s_d < 1.500$ m
diffusionsdicht	$s_d \geq 1.500$ m

Dampfbremsen und **Dampfsperren** werden als Funktionsschicht zur Begrenzung des Feuchteintrags durch Dampfdiffusion auf ein für die Konstruktion unkritisches Maß eingesetzt. Zu unterscheiden ist dabei die Wirkung der Dampfbremse hinsichtlich ihres Diffusionswiderstandes (s_d -Wert), vgl. Tabelle oben.

Feuchtevariable Dampfbremsen (feuchtead-aktiv) sind dadurch gekennzeichnet, dass sich ihr Dampfdiffusionswiderstand in Abhängigkeit der Umgebungsluftfeuchte verändert. Bei trockenem Raumklima liegen diffusionsbremsende bzw. diffusionshemmende Eigenschaften vor, bei feuchtem Klima eher diffusionsoffene bzw. leicht diffusionsbremsend.

Feuchteschutz umfasst im Holzbau alle baulichen Maßnahmen um Holzkonstruktionen vor unzuträglicher Feuchteeinwirkung durch äußere und nutzungsbedingte Einflüsse zu schützen. Zwischen dem Feuchteschutz, dem Wärmeschutz und dem Holzschutz besteht ein direkter Zusammenhang. Maßnahmen zum Feuchteschutz verhindern eine Verminderung der Wärmedämmwirkung und sorgen dafür, dass keine Schäden an der Holzkonstruktion entstehen, die aus einer dauerhaften Erhöhung der Holzfeuchte und dann nachfolgendem holzzerstörenden Pilzbefall resultieren können.

Feuchteeintrag (unplanmäßig) bezeichnet die Feuchte, welche infolge unvorhergesehener Ereignisse zu einer Feuchteerhöhung von Holzbauteilen führt. Ursachen können Bewitterung während der Bauphase, erhöhte Baufeuchte, konvektiver Feuchteeintrag durch Undichtigkeiten der Innenseite der Gebäudehülle oder Undichtigkeiten der Abdichtung sein.

Flachdächer sind Dachkonstruktionen mit geringer Dachneigung, die über die gesamte Dachfläche eine wasserundurchlässige Abdichtung aufweisen. Nach DIN 68800-2 gelten folgende Definitionen in Abhängigkeit der Dachneigung (DN):

Flachdach:	$DN \geq 2\%$ und $\leq 5\%$ (3°)
Flach geneigt:	$DN > 3^\circ$ und $\leq 5^\circ$
Geneigtes Dach	$DN > 5^\circ$ (mind. 10 %)

Dachneigungen unter 2 % sollten im Holzbau die Ausnahme bleiben. Ihre Ausführung ist mit dem Auftraggeber gesondert zu vereinbaren.

Es wird zwischen **genutzten** und **nicht genutzten Flachdächern** unterschieden. Nicht genutzte Dächer sind Dachflächen, die nur zum Zwecke der Pflege, Wartung und allgemeinen Instandhaltung begangen werden sowie Dachflächen mit extensiver Begrünung. Genutzte Dächer sind planmäßig begehbare Dachflächen wie Dachterrassen, Loggien, Gehwege auf begrüntem Dachern oder Dächer mit aufgebrachten Solaranlagen oder haustechnischen Anlagen sowie intensiv begrünte Dächer.

Gebrauchsklasse (GK) klassifiziert gemäß DIN 68800-1 die gegebene Einbausituation der Holzbauteile im Hinblick auf das resultierende Schädigungsrisiko. Wichtiges Kriterium ist hierbei die Holzfeuchte, die sich unter ungünstigen Bedingungen im bzw. auf dem Bauteil ergeben kann. In der **GK 0** ist das Befalls bzw. Schadensrisiko durch holzzerstörende Insekten oder Pilze so gering bzw. auszuschließen, dass keine Notwendigkeit für vorbeugende chemische Holzschutzmaßnahmen nach DIN 68800-3 vorliegt. Die Einstufung in die GK 0 ist das Ziel baulicher Holzschutzmaßnahmen.

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.

(Bauliche) **Holzschutzmaßnahmen** sind vorbeugende konstruktive oder bauphysikalische Maßnahmen zur Vermeidung einer unzuträglichen Veränderung des Feuchtegehalts von Holz und Holzwerkstoffen. Grundsätzliche bauliche Maßnahmen sind hierbei in jedem Fall vorzunehmen. Besondere bauliche Maßnahmen ermöglichen es Holzbauteile in die Gebrauchsklasse GK 0 einzustufen, wenn dies allein anhand der grundsätzlichen Maßnahmen nicht möglich ist. Hierzu zählen die technische Trocknung, besondere Konstruktionsprinzipien sowie besondere rechnerische Nachweise des Tauwasserschutzes.

Holzfeuchte ist das wichtigste Kriterium für die Befallswahrscheinlichkeit von Holzprodukten durch holzerstörende Pilze. Maßgebend hierfür ist die massenbezogene Holzfeuchte u_m , d.h. das Verhältnis des im Holz vorhandenen Wassergewichts zum Gewicht des Holzes im darrtrockenen Zustand. Bis 20 % Holzfeuchte wird von trockenem Holz gesprochen, welches keiner Gefährdung ausgesetzt ist.

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.

Luftdichtheitschichten 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 Lüftungswärmeverluste und somit Energieverluste zu minimieren. Gebräuchliche Materialien zur Herstellung der Luftdichtung sind Holzwerkstoff- und Gipsbauplatten sowie spezielle Baupappen, Folien und Vliesbahnen mit den zugehörigen Verklebungen oder Putze. Die Luftdichtheitsebene sollte, solange sie noch zugänglich ist, mit einem baubegleitenden BlowerDoorTest (Luftdichtheitsmessung) überprüft werden. Raumseitig der Dämmschicht angeordnete Luftdichtheitschichten übernehmen meist gleichzeitig die Funktion der diffusionshemmenden Ebene.

Die Qualität der Luftdurchlässigkeit eines Bauteils wird mit dem sogenannten **q_{50} -Wert** ausgedrückt. Er beschreibt den mittleren Leckagestrom, der bei einem Prüfdruckunterschied von 50 Pa in einer Stunde durch einen Quadratmeter Bauteil strömt. Die Einheit ist $m^3/(m^2 \cdot h)$.

Die **Nutzungsklassen (NKL)** definieren sich nach den klimatischen Bedingungen, denen die Holzbauteile in der späteren Nutzung ausgesetzt werden:

NKL 1: $T = 20^\circ C$, max. 65 % rel. Luftfeuchte

NKL 2: $T = 20^\circ C$, max. 85 % rel. Luftfeuchte

NKL 3: Außenbereich bzw. höhere Feuchten

Entsprechend den Nutzungsklassen werden die zulässigen Anwendungsbereiche von Holz und Holzwerkstoffen geregelt und ihre Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften für die Bemessung modifiziert.

s_d -Wert → diffusionsäquivalente Luftschichtdicke

Sekundärtauwasser entsteht wenn die Luftfeuchte in einem Belüftungsraum eines Dachaufbaus an der kalten Unterseite der Dachschalung kondensiert. Die Dachschalung kann insbesondere durch die nächtliche Wärmeabstrahlung unterkühlen oder durch Deckschichten (bspw. Dachbegrünung) längere Zeit kühl bleiben.

Zu den **Sonderkonstruktionen** zählen im Holzbau Bauweisen, die nur über eine geringe Fehler-toleranz verfügen, z.B. Flachdächer Typ III oder Null-Gefälle-Dächer. Die Planung von Sonderkonstruktionen verlangt Kompensationsmaßnahmen und kann nur im Ausnahmefall nach sorgfältiger Abwägung möglicher Folgen in Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgen. Empfehlenswert sind besondere technische Maßnahmen zur Überwachung ihrer Funktionstüchtigkeit. Sonderkonstruktionen zählen nicht zu den Ausführungen nach den anerkannten Regeln der Technik, sie können bei sorgfältiger Planung jedoch dem Stand der Technik zugeordnet werden.

Als **Stand der Technik** wird im Bauwesen der Entwicklungsstand einer Planung bzw. 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 Planungen bzw. Ausführungen gemäß den **anerkannten Regeln der Technik** vertraglich geschuldet sind. Ausführungen nach dem Stand der Technik sind aber möglich, sonst gäbe es keinen Bau-fortschritt. Sie sind jedoch nach Rücksprache mit dem Auftraggeber gesondert vertraglich zu vereinbaren.

Tauwasser bezeichnet die Feuchtigkeit, die aufgrund Abkühlung der Luft (Überschreiten des Wasserdampfsättigungsdrucks) z.B. an kalten Bauteiloberflächen ausfällt. Zu unterscheiden sind Primärtauwasser und → **Sekundärtauwasser**. Primärtauwasser bedeutet Tauwasserausfall aufgrund Wasserdampfbelastung infolge Diffusion oder Konvektion.

Trocknungsreserve bezeichnet die rechnerisch verbleibende Verdunstungsmenge welche sich aus der Bilanz aus Verdunstungsmenge und Tauwasser-menge ergibt. Sie ist eine maßgebende Größe für die Einschätzung der Robustheit von beidseitig geschlossenen Bauteilen die sicherstellt, dass auch unplanmäßige Feuchteinträge noch sicher austrocknen.

