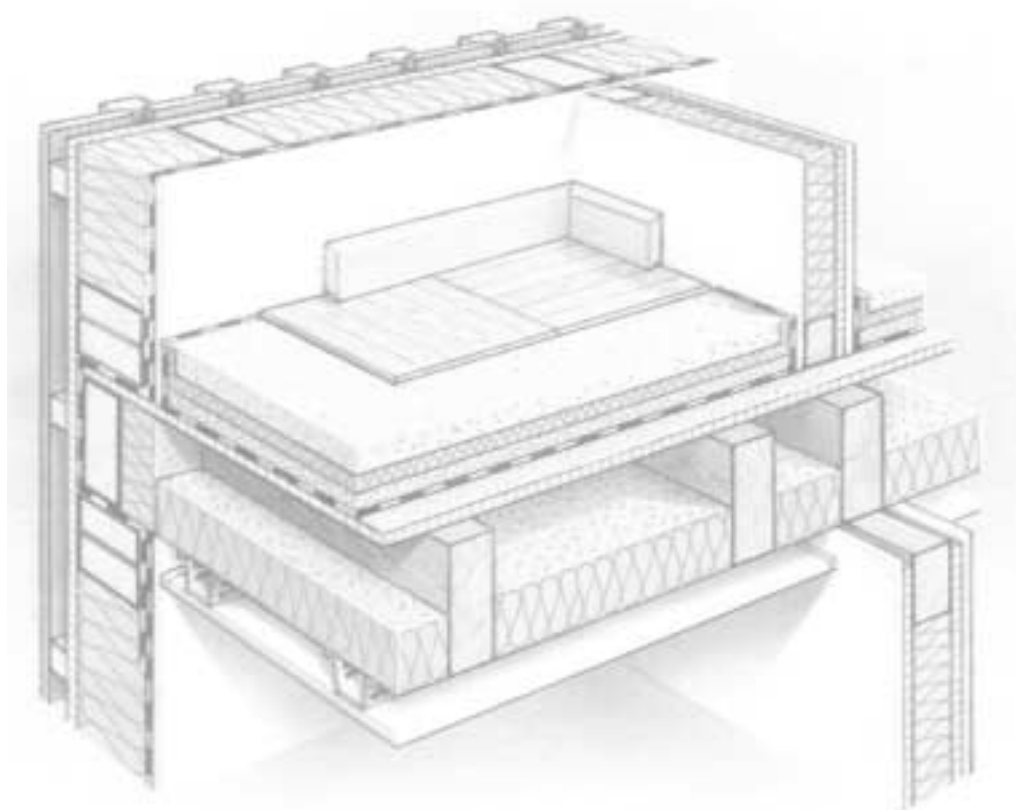
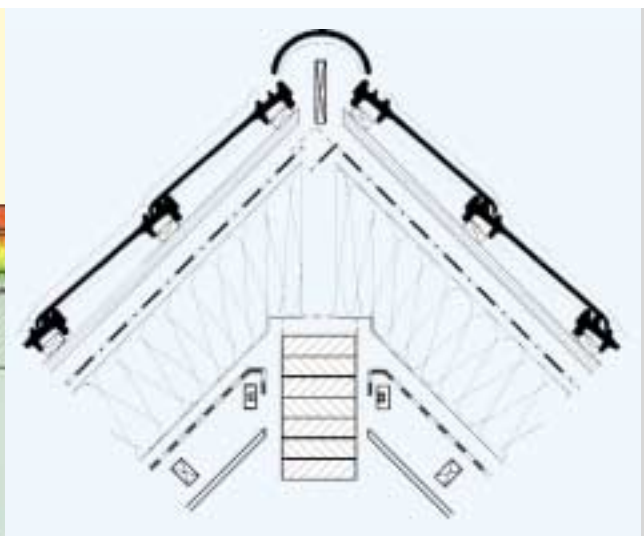
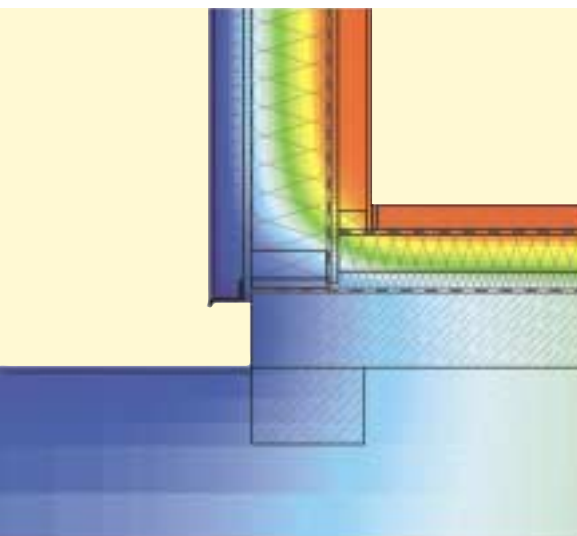


## Funktionsschichten und Anschlüsse für den Holzhausbau



## Inhaltsverzeichnis

1	Was sind Funktionsschichten? . . . . .	3
2	Baustoffe für Funktionsschichten . . . . .	4
3	Aufgaben von Funktionsschichten . . . . .	4
3.1	Luftdichtheit . . . . .	4
3.2	Winddichtheit . . . . .	8
3.3	Wärmedämmung . . . . .	8
3.4	Feuchteschutz . . . . .	12
3.5	Schallschutz . . . . .	14
3.6	Brandschutz . . . . .	15
3.7	Standsicherheit . . . . .	17
4	Bauteilanschlüsse. . . . .	19
4.1	Sockel . . . . .	20
4.2	Außenecke . . . . .	22
4.3	Innenwand an Außenwand . . . . .	23
4.4	Geschossdeckeneinbindung . . . . .	24
4.5	Traufanschluss . . . . .	26
4.6	Mittelpfetten- bzw. Kehlbalkenanschluss . . . . .	29
4.7	Innenwand an Dach . . . . .	30
4.8	Ortgang . . . . .	31
4.9	Firstanschluss . . . . .	32
4.10	Fensteranschluss . . . . .	33
5	Literatur . . . . .	35
	Bildnachweis. . . . .	36

## Impressum

### Herausgeber:

Absatzförderungsfonds der deutschen Forst-  
und Holzwirtschaft  
– HOLZABSATZFONDS –  
Anstalt des öffentlichen Rechts  
Godesberger Allee 142–148  
D-53175 Bonn

und

DGfH Innovations- und Service GmbH  
Postfach 31 01 31  
D-80102 München  
mail@dgfh.de  
www.dgfh.de

### Redaktion:

Ludger Dederich, Bonn  
Martin Fischer, München

### Bearbeitung:

Dr.-Ing. Frank Otto  
Dipl.-Ing. Michael Ringeler  
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH,  
Kassel

### Brandschutz:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter,  
TU München  
Dr.-Ing. Holger Schopbach  
bauart Konstruktions GmbH,  
Lauterbach

### Standsicherheit:

Prof. Nikolaus Nebgen,  
Fachhochschule Hildesheim

### Arbeitsgruppe:

Dipl.-Ing. Björn David,  
Bund Deutscher Zimmermeister, Berlin

Dipl.-Ing. Josef Egle,  
Institut für angewandte Technologien  
im Holzbau e.V., Übersee am Chiemsee

Dipl.-Ing. Jens Koch,  
Holzabsatzfonds, Berlin

Dipl.-Ing. E. U. Köhnke, Uelsen  
Dipl.-Ing. Georg Lange,  
Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V.,  
Bad Honnef

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Werner,  
Berufsakademie Mosbach

### Technische Anfragen an:

01802-46 59 00  
(0,06 €/Gespräch)  
fachberatung@infoholz.de  
www.informationsdienst-holz.de

### Hinweise zu Änderungen, Ergänzungen und Errata unter:

www.informationsdienst-holz.de

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.