Winddichtheitsschichten verhindern das Durchströmen der äußeren Dämmschichten sowie die Hinterlüftung der Dämmebene mit kalter Außenluft. Die Winddichtheit gewährleistet die Wirksamkeit der Wärmedämmung und verhindert eine lokale Abkühlung der raumseitigen Oberflächen. Bei belüfteten Konstruktionen mit unterlüfteter Dachabdichtung bietet die Winddichtheitsebene als Unterdeckbahn eine zusätzliche Sicherheit gegen abtropfendes Sekundärtauwasser.

10 _ Regelwerke, Literatur

10.1 _ Technische Baubestimmungen

Nachfolgend sind die Normen aufgeführt, auf welche sich die Inhalte der Schrift beziehen. Reine Produktnormen werden aus Platzgründen nicht aufgelistet. Bezeichnungen und Ausgabedatum beziehen sich auf den Stand der Drucklegung. Normen befinden sich im Alleinvertrieb des Beuth-Verlags, Berlin – www.beuth.de.

Deutsche Normen (DIN)

- DIN 1986-100:2016-12: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056
- DIN 4074-1:2012-06: Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschnittholz
- DIN 4102-4:2016-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile
- DIN 4102-7:2018-11: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 7: Bedachungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- DIN 4108-2:2003-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 4108-3:2018-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung
- DIN 4108-4:2017-03: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte
- DIN 4108-7:2011-01: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- DIN 4108-10:2015-12: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe
- DIN 4109-1:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen
- DIN 4109-2:2018-01 Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
- DIN 4109-33:2016-07: Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau
- DIN 4109 Beiblatt 1:1989-11: Schallschutz im Hochbau; Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren
- DIN 18195:2017-07: Abdichtung von Bauwerken – Begriffe
- DIN 18234-1:2018-05: Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer – Brandbeanspruchung von unten – Teil 1: Geschlossene Dachflächen – Anforderungen und Prüfungen
- DIN 18234-2:2018-05: Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer, Brandbeanspruchung von unten – Teil 2: Verzeichnis von Dächern, welche die Anforderungen nach DIN 18 234-1 erfüllen – Dachflächen
- DIN 18234-4:2018-05: Baulicher Brandschutz großflächiger Dächer, Brandbeanspruchung von unten – Teil 4: Verzeichnis von Durchdringungen, Anschlüssen und Abschlüssen, welche ohne weiteren Nachweis die Anforderungen nach DIN 18234-3 erfüllen
- VOB ATV DIN 18334:2016-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Zimmer- und Holzbauarbeiten
- DIN 18531-1:2017-07: Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 1: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze
- DIN 18531-2:2017-07: Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 2: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Stoffe
- DIN 18531-3:2017-07: Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 3: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Auswahl, Ausführung und Details
- DIN 18531-4:2017-07: Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 4: Wartung und Instandhaltung
- DIN 18531-5:2017-07: Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 5: Balkone, Loggien, Laubengänge

- DIN 20000-1:2017-06: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 1: Holzwerkstoffe
- DIN 68800-1:2011-10: Holzschutz – Teil 1: Allgemeines
- DIN 68800-2:2012-02: Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau

Harmonisierte europäische Normen (DIN EN)

- DIN EN 338:2016-07: Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen
- DIN EN 350:2016-12: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff
- DIN EN 1995-1-1:2010-12, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau mit Änderungen A1 (2008) und A2 (2014)
- DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08, Nationaler Anhang – national festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- DIN EN 1995-1-2:2010-12, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- DIN EN 1995-1-2/NA:2010-12, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten Teil 1-2: Allgemeine Regeln Tragwerksbemessung für den Brandfall
- DIN EN 13986:2015-06: Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung
- DIN EN 15026:2007-07: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation

10.2 _ Gesetze, Verordnungen, Richtlinien

- [EnEV] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), zuletzt geändert in 11/2013
- [MBO] Musterbauordnung (MBO), Fassung 11/2002, zuletzt geändert in 5/2016 – www.is-argebau.de

[M IndbauRL] Musterrichtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Muster Industriebaurichtlinie – MIndbauRL), Fassung 07/2014 – www.is-argebau.de

[MVStättVO] Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster Versammlungsstättenverordnung – MVStättV); Fassung Juni 2005, zuletzt geändert in 07/2014 – www.is-argebau.de

[MTB] Musterliste der technischen Baubestimmungen, zur Drucklegung Fassung 6/2015 – www.is-argebau.de

[MVB TB] Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVB TB), Ausgabe 09/2018

[ME BbD] Mustererlass der ARGEBAU „Brandverhalten begrünter Dächer“ vom Juni 1989

10.3 _ Fachregeln und Merkblätter

Fachregeln und Merkblätter des Zimmererhandwerks

herausgegeben von Holzbau Deutschland – Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes – www.holzbau-deutschland.de

[FR02] Fachregel 02: Balkone und Terrassen, Ausgabe 12/2015

[MBS] Merkblatt Schimmelpilze auf Holz und Holzwerkstoffen, Ausgabe 09/2010

Regeln des Deutschen Dachdeckerhandwerks

herausgegeben vom Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) – Fachverband Dach, Wand und Abdichtungstechnik e.V. – www.dachdecker-regelwerk.de

[FDR] Fachregel für Abdichtungen – Flachdachrichtlinie, Ausgabe Dezember 2016

[HHH] Hinweise Holz und Holzwerkstoffe, Ausgabe Januar 2015 (ZVDH)

[MBW] Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand, Ausgabe April 2018

Fachregeln des Klempnerhandwerks

herausgegeben vom Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK) – www.zvshk.de

[KFR] Richtlinien für die Ausführung von Klempnerarbeiten an Dach und Fassade (Klempnerfachregeln), Ausgabe 3/2016

Merkblätter der Technischen Kommission Flachdach (CH) –
www.gh-schweiz.ch

[TKF1] Feuchteschutz bei Flachdächern in Holzbauweise;
 Fassung 2/2007

[TKF2] Vordächer in Holz; Fassung 8/2012

Merkblattreihe der Wissenschaftlich-technischen Arbeitsgemein-
 schaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (Hrsg.) –
www.wta.de

[WTA 6-1] Merkblatt 6-1: Leitfaden für die hygrothermische
 Simulation, IRB Verlag, München 2001 (wird gerade
 überarbeitet)

[WTA 6-2] Merkblatt 6-2: Simulation wärme- und feuchtetechnischer
 Prozesse, IRB Verlag, München 2014

[WTA 6-8] Merkblatt 6-8: Feuchtetechnische Bewertung von
 Holzbauteilen – Vereinfachte Nachweise und Simula-
 tion, IRB-Verlag, München 2016

10.4 _ Fachliteratur

[01] Schmidt, D.; Winter, S. (2008): INFORMATIONSDIENST
 HOLZ spezial: Flachdächer in Holzbauweise, 10/2008 –
 Holzabsatzfonds Bonn

[02] Oswald, R.; Zöller, M.; Spilker, R.; Sous, S. (2014): Zuver-
 lässigkeit von Holzdachkonstruktionen ohne Unterlüftung
 der Abdichtungs- und Decklage, Abschlussbericht 03/2014,
 Aachener Institut für Bauschadensforschung und ange-
 wandte Bauphysik gGmbH, Aachen – www.aibau.de

[03] Marutzky, R.; Willeitner, H.; Radovic, B.; Hertel, H.; Grosser,
 D. (2013): Holzschutz – Praxiskommentar zu DIN 68800
 Teile 1 bis 4 – Beuth-Verlag, Berlin

[04] Schmidt, D. (2015): INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau
 handbuch Reihe 5, Teil 2, Folge 2 „Holzschutz Bauliche
 Maßnahmen“, Holzbau Deutschland-Institut e.V., Berlin,
 12/2015

[05] Hubweber, C. Schmidt, D.; Schopbach, H.; Wagner, G.;
 Zeitter, H. (2015): INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau
 handbuch Reihe 1, Teil 1, Folge 7 „Holzrahmenbau“,
 Informationsverein Holz e.V. 02/2015

[06] Stiegel, H.; Hauser, G. (2007): INFORMATIONSDIENST
 HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 2, Folge 6
 „Wärmebrücken“, Holzabsatzfonds, Bonn

[07] Otto, F.; Ringeler, M. (2004): INFORMATIONSDIENST HOLZ,
 holzbau handbuch Reihe 1, Teil 1, Folge 8 „Funktions-
 schichten und Anschlüsse im Holzhausbau“ Holzabsatz-
 fonds, Bonn, und DGfH Innovations- und Service GmbH,
 München

[08] Holtz, F.; Hessinger, J.; Rabold, A.; Buschbacher, H.P. (2004):
 INFORMATIONSDIENST HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3,
 Teil 3, Folge 4 „Schallschutz Wände und Dächer“
 Holzabsatzfonds, Bonn und DGfH Innovations- und Service
 GmbH, München

[09] Châteaueux-Hellwig C., Bacher, S., Rabold, A. (2018):
 Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise – Luft- und
 Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen,
 Forschungsprojekt ift Rosenheim

[10] Winter, S.; Schopbach, H. (2004): INFORMATIONSDIENST
 HOLZ, holzbau handbuch Reihe 3, Teil 4, Folge 4 „Brand-
 schutz im Hallenbau“ Holzabsatzfonds, Bonn

[11] Kruse, D.; Dehne, M. (2019): INFORMATIONSDIENST HOLZ,
 holzbau handbuch Reihe 3, Teil 5, Folge 1 „Brandschutz-
 konzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockun-
 gen“; Holzbau Deutschland-Institut e.V., Berlin, 01/2019