In diese Broschüre sind Ergebnisse aus zahlreichen Forschungsprojekten eingeflossen. Für deren Förderung danken wir der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), der Arbeitsgemeinschaft Bau-forschung (ARGE BAU), den Forst- und Wirtschaftsministerien des Bundes und der Länder und der Holzwirtschaft.

### Gestaltung:

Creativ Mediendesign GmbH, Ottobrunn

Erschienen: Oktober 2004  
ISSN-Nr. 0466-2114

holzbau handbuch  
Reihe 1: Entwurf und Konstruktion  
Teil 1: Allgemeines  
Folge 8: Funktionsschichten und Anschlüsse  
für den Holzhausbau

## 1 Was sind Funktionsschichten?

Bauteile von Holzhäusern setzen sich aus einer Vielzahl von einzelnen Schichten zusammen. Damit ein Gebäude alle Funktionen erfüllen kann, müssen auch alle Bauteilanschlüsse fachgerecht ausgebildet werden. Abbildung 1.1 deutet die Entwicklung einer Außenwand über die Funktionsschichten und die Bauteilanschlüsse bis hin zum Wohnhaus an. Jede einzelne Bauteilschicht dient spezielle Funktionen. Die Materialeigenschaften, die Schichtdicken und ihre Anordnung müssen aufeinander abgestimmt sein.

Die Funktionen unterliegen teilweise einer bauordnungsrechtlichen Reglementierung. Behandelt werden die Funktionsschichten für

- die Luftdichtheit
- die Winddichtheit
- die Wärmedämmung
- den Feuchteschutz
- den Schallschutz
- den Brandschutz
- die Lastabtragung und die Aussteifung

Im Folgenden werden die einzelnen Funktionsschichten im Hinblick auf die zuvor genannten Aufgaben bzw. Schutzziele erläutert.

### Luftdichtheit

Die Luftdichtheitsschicht hat die Aufgabe, eine Durchströmung der Gebäudehülle zu verhindern. Treibende Ursache für die Luftströmung ist ein anliegendes Gesamtdruckgefälle beispielsweise durch Winddruck oder Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Diese Einflüsse sind unabwendbar. Eine speziell festzulegende oder einzubauende Schicht in den Bauteilen der Gebäudehülle (z.B. Außenwand, Bodenplatte und Dach) muss die Durchströmung verhindern. Gängige Praxis ist die Verwendung einer Bauteilschicht, die bereits einer anderen Funktion, z.B. der Aussteifung dient.

Materialien für die Luftdichtheitsschicht müssen einen ausreichend hohen Strömungswiderstand aufweisen. Darüber hinaus müssen alle Anschlüsse fachgerecht ausgeführt werden.

Bei der Außenwand in Abbildung 1.1 besteht die Möglichkeit, die abdichtende Funktion der Ebene I, III oder V zuzuordnen; üblich ist Ebene III.

### Winddichtheit

Winddichtheitsschichten sind auf der Außenseite von Dämmschichten angeordnet, um eine Hinterströmung der Dämmebene zu verhindern. Fugen bei Stößen und Flanken von Dämmstoffplatten oder ein zu geringer Strö-

mungswiderstand bergen die Gefahr einer Durchströmung der Dämmebene.

Die Winddichtheit übernimmt die Ebene V der Außenwand in Abbildung 1.1.

### Wärmedämmung

Die infolge von Wärmeleitung durch Bauteile transportierte Wärme ist abhängig von der Wärmedämmung der Konstruktion. Eine hohe Wärmedämmung wird durch den Einbau von Wärmedämmstoffen, das sind Baustoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit, erreicht. Die Holzrahmen- und Holztafelbauart ermöglicht den raumsparenden Einbau von Dämmstoffen in konstruktionsbedingte Zwischenräume. Bei Holzbauteilen ergeben die statisch erforderliche, tragende Konstruktion und der Wärmedämmstoff zusammen die Wärmedämmung der Konstruktion. Elemente, die die Wärmedämmebene durchdringen, mindern den Wärmeschutz. Der Effekt kann durch die optimale Anordnung von Dämmstoffen minimiert werden.

Die Ebenen II und IV dienen bei der Konstruktion in Abbildung 1.1 der Wärmedämmung.

### Feuchteschutz

Außenbauteile werden außen und innen von Wasser beansprucht.

Schlagregen belastet die Konstruktion von außen. Ein ausreichender Schutz ist gegeben, wenn das Regenwasser nur in geringem Maße in die Konstruktion eindringen und in

der Folge wieder vollständig nach außen abgegeben werden kann. Bauteile müssen so aufgebaut sein, dass eine Schädigung durch Wasser nicht auftreten kann.

Bei der Außenwand in Abbildung 1.1 stellt Ebene VI den Wetterschutz sicher.

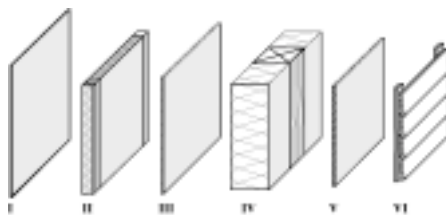
Von innen werden Bauteile durch Wasserdampf beansprucht. In der kritischen Winterperiode stellt sich ein nach außen gerichteter Wasserdampfstrom ein. Eine Abstimmung der Durchlässigkeit der einzelnen Schichten aufeinander ist die Voraussetzung dafür, dass es innerhalb der Konstruktion zu keiner Anreicherung mit Tauwasser kommt. Seit vielen Jahren sind Konstruktionen mit einer raumseitigen Dampfbremse erprobt. Zunehmend werden Bauteile eingesetzt, die im äußeren Bereich so Wasserdampf durchlässig sind, dass raumseitig auf eine Folie verzichtet werden kann.

Die Ebenen I bis V bestimmen den Feuchteschutz bezüglich der Tauwasserbildung im Bauteilinneren bei der Außenwand in Abb. 1.1.

### Schallschutz

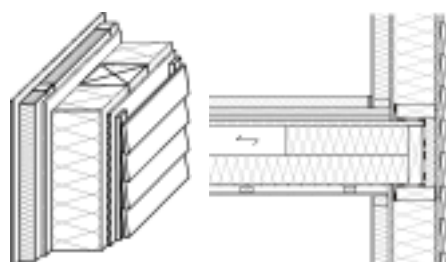
Bei der Schallübertragung wird die Konstruktion zu Schwingungen angeregt. An der Schallübertragung sind alle Bauteilschichten beteiligt. Die Flächenmasse der Beplankung und die Art der Befestigung ist von Bedeutung für die Schwingungsübertragung innerhalb von Holzbauteilen.