[12] Roßbach, S. (2007): „Feuchteberechnung von Flachdächern
 in Holzbauweise“; Diplomarbeit an der Fachhochschule
 Biberach

[13] Teibinger, M.; Nusser, B. (2010): Flachgeneigte Dächer aus
 Holz – Planungsbrochure, Holzforschung Austria –
www.holzforschung.at

[14] Borsch-Laaks, R.; Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek,
 B. (2009): Trocknungsreserven schaffen! Konstruktionen
 und ihre Beurteilung mittels Glaserverfahren, Beitrag zur
 30. AIVC Konferenz

[15] Zirkelbach, D.; Künzel, H.M.; Schafaczek, B.; Borsch-Laaks,
 R. (2009): Dampfkonnektion wird berechenbar – Instationä-
 res Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchte-
 eintrag bei der Simulation von Leichbaukonstruktionen,
 Beitrag zur 30. AIVC Konferenz

[16] Künzel, H.M., Zirkelbach, D. (2006): Feuchteschutzbeurteilung
 von Holzkonstruktionen durch ein- oder zweidimensionale
 Simulation? Beitrag im WTA Almanach 2006, Eigenverlag,
 München

- [17] Schafaczek, B., Zirkelbach D. (2013): Fraunhofer Institut für Bauphysik, Forschungsvorhaben: Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparemtern von Dachbegrünungen zur zuverlässigen Simulation der hygromischen Verhältnisse in und unter Gründächern bei beliebigen Nutzungen und unterschiedlichen Standorten. Eigenverlag, Holzkirchen
- [18] Winter, S.; Schmidt, D.; Schopbach, H. (2004): Schimmelpilzbildung bei Dachüberständen und an Holzkonstruktionen; Bauforschung für die Praxis, Band 66: Fraunhofer IRB Verlag
- [19] Böttcher, P. (1999): „Anstriche für Holz und Holzwerkstoffe im Außenbereich“ in INFORMATIONSDIENST HOLZ, Holzabsatzfonds, Bonn
- [20] BFS-Merkblatt Nr. 18 (2006): „Beschichtungen auf Holz und Holzwerkstoffen im Außenbereich“; Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz, Frankfurt – www.farbe-bfs.de
- [21] Borsch-Laaks, R.; Köhnke, E.U.; Schopach, H.; Wagner, G.; Winter, S.; Schmidt, D. (2004): Flaches Dach, aber sicher! Flachdach ohne Belüftung mit Attika, HOLZBAU Heft 06/2004; Kastner-Verlag, Wolnzach
- [22] Borsch-Laaks, R.; Schopach, H.; Wagner, G.; Zeitler, H. (2017): Klare Kante - Holzflachdach mit Holz-Attika auf Massivbau, HOLZBAU Heft 03-2017, Kastner-Verlag, Wolnzach

Anhang

Bauteilaufbauten und Nachweise

Die nachfolgend dargestellten Flachdachaufbauten sollen eine Hilfestellung bei der Entwicklung von objektbezogenen Lösungen bieten. Es handelt sich hierbei um Prinzipdarstellungen, die den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen sind. Darstellungen zur Ausführung von Anschlüssen im Holzhausbau enthalten Kapitel 8 und weitere Schriften des Informationsdienst HOLZ [05] sowie [21], [22]. Die exemplarisch dargestellten Bauteilaufbauten wurden so gewählt, dass eine Einstufung der Tragkonstruktion in die Gebrauchsklasse GK 0, d.h. ein Verzicht auf chemische Holzschutzmaßnahmen erreicht wird.

Die nicht belüfteten Bauteile wurden durch hygrothermische Simulationen berechnet. Für die Berechnungen wurden Randbedingungen angesetzt, die eine praxisnahe Vordimensionierung der

Flachdachkonstruktionen unter Berücksichtigung von Verschattung oder Deckschichten z.B. aus extensiver Begrünung zulassen. Erläuterungen zu den untenstehenden Randbedingungen finden sich in Kapitel 6.3.

Die anderen Bauteile wurden nach DIN 4108-3 berechnet und dabei die Trocknungsreserve von 250 g/m² für Dächer nach DIN 68800-2:2012 berücksichtigt. Die dargestellten Flachdachkonstruktionen werden weiterhin hinsichtlich des Feuerwiderstandes und des Schallschützmaßes nach einschlägigen Normen klassifiziert. Durch Prüfzeugnisse nachgewiesene Bauteilvarianten werden hier nicht berücksichtigt, sie können bei den Herstellern erfragt werden.

Randbedingungen der hygrothermischen Berechnung der nicht belüfteten Flachdächer Typ II + III

Außenklima:

Es wurden Dachaufbauten in zwei unterschiedlichen Klimaregionen in Deutschland betrachtet.

Holzkirchen: Jahresmitteltemperatur 6,5° C

Hamburg: Jahresmitteltemperatur 9,2° C

Die Berechnungsergebnisse sind gültig für Standorte, die wärmere Jahresmitteltemperaturen (JMT) aufweisen als die angegebenen. Für die Ermittlung ist der Zeitraum zwischen 2003 und 2010 oder früher zu berücksichtigen. Zuverlässige Daten finden sich dazu kostenlos beim Deutschen Wetterdienst (www.dwd.de).

Bei niedrigeren Temperaturen gelten die nachfolgenden Ergebnisse nicht. Hier sind weitere hygrothermische Simulationen erforderlich. Bei höheren Temperaturen können geringere Zusatzdämmungen möglich sein.

Innenklima:

Normale Feuchtebelast nach WTA-Merkblatt

6-2 + 5 % (Bemessung)

(35 - 65 % r.F., 20 - 22° C), siehe Abb. 5.3.1

Feuchtequelle:

Luftinfiltrationsmodell nach WTA-Merkblatt

6-2 entweder q₅₀ = 3,0 oder 1,5 m³/m²h

Die Überprüfung der Luftdichtheit inkl.

Leckageortung ist vorgeschrieben [WTA 6-8].

Strahlungsparameter:

besonnt begrünt: a = 0,3 / ε = 0,9

verschattet begrünt: a = 0,21 / ε = 0,9

besonnte Terrasse: a = 0,245 / ε = 0,405

verschattete Terrasse: a = 0,085 / ε = 0,405

Startbedingungen: 20° C / 80 %

Rechnungsbeginn: 1. Oktober

Berechnungszeitraum: 15 Jahre

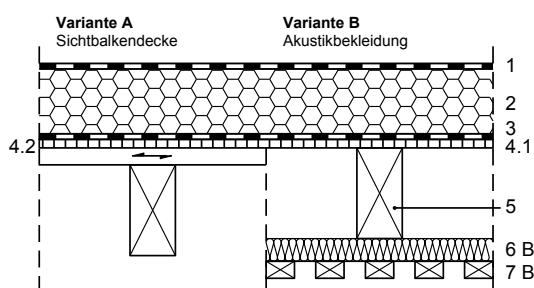
Tab. A.1 Verwendete Bezeichnungen für die Nachweise des Wärme- und Feuchteschutzes

KÜRZEL	BEZEICHNUNG	EINHEIT
M _c	Tauwassermenge	g/m ²
M _{ev}	Verdunstungsmenge	g/m ²
ΔM	Trocknungsreserve	g/m ²
q ₅₀	Luftdurchlässigkeit eines Bauteils	m ³ /(m ² ·h)
d _z	Dicke der Zusatzdämmung (Aufdachdämmung)	mm
d _G	Dicke der Dämmung im Gefach	mm
R _G	Wärmedurchlasswiderstand im Gefach	(m ² ·K)/W
λ _{Dämm}	Wärmeleitfähigkeit der Dämmung	W/(m·K)
λ _z , λ _G	Angabe für Zusatz- bzw. Gefachdämmung	W/(m·K)
ε	Emissionskoeffizient	-
a	Absorptionskoeffizient	-
s _d	Wasserdampfäquivalente Luftschichtdicke	m
U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)
V	Verhältnis von Zusatz- zu Gesamtdämmung	-

la _ Aufdachdämmung auf Balkentragwerk

BAUTEILQUERSCHNITT

BAUTEILAUFBAU FÜR DACHNEIGUNG ≥ 2 %



- 1 Dachabdichtung
 - 2 Aufdachdämmung, Empfehlung Druckfestigkeitsklasse dh
 - 3 Behelfsabdichtung / Diffusionshemmende oder dichtere Schicht $s_{d,i} \geq 100$ m
 - 4.1 Holzwerkstoffplatte (Scheibenausbildung)
 - 4.2 Sichtschalung $d \geq 24$ mm
 - 5 Tragkonstruktion, z.B. KVH, $e = 625$ mm
 - 6B Akustikdämmung mit Vlieskaschierung, $d = 40$ mm
 - 7B Holzschalung auf Lücke
- Zusätzlich können Deckschichten wie bspw. Bekiesung oder Begrünung aufgebracht werden.

WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZ

Dämmdicke d (mm)	Mittlerer U-Wert ¹⁾ U (W/m ² ·K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3		
		M_c (g/m ²)	M_{ev} (g/m ²)	ΔM (g/m ²)
A: Dachabdichtung ggf. mit zusätzlichen Deckschichten				
180	0,18	„Bauteil ohne rechnerischen Tauwassernachweis“ nach		
220	0,15	DIN 4108-3 mit Behelfsabdichtung (Schicht 3) $s_{d,i} \geq 100$ m		
B: wie A jedoch mit raumseitiger Akustikdämmung: 40 mm				
140 + 40	0,19	„Bauteil ohne rechnerischen Tauwassernachweis“ nach DIN 4108-3 mit Behelfsabdichtung		
180 + 40	0,15	(Schicht 3) $s_{d,i} \geq 100$ m und Wärmedurchlasswiderstand unter $s_{d,i}$ max. 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes.		