Funktionsschichten



Regelquerschnitt

Bauteilanschluss



Wohngebäude



Abb. 1.1: Entwicklung von den einzelnen Funktionsschichten zum Wohnhaus

## 2 Baustoffe für Funktionsschichten

Der Dämmstoff im Gefach beeinflusst die Kopplung der einzelnen Ebenen und die Schallausbreitung innerhalb des Hohlraums.

Alle Ebenen bestimmen die Schalldämmung der Außenwand in Abbildung 1.1.

### Brandschutz

Bauteile müssen im Brandfall während einer geforderten Zeitdauer ihre Funktion aufrecht erhalten. Die Leistungsfähigkeit eines Bauteils ist vom Zusammenspiel der Tragkonstruktion, der Beplankungen und der Dämmstoffe abhängig. Die Anforderungen können auch mit brennbaren Baustoffen erreicht werden. Für den Brandschutz ist die Feuerwiderstandsdauer einer Konstruktion von besonderer Bedeutung; diese wird von den Funktionsschichten I bis V bestimmt. Brandschutztechnische Anforderungen ergeben sich ggf. auch für Schicht VI.

In den vergangenen Jahren wurde eine Reihe von Bauprodukten für Holzbauteile entwickelt. Ausführliche Informationen über ihre Herstellung, Eigenschaften und Hauptanwendungsgebiete können [1] bis [8] entnommen werden. Häufig verwendete Materialien werden im Folgenden kurz beschrieben.

### Bau-Furniersperrholz

Bau-Furniersperrholz besteht aus kreuzweise angeordneten, symmetrisch zur Mittelebene verleimten Furnierlagen.

### Oriented Strand Board

Flachpressplatten sind aus großflächigen, auf der Oberfläche vorzugsweise parallel zur Plattenebene liegenden Längsspänen aufgebaut. In der Mittelschicht verlaufen die Späne quer zur Fertigungsebene.

### Flachpressplatte

Flachpressplatten werden durch Verpressen von relativ kleinen Holzspänen mit Klebstoff hergestellt. Die Holzspäne liegen parallel zur Plattenebene.

### Harte Holzfasерplatte

Harte Holzfasерplatten werden im Nassverfahren durch starkes Verpressen von verholzten Fasern ohne zusätzlichen Klebstoff hergestellt.

### Mittelharte Holzfasерplatte

Mittelharte Holzfasерplatten werden durch Verpressen von verholzten Fasern im Nassverfahren hergestellt.

### Gipskartonplatte

Gipskarton-Bauplatten bestehen aus einem mit Karton ummantelten Gipskern.

### Gipsfasерplatte

Gipsfasерplatten bestehen aus Gips und einer Armierung aus Papierfasern.

### Bahnen

Bahnen bestehen hauptsächlich aus Kunststoffen, Elastomeren, Bitumen oder Papierwerkstoffen.

### Dämmstoff

Dämmstoffe sind aus Mineralwolle, Schaumkunststoffen, Schaumglas, Holzfasern, Holzwolle, Zellulosefasern, Kork, Schafwolle u.v.a.m. verfügbar. Bei der Wärmedämmung ist eine geringe Wärmeleitfähigkeit und bei der Schalldämmung ein hoher Strömungswiderstand bzw. eine geringe dynamische Steifigkeit von Bedeutung.

## 3 Aufgaben von Funktionsschichten

### 3.1 Luftdichtheit

Eine ausreichende Luftdichtheit der Gebäudehülle ist eine grundlegende Forderung, die ohne Wenn und Aber erfüllt werden muss. Ohne ausreichende Luftdichtheit kann die Schutzfunktion der Bauteile gemindert, die Wohnqualität beeinträchtigt und die Dauerhaftigkeit der tragenden Konstruktion gefährdet sein. Die Luftdichtheit ist eine Qualitätsanforderung, die nahezu alle Funktionen der Gebäudehülle wesentlich beeinflusst. Bei vorhandenen Leckagen werden die Außenbauteile von Luft durchströmt. Die durchströmende Luft verändert die Temperaturen innerhalb der Bauteile und auf den Bauteiloberflächen. Diesen Effekt veranschaulicht eindrucksvoll die Infrarot-Thermografie.

Die **Luftdichtheit** hat Bedeutung für den

- Wärmeschutz
- Feuchteschutz
- Schallschutz
- Brandschutz

Die **Luftdichtheit** hat Auswirkung auf die

- Dauerhaftigkeit der Konstruktion
- Behaglichkeit
- Heizkosten

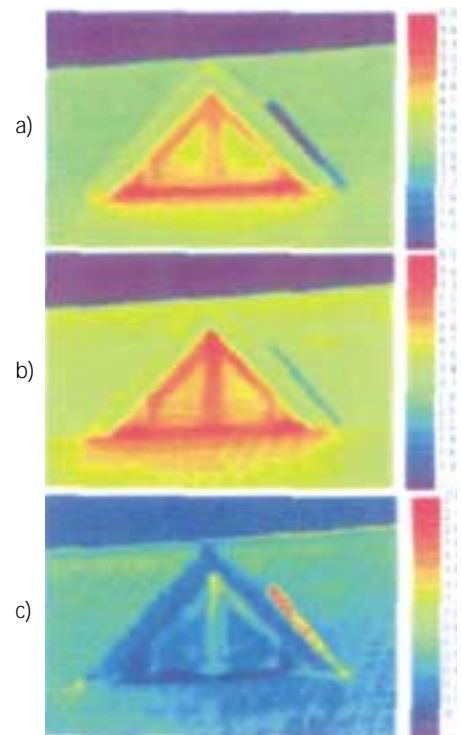


Abb 3.1.1: Thermogramme und Temperaturdifferenzbild einer Gaube [9].



Abb. 3.1.2: Anschluss einer Abseitenwand mit Elektroinstallationen und einer Dachfläche an einen Giebel [10].

Die Erhöhung der Oberflächentemperaturen eines Daches mit Gaube bei einem mechanisch erzeugten Überdruck im Gebäude zeigt Abbildung 3.1.1 [9]. Die Thermografieaufnahme a) gibt den Ausgangszustand wieder. Foto b) zeigt die Temperaturverteilung nach 20-minütigem Überdruck. Im Foto c) sind die Temperaturunterschiede beider Aufnahmen ausgewertet. Durch austretende Raumluft erwärmte Bereiche zeichnen sich durch Farbveränderungen entsprechend der rechts ausgewiesenen Farbskala ab.

Im Winter einströmende Außenluft kühlt lokal die raumseitigen Oberflächen ab. Für den in Abbildung 3.1.2 dargestellten Anschluss einer Abseitenwand mit Elektroinstallation an einen Giebel werden die Oberflächentemperaturen vor und während der Durchströmung dokumentiert [10]. Die lokale Absenkung der Oberflächentemperaturen um ca. 5 K zeigt Abbildung 3.1.3.

Eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle bedeutet beispielsweise einen hohen Schutz gegen Feuchteschäden durch konvektiv eingetragene Wassermassen, die Vermeidung unkontrollierter Lüftungswärmeverluste, einen hohen Wohnkomfort durch Verhinderung von Zugerscheinungen sowie die Unter-

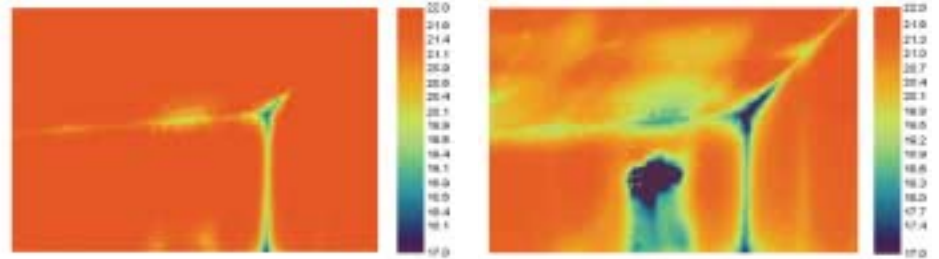


Abb. 3.1.3: Raumseitige Oberflächentemperaturen im Ausgangszustand und bei Hinterströmung für den in Abbildung 3.1.2 wiedergegebenen Bereich nach 69 min [10].

bindung des Außenlärm eintrags durch Fugen in Aufenthaltsräume.

### Grundlagen

Die Luftdichtheit wird häufig mit der Winddichtheit verwechselt. Die Gebäudehülle muss ausreichend luftdicht sein, um eine Durchströmung der Gebäudehülle mit Außen- oder Raumluft zu verhindern. Die Winddichtheit stellt sicher, dass keine Außenluft in die äußeren Schichten von Konstruktion eindringen kann und die Konstruktion auskühlt.

Treibendes Potential für Luftströmung ist ein Gesamtdruckgefälle. Die Wetterlage mit den lokalen Windverhältnissen ergibt Druckunterschiede zwischen innen und außen. Aber auch bei Windstille können Druckdifferenzen auftreten. Eine höhere

Raumlufttemperatur und ein höherer Wassergehalt der Raumluft gegenüber der Außenluft bewirken eine geringere Dichte der Raumluft. Ein Druckgefälle zur Außenluft bildet sich aus.

Um die Dichtheit der Gebäudehülle bewerten zu können, wird mit einem Ventilator ein Überdruck oder ein Unterdruck von 50 Pa gegenüber dem Luftdruck der Umgebung erzeugt. Sind Leckagen in der Gebäudehülle vorhanden, muss stetig Luft zu- bzw. abgeführt werden.

Die Messungen werden mit einer so genannten Blower Door durchgeführt. Das Mess-System besteht aus einem Ventilator, der mit einer Plane und einem flexiblen Rahmen in eine Türöffnung eingebaut wird. Abbildung 3.1.4 veranschaulicht die Messung. Für den Dichtheitsnachweis ist das Verfahren A nach DIN 13829 [11] für Gebäude im Nutzungszustand anzuwenden, d.h., dass das Gebäude dem Gebrauchszustand in der Heizperiode entsprechen soll.

### Kenngößen

#### Luftwechselrate $n_{50}$

Die Größe beschreibt die Luftwechselrate bei einer mechanisch erzeugten Druckdifferenz von 50 Pa [12, 13].

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad (1)$$

$\dot{V}_{50}$  [m<sup>3</sup>/h] Volumenstrom  
V [m<sup>3</sup>] Luftvolumen

Der Volumenbezug führt bei großen Gebäuden, die ein relativ großes Volumen im Verhältnis zur Gebäudehüllfläche aufweisen, wie z.B. Sporthallen, Schulen oder Produktionshallen, zu relativ niedrigen  $n_{50}$ -Werten.

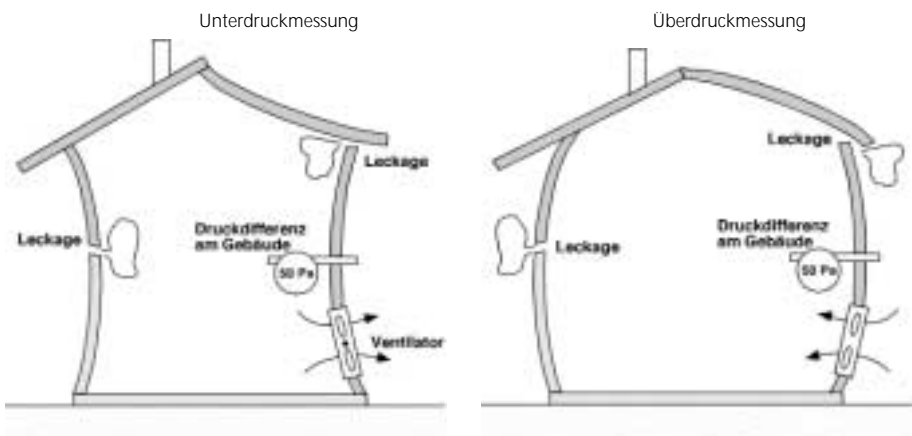


Abb. 3.1.4: Prinzipdarstellung einer Blower Door-Messung mit Überdruck und Unterdruck [12].



Blower Door-Messsystem

**w<sub>50</sub> oder NBV<sub>50</sub>**

Neben der volumenbezogenen Kenngröße  $n_{50}$  kann der bei 50 Pa bestimmte Volumenstrom auch auf die Nettogrundfläche bezogen werden.

$$w_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_F} \quad (2)$$

$A_F$  [m<sup>2</sup>] Nettogrundfläche

Der Bezug begünstigt eine kompakte Bauweise.

**q<sub>50</sub>**

Die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle wird durch das Verhältnis pro Stunde ausgetauschtes Luftvolumen bezogen auf die Gebäudehüllfläche bestimmt.

$$q_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_E} \quad (3)$$

$A_E$  [m<sup>2</sup>] Gebäudehüllfläche

Die hüllflächenbezogene Empfehlung erfordert bei größeren Gebäuden eine dichtere Außenhülle als bei kleineren.

**Gesetzliche und normative Anforderungen**

Der Bedeutung der Luftdichtheit entsprechend gibt es bereits seit Einführung der Wärmeschutzverordnung 1982 [14] die Auflage, die Gebäudehülle nach dem Stand der Technik luftdicht auszuführen. Die Anforderung wurde in DIN 4108-7 [12] und in der EnEV [15] konkretisiert. Der  $n_{50}$ -Wert darf bei beheizten Gebäuden

– ohne raumluftechnische Anlage  
 $n_{50} = 3$  1/h bzw.  $w_{50} = 7,8$  m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h)

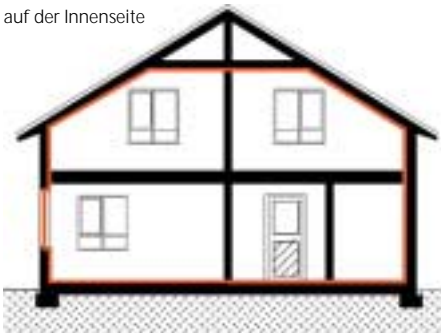
und

– mit raumluftechnischer Anlage  
 $n_{50} = 1,5$  1/h bzw.  $w_{50} = 3,9$  m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>h)

nicht überschreiten.

Mit zunehmender Energieeffizienz von Gebäuden steigen die Anforderungen an die Luftdichtheit. Für Passivhäuser ist beispielsweise ein maximaler Wert von 0,6 1/h einzuhalten [16].

auf der Innenseite



Die Überprüfung der Anforderung der EnEV ist bei Gebäuden ohne raumluftechnische Anlage (RLT) nicht vorgeschrieben. Wer dennoch eine Blower Door-Messung vorsieht, bekommt beim rechnerischen Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes einen Bonus. Der Luftwechsel für die Ermittlung der Lüftungswärmeverluste darf von 0,7 1/h auf 0,6 1/h gemindert werden.

**Schritte zu einer hohen Luftdichtheit**

Bevor näher auf die wesentlichen Punkte der konstruktiven Ausbildung der Luftdichtheitsebene eingegangen wird, soll eine in [12] vorgenommene aktuelle Bewertung häufiger Leckagen auf kritische Anschlusssituationen aufmerksam machen. Abbildung 3.1.5 zeigt die Häufigkeit typischer Leckagen bei 50 untersuchten Holzhäusern. Angegeben sind festgestellte Leckagen bezogen auf die Anzahl aller vorkommenden Anschlüsse. Die Untersuchung zeigt deutlich, dass Türen zu unbeheizten Räumen nicht genügend Beachtung geschenkt wird.

Eine ausreichende Luftdichtheit kann nur von einer systematisch geplanten und von geschulten Handwerkern eingebauten Funktions-

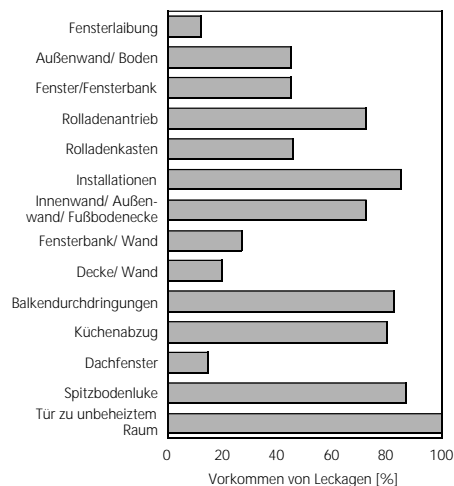


Abb. 3.1.5: Auftretenshäufigkeit von Leckagen [12].

schicht erreicht werden. Bei Ausbauhäusern sollte die Ausbildung der Luftdichtheitsebene nicht dem Bauherren überlassen werden. Die Luftdichtheitsebene muss die Gebäudehülle lückenlos umgeben. Hierbei helfen die im Schaukasten wiedergegebenen, einfachen Konstruktionsprinzipie [17].

**Planungsgrundsätze aus [17]****Konstruktionsprinzip I**

Der Verlauf der Luftdichtheitsebene in den Bauteilen der Gebäudehülle muss von einem Stift, ohne ein einziges Mal abzusetzen, abgefahren werden können!

**Konstruktionsprinzip II**

Einer Ebene muss die abdichtende Funktion zugeordnet werden. Mehrere nicht ausreichend dichte Ebenen hintereinander ergeben keine ausreichende Luftdichtheit!

Abbildung 3.1.6 zeigt schematisch mögliche Verläufe der Luftdichtheitsebene. Die Luftdichtheitsebene kann auf der Außenseite, der Innenseite oder innerhalb der Hülle wechselnd angeordnet werden. Am gebräuchlichsten ist heute der raumseitige Einbau. Ein Wechsel von innen nach außen, wie im rechten Bild skizziert, ist problematisch und mit hohem Aufwand verbunden.

**Materialien für die Luftdichtheitsebene**

Um ein luftdichtes Bauteil herstellen zu können, muss die abdichtende Funktion einer Schicht zugeordnet werden. Materialien dieser Schicht dürfen nur eine geringe Luftdurchlässigkeit aufweisen – absolut dicht müssen sie aber nicht sein. Es ist gängige Praxis, dass eine ohnehin erforderliche Bauteilschicht die abdichtende Funktion zusätzlich übernimmt. Materialien für die Luftdichtheitsebenen sollten folgende Bedingung erfüllen [18]:

$$q_{50, \text{Baustoff}} \leq 0,1 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$$

auf der Außenseite



wechselnd von innen nach außen



Abb. 3.1.6: Möglicher Verlauf der Luftdichtheitsebene in der Gebäudehülle.

Tabelle 3.1: Luftdurchlässigkeit verschiedener Materialien in der Fläche bei 50 Pa Druckdifferenz [18]

Baustoff	Luftdurchlässigkeit $Q_{50, \text{Baustoff}}$ [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h)]
Gipskarton-Bauplatte	0,002–0,03
Sperrholz	0,004–0,02
Spanplatte, MDF	0,05 –0,22
Hartfaserplatten	0,001–0,003
Holzweichfaserplatten	2,0 –3,5
diverse Holzarten als geschlossene Flächen	bis 0,0003
Unterspannbahn	1,0
PE-Folie 0,1 mm	0,0015
Bitumenpappe	0,008–0,02
Baupappe	0,01 –3,0
Mineralwolle	13–150
Hartschaumplatten	0,003–1,1
Holzwoolleichtbauplatten	950–6600
Bituminierte Holzfaserdämmplatten	1,1–2,3

Tabelle 3.1 enthält Angaben über die Luftdurchlässigkeit typischer Materialien für Holzhäuser [18].

**Wichtig ist, dass die Funktionsschicht einschließlich aller Anschlüsse ausreichend luftdicht ist.**

Der Einbau mehrerer mehr oder weniger luftdurchlässiger Schichten garantiert keine ausreichende Dichtheit der Gesamtkonstruktion! Abbildung 3.1.7 deutet den Weg strömender Luft durch ein Dach, bei lediglich überlappend eingebauten Folienbahnen, an. Nur ausreichend dichte Stöße und Anschlüsse einer durchgängigen Ebene garantieren die Luftdichtheit!

Als Baustoffe kommen Bahnen und Plattenwerkstoffe in Frage. Bei Bahnen sind beispielsweise Kunststoffe, Elastomere, Bitumen und Windpapiere verfügbar. Bei Plattenmaterialien sind Holzwerkstoffplatten, Gipsfaserplatten, Gipskarton-Bauplatten und Faserzementplatten verwendbar.

Gebräuchliche Materialien beim Holzrahmenbau sind

- a) Holzwerkstoffplatten
- b) Gipsbauplatten
- c) Baupappen
- d) Baupapiere
- e) Polyethylenfolien (PE-Folien)

Jedes Material erfordert spezifische Lösungen für die Abdichtung der Stöße, der Überlappungen und der Anschlüsse an angrenzende Bauteile und an Durchdringungen. Wichtig für die Dauerhaftigkeit der Anschlüsse ist,



Abb. 3.1.7: Durchströmung einer Dachkonstruktion bei vermeintlich ausreichender Überlappung der Unterspannbahn und der Dampfbremse.