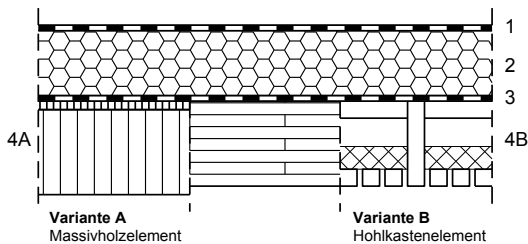
¹⁾ bezogen auf $\lambda_{\text{Aufdachdäm.}} = 0,035$ W/m·K und $\lambda_{\text{Akustikdäm.}} = 0,040$ W/m·K

HOLZSCHUTZ: GK 0 nach DIN 68800	BRANDSCHUTZ: F30-B nach DIN 4102-4, Tab. 10.25	SCHALLSCHUTZ: $R_w \geq 45$ dB ^{1) 2)} nach DIN 4109-33, Tab. 14, Zeile 3
<ul style="list-style-type: none"> - Dachschalung (Nr. 4.2): GK 0 nach DIN 68800-2 - Holzwerkstoffplatte (Nr. 4.1): Trockenbereich / NKL 1 - Tragkonstruktion (Nr. 5): GK 0 nach DIN 68800-2 	<ul style="list-style-type: none"> - Sparren (Nr. 5) 3-seitig brandbeansprucht Mindestquerschnitt gemäß Bemessung nach DIN 4102-22 <p>Variante A: Aufdachdämmung Mineralfaser</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufdachdämmung (Nr. 2) Mineralfaser Typ DAA ≥ 80 mm, $r \geq 30$ kg/m³ - Obere Beplankung (Nr. 4.1/4.2)* HWS $d \geq 28$ mm, $r \geq 600$ kg/m³, $l \leq 1.250$ mm oder: N+F-Schalung $d \geq 28$ mm, $l \leq 1.250$ mm <p>Variante B: Aufdachdämm. Schaumkunststoff</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufdachdämmung (Nr. 2) Typ DAA ohne weitere Anforderungen - Obere Beplankung (Nr. 4.1/4.2)* HWS $d \geq 27$ mm, $r \geq 600$ kg/m³, $l \leq 650$ mm oder N+F-Schalung $d \geq 32$ mm, $l \leq 650$ mm <p>*Auswahl – weitere Varianten siehe Norm</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aufdachdämmung (Nr. 2) Typ DAA ≥ 180 mm (MF) - Behelfsabdichtung (Nr. 5) Bitumenbahn mit ≥ 5 kg/m² - Obere Beplankung (Nr. 4.1/4.2) Holzwerkstoff $d \geq 24$ mm oder: Holzschalung $d \geq 24$ mm <p>¹⁾ ca. 48 dB mit 30 mm Kiesauflage oder glw. ²⁾ Bei Verwendung von Schaumkunststoffen ist mit einer erheblichen Verschlechterung des Schallschutzes zu rechnen. Empfohlen wird dann die Kombination mit zusätzlichen Auflasten (Begrünung) oder unterseitigen Bekleidungen.</p>

Ib _ Aufdachdämmung auf Flächentragwerk

BAUTEILQUERSCHNITT

BAUTEILAUFBAU FÜR DACHNEIGUNG ≥ 2 %



- 1 Dachabdichtung
 - 2 Aufdachdämmung, Empfehlung Druckfestigkeitsklasse DAA dh
 - 3 Behelfsabdichtung $s_{d,i} \geq 100$ m
 - 4A Brettstapelelemente mit Holzwerkstoffplatte (Scheibenausbildung) oder BS-Holz- bzw. Brettspertholz-Element, schubfest miteinander verbunden
 - 4B Hohlkasten- / Flächenelement z.B. mit Akustikprofil schubfest miteinander verbunden
- Zusätzlich können Deckschichten wie bspw. Bekiesung oder Begrünung aufgebracht werden.

WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZ

Dämmdicke d (mm)	Mittlerer U-Wert ¹⁾ U (W/m ² ·K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3		
		M_c (g/m ²)	M_{ev} (g/m ²)	ΔM (g/m ²)
A: Massivholzelement (d = 160 mm) mit Aufdachdämmung, ggf. mit zusätzlichen Deckschichten				
120	0,20	„Bauteil ohne rechnerischen Tauwassernachweis“ nach		
180	0,15	DIN 4108-3 mit Behelfsabdichtung (Schicht 3) $s_{d,i} \geq 100$ m		
B: Hohlkastenelement mit 40 mm Akustikdämmung, ggf. mit zusätzlichen Deckschichten				
140 + 40	0,19	„Bauteil ohne rechnerischen Tauwassernachweis“ nach DIN 4108-3 mit Behelfsabdichtung		
180 + 40	0,15	(Schicht 3) $s_{d,i} \geq 100$ m und Wärmedurchlasswiderstand unter $s_{d,i}$ max. 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes.		

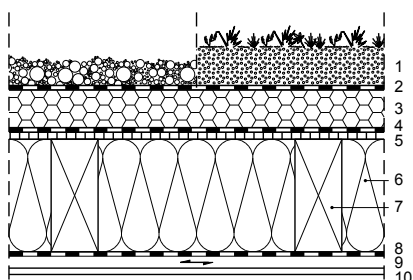
¹⁾ bezogen auf $\lambda_{\text{Aufdachdäm.}} = 0,035$ W/m·K und $\lambda_{\text{Akustikdäm.}} = 0,040$ W/m·K

HOLZSCHUTZ: GK 0 nach DIN 68800-2	BRANDSCHUTZ: F30-B – F90 B mit individuellem Nachweis	SCHALLSCHUTZ: $R_w \geq 45$ dB mit individuellem Nachweis
- Tragkonstruktion (Nr. 4A/B) GK 0 nach DIN 68800-2	Maßgebend ist i.d.R. die Bemessung der Tragkonstruktion nach DIN 4102-22. Hierfür liegen geprüfte Bauteilaufbauten der jeweiligen Systemanbieter vor!	Maßgebend ist i.d.R. die Flächenlast des verwendeten Holzbausystems sowie der verwendete Dämmstoff. Bei Schaumkunststoffen kann es zu erhöhten Körperschallbelastungen kommen, weshalb zusätzliche Auflasten empfohlen werden.
- Holzwerkstoffplatte (Nr. 4A): Trockenbereich / NKL 1		

IIa_ Voldämmung mit Zusatzdämmung und Dachbegrünung bzw. Bekiesung

BAUTEILQUERSCHNITT¹⁾

BAUTEILAUFBAU FÜR DACHNEIGUNG ≥ 2 %



- | | |
|---|---|
| 1 Kies oder Begrünung $d \leq 80$ mm | 7 Tragkonstruktion technisch getrocknet (max. 18 M-%) |
| 2 Abdichtung | 8 Feuchtevariable Dampfbremse ²⁾ |
| 3 Zusatzdämmung Typ DAA
d_z siehe Tabelle Feuchteschutz | 9 Unterkonstruktion $d = 30$ mm |
| 4 Behelfsabdichtung $s_d \geq 100$ m | 10 Gipskartonbauplatte $d = 12,5$ mm |
| 5 OSB/3-Platte $d \geq 22$ mm | |
| 6 Gefach mit Faserdämmstoff
$d_G = \text{voll ausgedämmt}$ | |

¹⁾ Für diesen Aufbau ist gemäß DIN 68800-2: 2012 und DIN 4108-3: 2018 eine hygrothermische Simulation nach DIN EN 15026 erforderlich.

²⁾ Die feuchtevariable Dampfbremse benötigt derzeit eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (siehe DIN 68800-2; Abs. 7.5) Aktuell verfügbar: Z-9.1-853 / Z-9.1-872 / Z-9.1-879)

FEUCHTESCHUTZ

Jahresmitteltemperatur	Gefachdämmung	q_{50} ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$)	V – Anteil der Zusatzdämmung (%)		Mindestdicke d_z der Zusatzdämmung ³⁾
			besonnt	verschattet	
6,5° C – 9° C	Mineralfaser	3	34,8	46,7	$d_z = d_G \cdot \frac{\lambda_Z}{\lambda_G} \cdot \frac{V}{(100\% - V)}$ Tabelle gilt für $R_{G,6} \leq 6,86 \text{ m}^2\text{K/W}$ V = Verhältnis der Zusatz- zur Gesamtdämmung (%) Index: G = Gefachdämmung Z = Zusatzdämmung
		1,5	32,7	46,7	
	Zellulose oder Holzfaser	3	41,9	51,4	
		1,5	40,0	51,4	
≥ 9° C	Mineralfaser	3	28,0	43,8	
		1,5	28,0	43,8	
	Zellulose oder Holzfaser	3	35,7	48,6	
		1,5	35,7	48,6	

Beispiel:

Randbedingungen:

- Temperatur: Hamburg > 9° C
- Gefachdämmung: Mineralfaser $\lambda = 0,035$, $d_G = 180$ mm
- Zusatzdämmung: EPS $\lambda = 0,032 \rightarrow d_z = ?$
- Luftdichtheit: $q_{50} = 1,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$, 6 m Luftverbund
- Dachfläche: besonnt

Mindestdicke der Zusatzdämmung:

V-Anteil aus Tabelle: **V = 28,0 %**

Berechnung:

$$d_z = 180 \cdot (0,032/0,035) \cdot (28\% / (100\% - 28\%))$$

$$= 180 \cdot 0,91 \cdot 0,39 = 64 \text{ mm}$$

gewählt: **$d_z = 80$ mm**

³⁾ Die Dicke der Zusatzdämmung (d_z) kann durch örtliche Gegebenheiten (z.B. Klima, Verschattung) und abweichende Produkteigenschaften (z.B. Substrat, feuchtevariable Dampfbremsen, Dämmstoff) variieren. Die angegebenen Dicken dienen der Vorplanung.