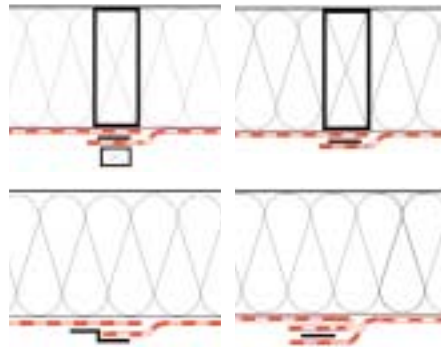


Abb. 3.1.8: Prinzipskizze für die Ausbildung von Überlappungen mit einseitigem und doppelseitigem Klebeband [13].

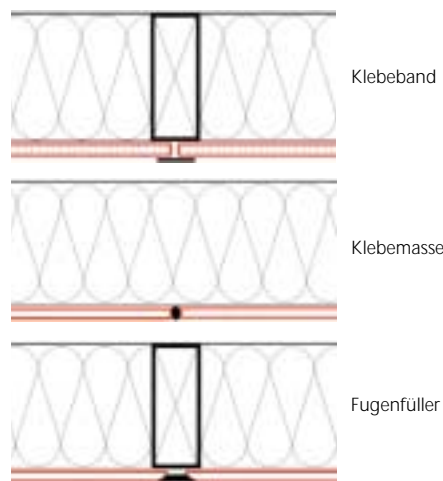


Abb. 3.1.9: Prinzipskizze für die Ausbildung von Stößen mit einseitigem Klebeband, Klebemasse und Fugenfüller [13].

dass die einzelnen Materialien aufeinander abgestimmt und miteinander verträglich sind. Deshalb sollte auf Systemlösungen von Anbietern zurückgegriffen werden. Die jeweiligen Verarbeitungsrichtlinien müssen sorgfältig eingehalten werden. Über die Dauerhaf-

tigkeit von Klebeverbindungen liegen derzeit nur wenige Erkenntnisse vor, deshalb sollten die aktuellen Hinweise des Fachverbands Luftdichtheit im Bauwesen beachtet werden [19].

Unvermeidbare Perforationen der Luftdichtheitsschicht durch Klammern, Nägel oder Schrauben sind unproblematisch. Solange geheftete Folien nicht ausreißen, ist eine Durchströmung nicht gegeben.

Beispiele für die Sicherung von Überlappungen bei Bahnen und von Stößen bei Plattenmaterialien können Abbildung 3.1.8 und 3.1.9 entnommen werden [13].

Für die Abdichtung von Folien und Plattenstößen stehen folgende Hilfsstoffe zur Verfügung:

- einseitige Haftklebebänder
- zweiseitige Klebebänder oder Klebmassen
- vorkomprimierte Dichtungsbänder
- Fugenfüller mit Bewehrungsstreifen

Die Dauerhaftigkeit von Verklebungen bei Folien wird durch Knicke und Falten beeinträchtigt. Das hohe Rückstellvermögen von Folien kann langfristig zum Ablösen von Klebebändern führen. Hier sollten die miteinander verklebten Folien zusätzlich mit einer Heftung oder einer Anpressplatte gesichert werden.

Bei Fugen, die mit Abdichtungsmassen (z.B. Acryl und Silikon) abgedichtet werden, kann es sich abhängig von der Anschlusssituation um Wartungsfugen handeln. Montageschäume sind zur Aufnahme von Bauteilverformungen ungeeignet [13].

### Hinweise für die Ausführung einzelner Anschlüsse

Beim Anschluss der Luftdichtheitsschicht von Außenwänden an die Bodenplatte im Erdgeschoss muss darauf geachtet werden, dass auch hinter den Befestigungselementen die Abdichtung durchläuft. Folien sollten mit einem Klebeband oder einer Dichtungsmasse mit der Bodenplatte verbunden werden. Auch bei großer Überdeckung reicht ein Anpressen der Bahnen durch schwimmenden Estrich aufgrund unvermeidbarer Unebenheiten bei Betonoberflächen und möglicher Falten in den Bahnen nicht zuverlässig aus. Des Weiteren darf ein Hohlraum, wie in Abbildung 3.1.10 eingezeichnet, nicht auftreten. Je nach Dichtheit der Unterfütterung kann die Schwelle hinterströmen und damit die Konstruktion auskühlen. Die Schwelle kann beispielsweise mit einem kaltverklebten Bitumenwinkel abgedichtet werden.

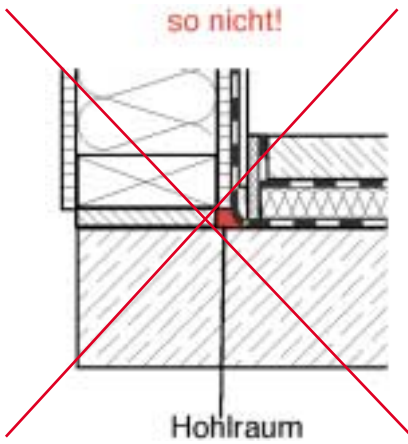


Abb. 3.1.10: Mangelhafte Ausbildung des Sockelanschlusses mit möglicher Hinterströmung der Konstruktion.

Bei Durchführungen von Kanälen, Elektroleitungen, Rohren, Installationsschächten und Kaminen ist besondere Sorgfalt erforderlich. Die Durchdringungen können Öffnungen zu besonders weit verzweigten Bauteilen, wie die Geschossdecken, schaffen. In Hohlräumen von Installationsschächten und Kaminen kann ohne geeignete Abdichtung das gesamte Gebäude durchströmt werden. Fugen zu Betondecken können vergossen oder mit einem Randdämmstreifen und abschließender Dichtungsmasse abgedichtet werden. Rohrdurchdringungen kann man mit vorkonfektionierten Manschetten oder vor Ort hergestellten Manschetten aus reißfesten, armierten Klebändern herstellen. Abbildung 3.1.11 zeigt beide Lösungen.



Abb. 3.1.11: Ausbildung von Rohrdurchführungen mittels vorkonfektionierter Manschetten (oben) und Klebandmanschette (unten) [12].



Abb. 3.1.12: Luftdichte Hohlwanddose.

#### Schritte zur Erzielung einer luftdichten Gebäudehülle

- Festlegung des Luftdichtheitskonzepts beim Gebäudeentwurf
- Verwendung ausreichend luftdichter Materialien für die Luftdichtheitsebene
- Sorgfältige Planung aller Stöße, Anschlüsse und Durchdringungen
- Auf der Baustelle darf die Ausbildung von Anschlüssen nicht dem Zufall überlassen werden.
- Durchführung einer Blower Door-Messung vor dem Endausbau, um nachbessern zu können.

Ist bei Außenbauteilen vor der Luftdichtheitsebene eine Installationsebene vorhanden, stellt der Einbau der Elektroinstallation keine Gefahr dar. Durchstößt die Hohlwanddose hingegen die Luftdichtheitsebene, ist eine elastische Dichtung bei Kabeldurchführungen und ein luftdichter Anschluss an die raumseitige Platte erforderlich. Die Funktion der Abdichtung übernimmt die raumseitige Platte. Abbildung 3.1.12 zeigt eine eingebaute Hohlwanddose.

Weitere Erläuterungen zu häufigen Leckagen in Holzhäusern finden sich in [12].

### 3.2 Winddichtheit

Die Winddichtheit hat die Aufgabe, ein Durchströmen von Bauteilschichten mit Außenluft in der Bauteilebene zu verhindern.