BEDINGUNGEN FÜR DIE FUNKTIONSTÜCHTIGKEIT DES BAUTEILS⁴⁾

Verschattung	Luftdurchlässigkeit	Holzfeuchte	Jahresmitteltemperatur	Höhe Luftverbund	Raumluftfeuchte
Verschattung beachten!	$q_{50} \leq 3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ oder $\leq 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$	max. 18 M.-%	6,5° C – 9,0 ° C oder $\geq 9,0$ ° C	Höhe ≤ 8 m (bis eingeschossig)	normale (+ 5 %) Feuchtelast

⁴⁾ Erläuterungen auf Seite 79

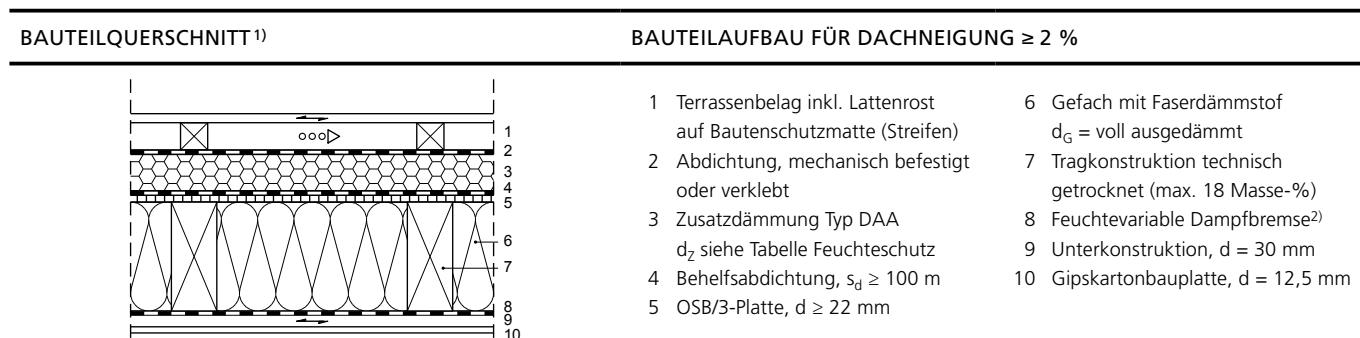
Ila_ Fortsetzung

WÄRMESCHUTZ

Dämmdicke d_z / d_G (mm)	Mittlerer U-Wert ¹⁾ U (W/m ² ·K)	
90 / 180	0,14	¹⁾ Dämmverhältnis V = 36 % unter Berücksichtigung der WLG Zusatzdämmung mit $\lambda_z = 0,035$ W/(m·K) Gefachdämmung mit $\lambda_G = 0,04$ W/(m·K) Holzanteil im Gefach: 10 %
120 / 240	0,11	

HOLZSCHUTZ: GK 0 (NKL 2)* nach DIN 68800 gem. o.g. Bedingungen	BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 10.19	SCHALLSCHUTZ: $R_w \geq 45$ dB ^{1) 2)} nach DIN 4109-33, Tab. 14, Zeile 1
- Dachschalung (Nr. 5): Feuchtbereich - NKL 2 für Holzwerkstoff bzw. GK 0 für Vollholzschalung - Tragkonstruktion (Nr. 7): GK 0 wenn Konvektion nach [WTA 6-2] im hydrothermischen Nachweis berücksichtigt wurde - Untere Beplankung (Nr. 9/10): Trockenbereich / NKL 1 / GK 0	- Obere Beplankung (Nr. 5) HWS $d \geq 16$ (19) mm, $\rho \geq 600$ kg/m ³ oder Nut-Feder-Schalung $d \geq 21$ (27) mm - Sparren (Nr. 7), Dämmung (Nr. 6) C24 mit $b \geq 40$ mm oder glw. Faserdämmung ohne Anforderung - Untere Beplankung (Nr. 9/10)* HWS $d \geq 19$ mm, $\rho \geq 600$ kg/m ³ , $l \geq 625$ mm oder: GKF $d \geq 12,5$ mm, $l \leq 400$ mm für F 60-B: GKF 2 x 12,5 mm, $l \leq 400$ mm *Auswahl - weitere Varianten siehe Norm	- Obere Beplankung (Nr. 5) Holzwerkstoff $d \geq 22$ mm oder: Holzschalung $d \geq 24$ mm - Dämmebene (Nr. 6/7) Schalenabstand ≥ 160 mm Faserdämmung Typ DZ ≥ 60 mm - Untere Beplankung (Nr. 9/10) GKB $d \geq 12,5$ mm oder 10 mm GF oder: Nut-Feder-Schalung $d \geq 20$ mm oder: Holzwerkstoff $d \geq 15$ mm, $\rho \geq 600$ kg/m ³ ¹⁾ 42 dB ohne Kiesauflage bzw. Begrünung ²⁾ + 5 dB bei zusätzlicher unterer Bepl. $m' \geq 8$ kg/m ²

IIb _ Volldämmung mit Zusatzdämmung und Terrassenbelag



¹⁾ Für diesen Aufbau ist gemäß DIN 68800-2: 2012 und DIN 4108-3: 2014 eine hygrothermische Simulation nach DIN EN 15026 erforderlich.

²⁾ Die feuchtevariable Dampfbremse benötigt derzeit eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (siehe DIN 68800-2; Abs. 7.5). Aktuell verfügbar: Z-9.1-853 / Z-9.1-872 / Z-9.1-879

FEUCHTESCHUTZ

Jahresmitteltemperatur	Gefach-Dämmung	q ₅₀ (m ³ /m ² h)	V – Anteil der Zusatzdämmung (%)		Mindestdicke d _z der Zusatzdämmung ³⁾
			besonnt	verschattet	
6,5° C – 9° C	Mineralfaser	3	22,6	40,5	$d_z = d_G \cdot \frac{\lambda_z}{\lambda_G} \cdot \frac{V}{(100\% - V)}$ Tabelle gilt für R _G ≤ 6,86 m ² K/W V = Verhältnis der Zusatz- zur Gesamtdämmung (%) Index: G = Gefachdämmung Z = Zusatzdämmung
		1,5	19,6	36,8	
	Zellulose oder Holzfaser	3	33,3	45,5	
		1,5	30,8	43,8	
≥ 9° C	Mineralfaser	3	19,6	36,8	
		1,5	16,3	36,8	
	Zellulose oder Holzfaser	3	28,0	41,9	
		1,5	28,0	40,0	

Beispiel:

Randbedingungen:

Temperatur: Hamburg > 9° C
 Gefachdämmung: Mineralfaser λ = 0,039, d_G = 180 mm
 Zusatzdämmung: EPS λ = 0,032 → d_z = ?
 Luftdichtheit: q₅₀ = 1,5 m³/(m²·h), 3 m Luftverbund
 Dachfläche: besonnt Terrassenbelag

Mindestdicke der Zusatzdämmung:

V-Anteil aus Tabelle: V = 28,0 %

Berechnung:

$$d_z = 180 \cdot (0,032/0,039) \cdot (28\% / (100\% - 28\%)) = 180 \cdot 0,82 \cdot 0,39 = 57 \text{ mm}$$

gewählt: d_z = 60 mm

³⁾ Die Dicke der Zusatzdämmung (d_z) kann durch örtliche Gegebenheiten (z.B. Klima, Verschattung) und abweichende Produkteigenschaften (z.B. Substrat, feuchtevariable Dampfbremsen, Dämmstoff) variieren. Die angegebenen Dicken dienen der Vorplanung.