#### Grundlagen

Durch die von Wind induzierte Druckverteilung auf der Außenoberfläche von Gebäuden

kann sich eine partielle Durchströmung einzelner Bauteilschichten einstellen. Durch Lüftungsöffnungen und nicht gesicherte Bauteilanschlüsse kann Außenluft bei vorhandenem Gesamtdruckgefälle in die Konstruktion einströmen.

#### Ausführung

Ungeschützte Dämmstoffschichten können durch eindringende Außenluft einen Teil ihrer Dämmwirkung verlieren [20]. Deshalb sollte insbesondere in Anschlussbereichen auf der Außenseite von Dämmstoffen eine Winddichtheitsebene vorgesehene werden. Für die Anordnung der Ebene und ihre konstruktive Ausbildung gibt es keine Vorschriften.

#### Materialien

- Materialien für die Winddichtheitsebene sind
- Holzweichfaserplatten
  - Bitumenpappen auf Holzschalung
  - Unterspannbahnen
  - ausreichend elastische Dämmstoffplatten mit hohem Strömungswiderstand

### 3.3 Wärmedämmung

Die Wärmedämmung von Bauteilen ist ein wesentlicher Bestandteil des Wärmeschutzes von Gebäuden. Der Wärmeschutz beinhaltet die Luftdichtheit, die Transmissionswärmeverluste, die Lüftungswärmeverluste und die solaren Wärmegevinne. Er hat die Aufgabe mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand [21] behagliche Raumtemperaturen zu ermöglichen und ausreichend hohe Oberflächentemperaturen zur Verhinderung von Schimmelpilzbildung zu gewährleisten. In der Folge eines unzureichenden Wärmeschutzes können sich unbehagliche und unhygienische raumklimatische Wohnverhältnisse [22] einstellen. Der Wärmeschutz beeinflusst die Hygiene, die Behaglichkeit, die Wohngesundheit und die Daseinsvorsorge [23].

Die wärmetechnische Güte der Gebäudehülle kann mit der Infrarot-Thermografie sichtbar gemacht werden. Die für Menschen unsichtbare langwellige Wärmeabstrahlung von Bauteiloberflächen kann farblich abgebildet werden. Außenoberflächen von Wohnhäusern nehmen während der Heizperiode höhere Temperaturen als die Umgebung an. Abbildung 3.3.1 zeigt die Real- und die Thermografieaufnahme eines Fachwerkhäuses. Deutlich zeichnen sich die Bereiche höherer Oberflächentemperaturen ab. Derartig sanierte Fachwerkhäuser stellen wärmetechnisch immer einen Kompromiss dar. Vergleichend kann die Qualität eines Passivhauses Abbildung 3.3.2 entnommen werden.



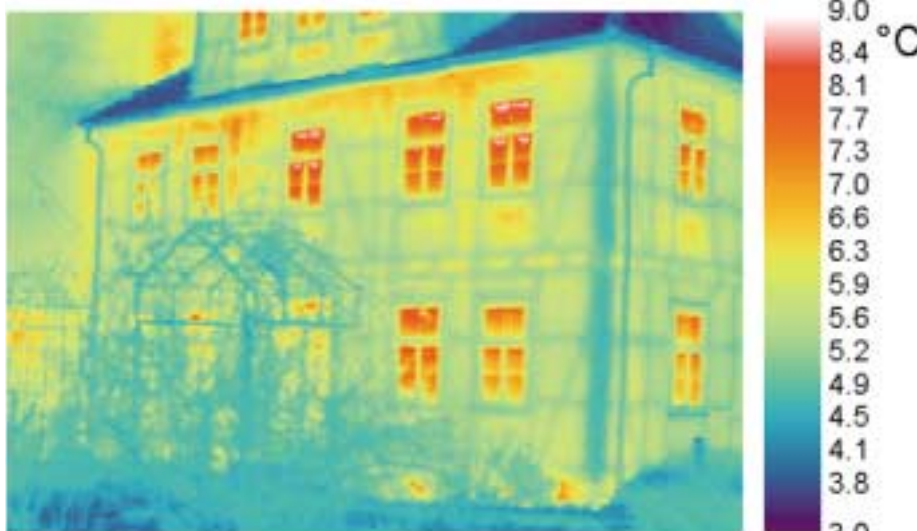


Abb. 3.3.1: Real- und Thermografieaufnahme eines Fachwerkhouses.

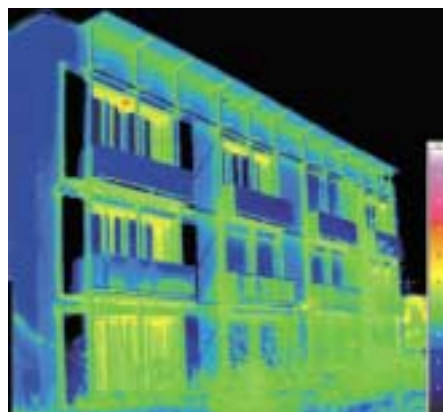


Abb. 3.3.2: Realaufnahme und Thermografieaufnahme eines Passivhauses.



Abb. 3.3.3: Wasserfleck durch Tauwasserbildung hinter einer Vorsatzschale.



Abb. 3.3.4: Tauwasserbildung auf Verglasung.



Abb. 3.3.5: Schimmelpilzbildung im Sockelbereich.

Zu niedrige raumseitige Oberflächentemperaturen bilden ein Risiko für Schimmelpilzbildung. Bei sehr niedrigen Oberflächentemperaturen kann Tauwasserbildung einsetzen - eine detaillierte Beschreibung des Phänomens findet sich im Kapitel 3.4, „Feuchteschutz“. Abbildung 3.3.3 zeigt die Folgen von Tauwasserbildung hinter einer Vorsatzschale, die vor einer ungenügend gedämmten Außenwand angeordnet ist.

In Abbildung 3.3.4 ist Tauwasser auf einer Isolierverglasung zu erkennen.

Abbildung 3.3.5 zeigt Schimmelpilzbildung in einem Sockelbereich nach lang anhaltender niedriger Oberflächentemperatur.

**Aufgabe der Hülle, Bauteile und Funktionsschichten**

Im Holzrahmen/-tafelbau sind tragende und wärmedämmende Funktion voneinander getrennt. Die Funktion der Wärmedämmung wird in den Bauteilen von Dämmstoffen übernommen.

**Grundlagen**

Die Fähigkeit von Baustoffen Wärme zu leiten, wird mit der Kenngröße Wärmeleitfähigkeit beschrieben. Materialien, die für den Wärmeschutz eingesetzt werden, bezeichnet man als Dämmstoffe. Ihre Wärmeleitfähigkeit liegt unter 0,1 W/(mK) [24].

Tabelle 3.3.1: Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Baustoffe [25], [26].