BEDINGUNGEN FÜR DIE FUNKTIONSTÜCHTIGKEIT DES BAUTEILS⁴⁾

Verschattung	Luftdurchlässigkeit	Holzfeuchte	Jahresmitteltemperatur	Höhe Luftverbund	Raumluftfeuchte
Verschattung beachten!	q ₅₀ ≤ 3 m ³ /m ² ·h oder ≤ 1,5 m ³ /m ² ·h	max. 18 M.-%	6,5° C – 9,0° C oder ≥ 9,0° C	Höhe ≤ 3 m (bis eingeschossig)	normale Feuchtelast + 5%

⁴⁾ Erläuterungen auf Seite 79

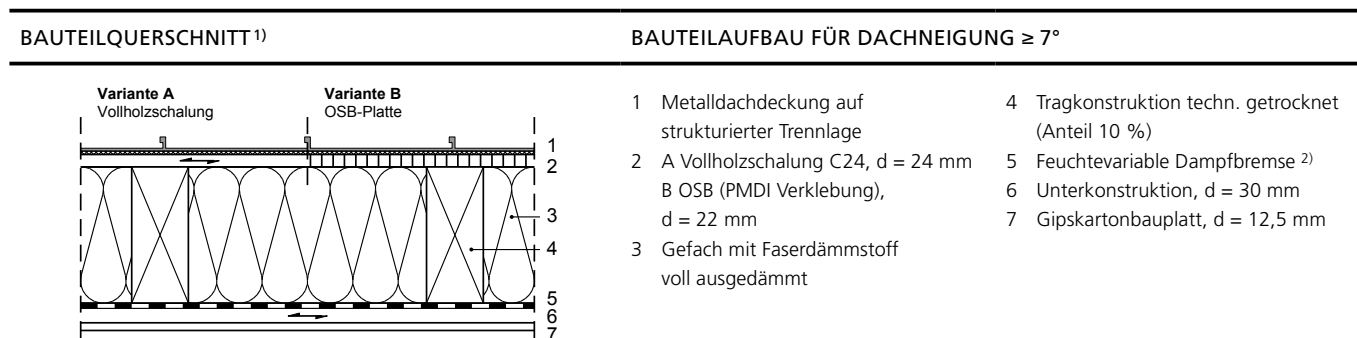
IIb_ Fortsetzung

WÄRMESCHUTZ

Dämmdicke d_z / d_G (mm)	Mittlerer U-Wert ¹⁾ U (W/m ² ·K)	
60 / 160	0,18	¹⁾ Verhältnis V = 30 % unter Berücksichtigung der WLG Zusatzdämmung mit $\lambda_z = 0,035$ W/(m·K) Gefachdämmung mit $\lambda_G = 0,04$ W/(m·K) Holzanteil im Gefach: 10 %
80 / 200	0,14	

HOLZSCHUTZ: GK 0 (NKL 2) nach DIN 68800 gem. o.g. Bedingungen	BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 10.19	SCHALLSCHUTZ: $R_w \geq 45$ dB ^{1) 2)} nach DIN 4109-33, Tab. 14, Zeile 1
<ul style="list-style-type: none"> - Dachschalung (Nr. 5): Feuchtbereich - NKL 2 für Holzwerkstoff bzw. GK 0 für Vollholzschalung - Tragkonstruktion (Nr. 7): GK 0 wenn Konvektion nach [WTA 6-2] im hygrothermischen Nachweis berücksichtigt wurde - Untere Beplankung (Nr. 9/10): Trockenbereich / NKL 1 / GK 0 - Unterkonstruktion und Belag (Nr. 1): Holzart der Dauerhaftigkeitsklasse 2 z.B. Farbkernholz aus Eiche oder glw. mit Splintholzanteil < 5 % (GK 3.2) 	<ul style="list-style-type: none"> - Obere Beplankung (Nr. 5) HWS $d \geq 16$ (19) mm, $\rho \geq 600$ kg/m³ oder Nut-Feder-Schalung $d \geq 21$ (27) mm - Sparren (Nr. 7), Dämmung (Nr. 6) C24 mit $b \geq 40$ mm oder glw. Faserdämmung ohne Anforderung - Untere Beplankung (Nr. 9/10)* HWS $d \geq 19$ mm, $\rho \geq 600$ kg/m³, $l \geq 625$ mm oder: GKF $d \geq 12,5$ mm, $l \leq 400$ mm für F 60-B: GKF 2 x 12,5 mm, $l \leq 400$ mm <p>*Auswahl - weitere Varianten siehe Norm</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Obere Beplankung (Nr. 5) Holzwerkstoff $d \geq 22$ mm oder: Holzschalung $d \geq 24$ mm - Dämmebene (Nr. 6/7) Schalenabstand ≥ 160 mm Faserdämmung Typ DZ ≥ 60 mm - Untere Beplankung (Nr. 9/10) GKB $d \geq 12,5$ mm oder 10 mm GF oder: Nut-Feder-Schalung $d \geq 20$ mm oder: Holzwerkstoff $d \geq 15$ mm, $\rho \geq 600$ kg/m³ <p>¹⁾ + 5 dB bei zus. unterer Bepl. $m' \geq 8$ kg/m² ²⁾ Zusätzliche raumseitige Beplankung an Federschiene sowie Entkopplungsmaßnahmen für Trittschallschutz empfohlen!</p>

IIIa _ Volldämmung mit Metaldachdeckung



¹⁾ Für diesen Aufbau ist gemäß DIN 68800-2: 2012 und DIN 4108-3: 2018 eine hygrothermische Simulation nach DIN EN 15026 erforderlich.

²⁾ Die feuchtevariable Dampfbremse benötigt derzeit eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (siehe DIN 68800-2: 2012; Abs. 7.5). Aktuell: Z-9.1-853 / Z-9.1-872 / Z-9.1-879)

FEUCHTESCHUTZ				
Jahresmitteltemperatur	Gefach-Dämmung	q_{50} (m^3/m^2h)	max. zul. Dachneigung ³⁾	Mindestdicke d_z der Zusatzdämmung ³⁾
6,5° C – 9° C	Mineralfaser	3	60° (25°)	Die Berechnungsergebnisse hängen sehr stark von den Strahlungseigenschaften der Metallddeckung (Absorptions- und Emissionskoeffizient), der Himmelsrichtung und dem Innenraumklima ab. Die hier dargestellten Ergebnisse wurden mit günstigen Strahlungswerten ($a = 0,6$; $\epsilon = 0,17$) berechnet. Andere Werte funktionieren ggf. nur bei geringeren Dachneigungen. Es werden, auf Grund der günstigen Strahlungseigenschaften, vorpatinierte Bleche empfohlen.
	Zellulose oder Holzfaser	1,5	80° (40°)	
	Zellulose oder Holzfaser	3	40° (-)	
$\geq 9^\circ C$	Mineralfaser	1,5	50° (7°)	
	Mineralfaser	3	90° (30°)	
	Zellulose oder Holzfaser	1,5	90° (40°)	
	Zellulose oder Holzfaser	3	50° (-)	
	Zellulose oder Holzfaser	1,5	70° (7°)	

³⁾ Klammerwerte für walzblanke Metallddeckung ($a = 0,27$; $\epsilon = 0,1$)
 - = nicht möglich

BEDINGUNGEN FÜR DIE FUNKTIONSTÜCHTIGKEIT DES BAUTEILS ⁴⁾					
Orientierung (Solar)	Luftdurchlässigkeit	Holzfeuchte	Jahresmitteltemperatur	Höhe Luftverbund	Raumluftfeuchte
alle Himmelsrichtungen möglich	$q_{50} \leq 3 m^3/m^2 \cdot h$ oder $\leq 1,5 m^3/m^2 \cdot h$	max. 18 Masse-%	6,5°C – 9,0 ° C oder $\geq 9,0^\circ C$	Höhe $\leq 8 m$	normale Feuchtelast + 5%

⁴⁾ Erläuterungen auf Seite 79

WÄRMESCHUTZ	
Dämmdicke (mm)	Mittlerer U-Wert ¹⁾ ($W/m^2 \cdot K$)
220	0,20
260	0,17

¹⁾ Gefachdämmung mit $\lambda = 0,04 W/(m \cdot K)$
 Holzanteil im Gefach 10 %

IIIa _ Fortsetzung

HOLZSCHUTZ: GK 0 (NKL 2) nach DIN 68800 gem. o.g. Bedingungen	BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 10.19	SCHALLSCHUTZ: $R_w \geq 45 \text{ dB}^{1) 2)}$ nach DIN 4109-33, Tab. 14, Zeile 1
<ul style="list-style-type: none"> - Dachschalung (Nr. 2): Feuchtbereich - NKL 2 für Holzwerkstoff bzw. GK 0 für Vollholzschalung – strukturierte Trennlage als Dränebene vorsehen! - Tragkonstruktion (Nr. 4): GK 0 wenn Konvektion nach [WTA 6-2] im hygrothermischen Nachweis berücksichtigt wurde - Untere Beplankung (Nr. 6/7): Trockenbereich / NKL 1 / GK 0 	<ul style="list-style-type: none"> - Obere Beplankung (Nr. 5) HWS $d \geq 16$ (19) mm, $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$ oder Nut-Feder-Schalung $d \geq 21$ (27) mm - Sparren (Nr. 7), Dämmung (Nr. 6) C24 mit $b \geq 40$ mm oder glw. Faserdämmung ohne Anforderung - Untere Beplankung (Nr. 6/7)* HWS $d \geq 19$ mm, $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$, $l \geq 625$ mm oder: GKF $d \geq 12,5$ mm, $l \leq 400$ mm für F 60-B: GKF $2 \times 12,5$ mm, $l \leq 400$ mm <p>*Auswahl – weitere Varianten siehe Norm</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Obere Beplankung (Nr. 2) Holzwerkstoff $d \geq 22$ mm oder: Holzschalung $d \geq 24$ mm - Dämmebene (Nr. 3/4) Schalenabstand ≥ 160 mm Faserdämmung Typ DZ ≥ 60 mm - Untere Beplankung (Nr. 6/7) GKB $d \geq 12,5$ mm oder 10 mm GF oder: Nut-Feder-Schalung $d \geq 20$ mm oder: Holzwerkstoff $d \geq 15$ mm, $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$ <p>¹⁾ + 5 dB bei zus. unterer Bepl. $m' \geq 8 \text{ kg/m}^2$ ²⁾ Strukturierte Trennlage zur Verminderung des Körperschalls empfohlen!</p>

IVa_Volldämmung mit separater Belüftungsebene

BAUTEILQUERSCHNITT	BAUTEILAUFBAU FÜR DACHNEIGUNG $\geq 2\%$	
	<ol style="list-style-type: none"> 1 Dachabdichtung auf Trennlage 2 Vollholzschalung C24, d = 24 mm 3 Belüfteter Hohlraum, Querschnittshöhe nach Belüftungsregeln 4 diffusionsoffene Abdeckung als Feuchteschutz, $s_d \leq 0,3$ m 5 diffusionsoffene Holzfaserplatte d = 16 mm, $s_d \leq 0,2$ m 	<ol style="list-style-type: none"> 6 Gefach mit Faserdämmstoff 7 Tragkonstruktion techn. getrocknet (Anteil 10 %) 8 Dampfbremse (armiert) $s_d \geq 2$ m 9 Unterkonstruktion, d = 30 mm 10 Gipskartonbauplatte

BELÜFTUNGSQUERSCHNITTE UND ÖFFNUNGEN				
Dachneigung	nach DIN 68800-2 (bis max. 15 m)		nach DIN 4108-3	
	Querschnitt	Öffnung ¹⁾	Querschnitt	Öffnungen ¹⁾ für DN < 5° bis max. 10 m
$\geq 3^\circ$ und < 5°	≥ 150 mm	$\geq 40\%$	≥ 50 mm	Traufe und Pultdachanschluss ²⁾ für DN < 5°:
$\geq 5^\circ$ und < 15°	≥ 80 mm	$\geq 40\%$	≥ 20 mm	2 ‰ der Dachfläche / mind. 200 cm ² /m
$\geq 15^\circ$	≥ 40 mm	$\geq 40\%$	≥ 20 mm	First und Grat für DN $\geq 5^\circ$: 0,5 ‰ der Dachfläche / mind. 50 cm ² /m

¹⁾ bezogen auf den Lüftungsquerschnitt – Lüftungsgitter und Querschnittsverengungen sind dabei zu berücksichtigen
²⁾ wird für alle Dächer mit einer Dachneigung $\geq 3^\circ$ gefordert (Traufe und Pultdachanschluss bzw. gegenüberliegende Dachränder)

WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZ					
Dämmdicke	Mittlerer U-Wert ¹⁾	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3		Trocknungsreserve nach DIN 68800-2	
d (mm)	U (W/m ² ·K)	M _c (g/m ²)	<<	M _{ev} (g/m ²)	ΔM (g/m ²)
220	0,19	125	<<	3149 (1968) ²⁾	3024 (1843) ²⁾
260	0,17	136	<<	3140 (1962) ²⁾	3004 (1826) ²⁾

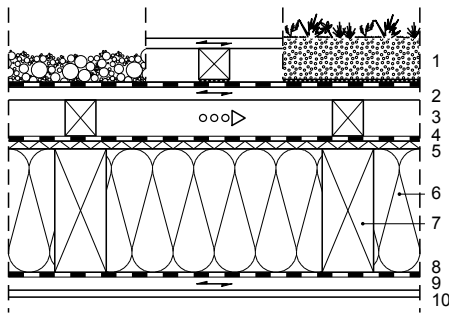
¹⁾ bezogen auf $\lambda_{\text{Dämm}} = 0,04$ W/(m·K) und 10 % Holzanteil ²⁾ Klammerwerte: Berechnungen mit reduzierte Verdunstung nach DIN 4108-3, um eine Verschattung des Daches zu berücksichtigen.

HOLZSCHUTZ: GK 0 nach DIN 68800-2	BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B) nach DIN 4102-4, Tab. 10.19	SCHALLSCHUTZ: R _W ≥ 45 dB ^{1) 2)} nach DIN 4109-33, Tab. 14, Zeile 1
<ul style="list-style-type: none"> - Dachschalung (Nr. 2) und Holz in Belüftungsebene (Nr. 4): GK 0 nach DIN 68800-2 - Holzfaserplatte (Nr. 5): Feuchtbereich / NKL 2 - Tragkonstruktion (Nr. 7): GK 0 nach DIN 68800-2 	<ul style="list-style-type: none"> - Obere Beplankung (Nr. 5) HWS d ≥ 16 (19) mm, $\rho \geq 600$ kg/m³ oder Nut-Feder-Schalung d ≥ 21 (27) mm - Sparren (Nr. 7), Dämmung (Nr. 6) C24 mit b ≥ 40 mm oder glw. Faserdämmung ohne Anforderung - Untere Beplankung (Nr. 9/10)* HWS d ≥ 19 mm, $\rho \geq 600$ kg/m³, l ≤ 625 mm oder: GKF d $\geq 12,5$ mm, l ≤ 400 mm für F 60-B: GKF 2 x 12,5 mm, l ≤ 400 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Obere Beplankung (Nr. 4) Holzwerkstoff d ≥ 22 mm oder: Holzschalung d ≥ 24 mm - Dämmebene (Nr. 6/7) Schalenabstand ≥ 160 mm, Faserdämmung Typ DZ ≥ 60 mm - Untere Beplankung (Nr. 9/10) GKB d $\geq 12,5$ mm oder 10 mm GF oder: Nut-Feder-Schalung d ≥ 20 mm oder: Holzwerkstoff d ≥ 15 mm, $\rho \geq 600$ kg/m³
	<ul style="list-style-type: none"> *Auswahl – weitere Varianten siehe Norm 	<ul style="list-style-type: none"> ¹⁾ 45 dB mit ≥ 30 mm Kiesauflage oder glw. ²⁾ + 5 dB bei zus. unterer Bepl. m' ≥ 8 kg/m²

IVb _ Vollämmung mit separater Belüftungsebene und Deckschichten oder Terrassenbeleg

BAUTEILQUERSCHNITT

BAUTEILAUFBAU FÜR DACHNEIGUNG ≥ 3°



- 1A Bekiesung
- 1B Bohlenbelag auf Lücke, splintfreies Farb kernholz, 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
- 2-10 wie Typ IV A

BELÜFTUNGSQUERSCHNITTE UND ÖFFNUNGEN

Dachneigung	nach DIN 68800-2 (bis max. 15 m)		nach DIN 4108-3	
	Querschnitt	Öffnung ¹⁾	Querschnitt	Öffnungen ¹⁾ für DN < 5° bis max. 10 m
≥ 3° und < 5°	≥ 150 mm	≥ 40 %	≥ 50 mm	Traufe und Pultdachanschluss ²⁾ für DN < 5°: 2 ‰ der Dachfläche / mind. 200 cm ² /m
≥ 5° und < 15°	≥ 80 mm	≥ 40 %	≥ 20 mm	First und Grat für DN ≥ 5°: 0,5 ‰ der Dachfläche / mind. 50 cm ² /m
≥ 15°	≥ 40 mm	≥ 40 %	≥ 20 mm	

¹⁾ bezogen auf den Lüftungsquerschnitt – Lüftungsgitter und Querschnittsverengungen sind dabei zu berücksichtigen
²⁾ wird für alle Dächer mit einer Dachneigung ≥ 3° gefordert (Traufe und Pultdachanschluss bzw. gegenüberliegende Dachränder)

WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZ

Dämmdicke	Mittlerer U-Wert ¹⁾	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3		Trocknungsreserve nach DIN 68800-2	
d (mm)	U (W/m ² ·K)	M _c (g/m ²)	M _{ev} (g/m ²)	ΔM (g/m ²)	
220	0,19	125	<<	1968 ²⁾	1843 ²⁾
260	0,17	136	<<	1962 ²⁾	1826 ²⁾

¹⁾ bezogen auf λ_{Dämm} = 0,04 W/(m·K) und 10 % Holzanteil ²⁾ Berechnungen mit reduzierte Verdunstung nach DIN 4108-3, um Deckschichten und eine Verschattung des Daches zu berücksichtigen.

HOLZSCHUTZ: GK 0
nach DIN 68800-2

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B)
nach DIN 4102-4, Tab. 10.19

SCHALLSCHUTZ: R_w ≥ 45 dB ^{1) 2)}
nach DIN 4109-33, Tab. 14, Zeile 1

- Dachschalung (Nr. 2) und Holz in Belüftungsebene (Nr. 4):
GK 0 nach DIN 68800-2

- Holzfaserplatte (Nr. 5):
Feuchtbereich / NKL 2

- Tragkonstruktion (Nr. 7):
GK 0 nach DIN 68800-2

- Obere Beplankung (Nr. 5)
HWS d ≥ 16 (19) mm, ρ ≥ 600 kg/m³
oder Nut-Feder-Schalung d ≥ 21 (27) mm

- Sparren (Nr. 7), Dämmung (Nr. 6)
C24 mit b ≥ 40 mm oder glw.
Faserdämmung ohne Anforderung

- Untere Beplankung (Nr. 9/10)*
HWS d ≥ 19 mm, ρ ≥ 600 kg/m³, l ≤ 625 mm
oder: GKF d ≥ 12,5 mm, l ≤ 400 mm
für F 60-B: GKF 2 x 12,5 mm, l ≤ 400 mm

*Auswahl – weitere Varianten siehe Norm

- Obere Beplankung (Nr. 4)
Holzwerkstoff d ≥ 22 mm oder: Holzschalung d ≥ 24 mm

- Dämmebene (Nr. 6/7)
Schalenabstand ≥ 160 mm, Faserdämmung Typ DZ ≥ 60 mm

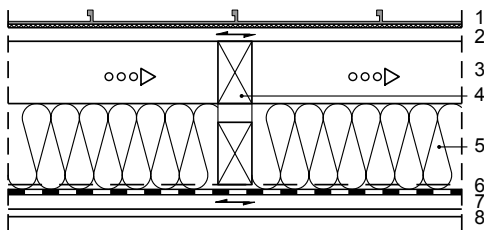
- Untere Beplankung (Nr. 9/10)
GKB d ≥ 12,5 mm oder 10 mm GF
oder: Nut-Feder-Schalung d ≥ 20 mm
oder: Holzwerkstoff d ≥ 15 mm, ρ ≥ 600 kg/m³

¹⁾ 42 dB ohne Kiesauflage bzw. Begrünung
²⁾ + 5 dB bei zus. unterer Bepl. m' ≥ 8 kg/m²

Va_ Belüftete Dämmebene und Metalldachdeckung

BAUTEILQUERSCHNITT

BAUTEILAUFBAU FÜR DACHNEIGUNG ≥ 7°



- 1 Metalldachdeckung auf strukturierter Trennlage
- 2 Vollholzschalung, d = 24 mm
- 3 Belüfteter Hohlraum, Querschnittshöhe nach Belüftungsregeln
- 4 Tragkonstruktion techn. getrocknet (Anteil 10 %)
- 5 Gefach mit Faserdämmstoff (strömungssicher und fugenfrei)
- 6 Dampfbremse (armiert) $s_d \geq 2$ m
- 7 Unterkonstruktion, d = 30 mm
- 8 Gipskartonbauplatte

BELÜFTUNGSQUERSCHNITTE UND ÖFFNUNGEN

Dachneigung	nach DIN 68800-2 (bis max. 15 m)		nach DIN 4108-3	
	Querschnitt	Öffnung ¹⁾	Querschnitt	Öffnungen ¹⁾ für DN < 5° bis max. 10 m
≥ 5° und < 15°	≥ 80 mm	≥ 40 %	≥ 20 mm	Traufe und Pultdachanschluss ²⁾ für DN < 5°: 2 ‰ der Dachfläche / mind. 200 cm ² /m
≥ 15°	≥ 40 mm	≥ 40 %	≥ 20 mm	First und Grat für DN ≥ 5°: 0,5 ‰ der Dachfläche / mind. 50 cm ² /m

¹⁾ bezogen auf den Lüftungsquerschnitt / Lüftungsgitter und Querschnittsverengungen sind dabei zu berücksichtigen

²⁾ wird für alle Dächer mit einer Dachneigung ≥ 3° gefordert (Traufe und Pultdachanschluss bzw. gegenüberliegende Dachränder)

WÄRME- UND FEUCHTESCHUTZ

Dämmdicke d (mm)	Mittlerer U-Wert ¹⁾ U (W/m ² ·K)	Tauwassernachweis nach DIN 4108-3	
		M_c (g/m ²)	M_{ev} (g/m ²)
220	0,20	Rechnerisch kein Tauwasserausfall bis Belüftungsebene Auftreten von Sekundätauwasser (Nr. 2) möglich.	
260	0,17		

¹⁾ bezogen auf $\lambda_{Dämm} = 0,04$ W/(m·K) und 10 % Holzanteil

HOLZSCHUTZ: GK 0

nach DIN 68800-2

- Dachschalung (Nr. 2) und Holz in Belüftungsebene (Nr. 4):
GK 0 nach DIN 68800-2

- Holzfaserplatte (Nr. 5):
Feuchtbereich / NKL 2

- Tragkonstruktion (Nr. 7):
GK 0 nach DIN 68800-2

BRANDSCHUTZ: F30-B (F60-B)

nach DIN 4102-4, Tab. 10.19

- Obere Beplankung (Nr. 2)
HWS d ≥ 16 (19) mm, $\rho \geq 600$ kg/m³
oder Nut-Feder-Schalung d ≥ 21 (27) mm

- Sparren (Nr. 4), Dämmung (Nr. 5)
C24 mit b ≥ 40 mm oder glw.
Faserdämmung ohne Anforderung

- Untere Beplankung (Nr. 8/9)*
HWS d ≥ 19 mm, $\rho \geq 600$ kg/m³, l ≤ 625 mm
oder: GKF d ≥ 12,5 mm, l ≤ 400 mm
für F 60-B: GKF 2 x 12,5 mm, l ≤ 400 mm

*Auswahl – weitere Varianten siehe Norm

SCHALLSCHUTZ: $R_w \geq 45$ dB ^{1) 2)}

nach DIN 4109-33, Tab. 14, Zeile 1

- Obere Beplankung (Nr. 4)
Holzwerkstoff d ≥ 22 mm oder:
Holzschalung d ≥ 24 mm

- Dämmebene (Nr. 4/5)
Schalenabstand ≥ 160 mm
Faserdämmung Typ DZ ≥ 60 mm

- Untere Beplankung (Nr. 8/9)
GKB d ≥ 12,5 mm oder 10 mm GF
oder: Nut-Feder-Schalung d ≥ 20 mm
oder: Holzwerkstoff d ≥ 15 mm, $\rho \geq 600$ kg/m³

¹⁾ 42 dB ohne Kiesauflage bzw. Begrünung

²⁾ + 5 dB bei zus. unterer Bepl. $m' \geq 8$ kg/m²

Abbildungsnachweis

Bildquellen soweit es sich nicht um technische Zeichnungen handelt (Rechteinhaber: Holzbau Deutschland – Institut e.V., Berlin) oder die Literaturquelle benannt ist:

Titelbild:	Olaf Rohl / banz + riecks, Bochum
Abb. 1.1	Thomas Ott / werk.um, Darmstadt
Abb. 1.2	Olaf Rohl / banz + riecks, Bochum
Abb. 3.3.2	DEUTSCHE ROCKWOOL Mineralwoll GmbH & Co. OHG, Gladbeck
Abb. 3.3.3	KON-THERM, Großbettlingen
Abb. 3.4.1	Paul BAUDER GmbH & Co. KG, Stuttgart
Abb. 3.4.2/3	WOLFIN Bautechnik GmbH, Wächtersbach
Abb. 3.4.4	Wilhelm LAYHER GmbH & Co. KG, Güglingen
Abb. 3.4.7	ALUMAT-Frey GmbH, Kaufbeuren
Abb. 3.5.1	RHEINZINK GmbH & Co. KG, Datteln
Abb. 3.5.2	DOERKEN GmbH & Co. KG, Herdecke
Abb. 3.5.3	LIPPERT-Profil GmbH & Co. KG, Lauterbach
Abb. 3.6.1	Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V., Wuppertal
Abb. 3.6.2	STEICO SE, Feldkirchen
Abb. 3.7.1	Informationsverein Holz e.V., Düsseldorf
Abb. 3.10	ILD Deutschland GmbH, Hösbach
Abb. 4.1.1	Daniel Kehl, Leipzig
Abb. 4.2.2	Idee: bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach
Abb. 4.2.4	Daniel Kehl, Leipzig, erstellt mit WUFI®
Abb. 4.4.2	LIGNOTREND Produktions GmbH, Weilheim-Bannholz
Abb. 4.4.3	Thomas Ott / werk.um, Darmstadt
Abb. 4.5.1	Olaf Rohl / banz + riecks, Bochum
Abb. 4.5.2/3	kerler + partner architekten ingenieure mbB, Sigmaringen
Abb. 4.5.4	Idee: bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, Lauterbach
Abb. 5.1.4/5	Daniel Kehl, Leipzig
Abb. 5.3.2	Daniel Kehl, Leipzig
Abb. 6.3	Thomas Ott / werk.um, Darmstadt
Abb. 7.2	Prof. Francois Colling, Augsburg

Weiterführende Schriften

aus der holzbau handbuch Reihe des
INFORMATIONSDIENST HOLZ
(hh = Reihe/Teil/Folge)

hh 1/1/5:	Holzkonstruktionen in Mischbauweise
hh 1/1/7:	Holzrahmenbau
hh 1/2/4:	Energieeffiziente Bürogebäude
hh 1/3/11:	Industrie- und Gewerbebau
hh 2/1/2:	Bemessung von BS-Holz-Bauteilen
hh 3/2/7:	Wärmebrücken
hh 3/4/5:	Ergänzungen zu DIN EN 1995-1-2 und DIN EN 1995-1-2/NA (Fassung 2013)
hh 4/1/1:	Holz als konstruktiver Baustoff
hh 4/2/1:	Konstruktionsvollholz KVH, Duobalken, Triobalken
hh 4/2/2:	Herstellung und Eigenschaften von geklebten Vollholzprodukten
hh 4/5/2:	Holzfaserdämmstoffe
hh 4/5/3:	Holzfaser-Wärmedämm-Verbundsysteme – Eigenschaften, Anforderungen, Anwendungen

Die Schriften stehen als kostenloser Download zur Verfügung:
www.informationsdienst-holz.de

Mitglieder des Informationsvereins HOLZ e.V. erhalten die Schriften bei Neuerscheinung als kostenloses Druckexemplar. Weitere Informationen unter: www.informationsvereinholz.de



Holzbau Deutschland-Institut e. V.
Kronenstraße 55-58
D-10117 Berlin
www.institut-holzbau.de

Technische Anfragen an:
Fachberatung Holzbau
Telefon: 030 57 70 19 95
Montag bis Freitag von 9 bis 16 Uhr
Dieser Service ist kostenfrei.
fachberatung@informationsdienst-holz.de
www.informationsdienst-holz.de

Ein Angebot des
Holzbau Deutschland-Institut e.V.
in Kooperation mit dem
Informationsverein Holz e.V.