Baustoff	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [W/(m · K)]
Konstruktionsvollholz 500 kg/m <sup>3</sup>	0,13
Konstruktionsvollholz 700 kg/m <sup>3</sup>	0,18
Flachpressspanplatte (300 kg/m <sup>3</sup> ≤ ρ ≤ 900 kg/m <sup>3</sup> )	0,10–0,18
Holzfaserverleimplatte (250 kg/m <sup>3</sup> ≤ ρ ≤ 800 kg/m <sup>3</sup> )	0,07–0,18
OSB-Platten	0,13
Furnierschichtholz (Sperrholz) (300 kg/m <sup>3</sup> ≤ ρ ≤ 1000 kg/m <sup>3</sup> )	0,09–0,24
Kunstharzputz	0,71
Gipskarton-Bauplatte	0,51
Beton, armiert mit 1% Stahl	2,30
Beton, armiert mit 2% Stahl	2,50
Zement-Estrich	1,40
Mineralwolle	0,030–0,060
Expandierter Polystyrolschaum	0,030–0,060
Extrudierter Polystyrolschaum	0,026–0,048
Polyurethan-Hartschaum	0,020–0,048
Holzfaserdämmstoffe	0,032–0,085

Für wärmetechnische Berechnungen müssen seit Einführung der EnEV [15] Bemessungswerte verwendet werden. Werte finden sich in DIN 4108-4 [25] und DIN EN 12524 [26]. Tabelle 3.3.1 nennt Bemessungswerte gebräuchlicher Baustoffe beim Holzrahmenbau.

Die Kenngröße zur Beschreibung der wärmetechnischen Wirkung einer Funktionsschicht ist der Wärmedurchlasswiderstand R in m<sup>2</sup> K/W. Seine Bestimmung ist in der DIN 6946 [27] geregelt. Der Wärmedurchlasswiderstand errechnet sich aus der Schichtdicke und der Wärmeleitfähigkeit

$$R = d/\lambda \tag{4}$$

mit  
d [m] Schichtdicke  
λ [W/(mK)] Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit

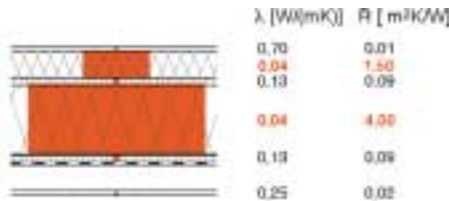


Abb. 3.3.6: Wärmetechnische Eigenschaften einzelner Bauteilschichten einer Außenwand.

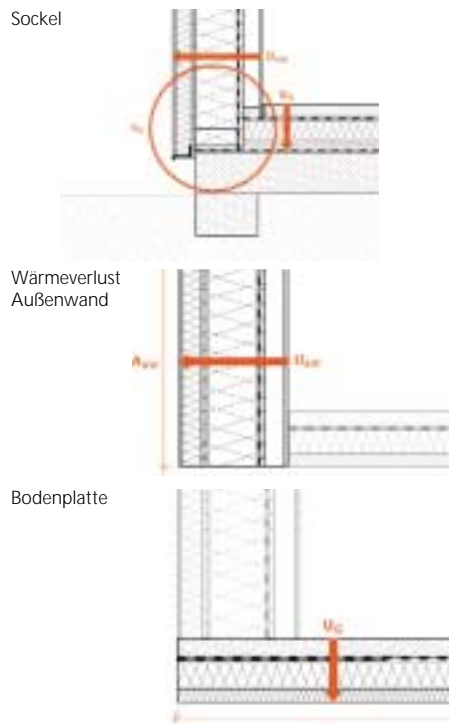


Abb. 3.3.7: Wärmeverlust eines Sockelanschlusses gemäß EnEV [15].

Die Wertigkeit der einzelnen Bauteilschichten einer Außenwand für den Wärmeschutz hebt Abbildung 3.3.6 hervor. Die Breite der roten Linie innerhalb des Bauteils kennzeichnet das Verhältnis der Wärmedurchlasswiderstände untereinander.

Der Wärmedurchgangswiderstand eines mehrschichtigen Bauteils errechnet sich zu:

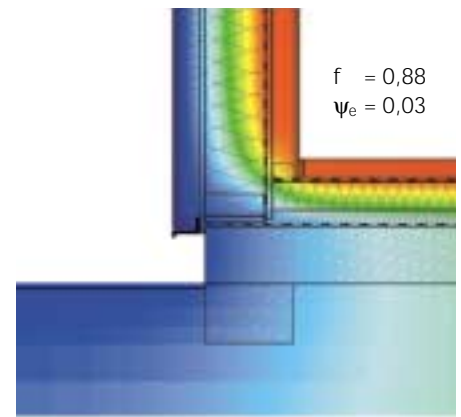


Abb. 3.3.9: Wärmetechnisch günstige Sockelausbildung [28].

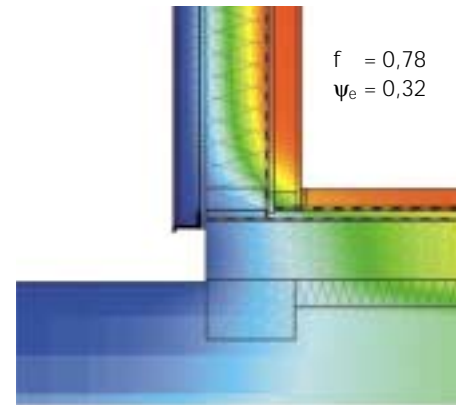


Abb. 3.3.10: Wärmetechnisch schlechte Sockelausbildung [28].

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{se} \tag{5}$$

mit  
R<sub>si</sub> [m<sup>2</sup>K/W] innerer Wärmeübergangswiderstand  
R<sub>i</sub> [m<sup>2</sup>K/W] Bemessungswert des Wärmedurchlasswiderstands jeder Schicht  
R<sub>se</sub> [m<sup>2</sup>K/W] äußerer Wärmeübergangswiderstand

Bei der Holzrahmenbauart handelt es sich um zusammengesetzte Bauteile mit einem Gefach und einem Rippenbereich. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient für den zusam-

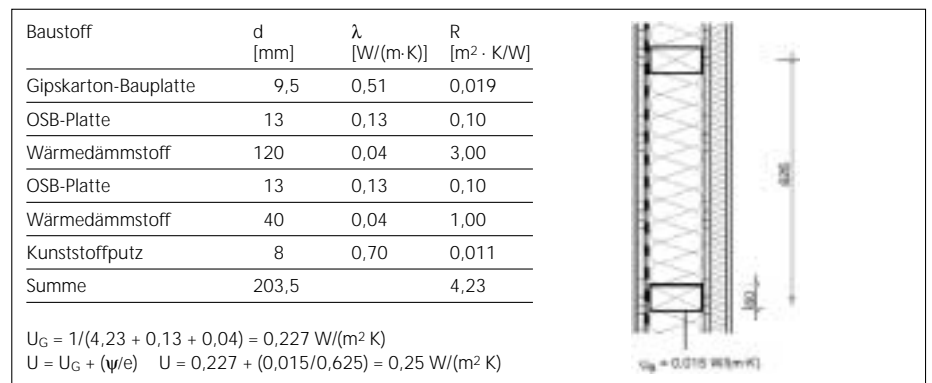


Abb. 3.3.8: Beispiel für die Bestimmung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U gemäß DIN 10211-2 [29].

mengesetzten Regelquerschnitt wird üblicherweise mit einem in DIN EN ISO 6946 [27] angegebenen Näherungsverfahren berechnet. Die Wärmebrückenwirkung von Konstruktionshölzern kann entweder durch die Bildung einer mittleren Wärmeleitfähigkeit oder durch den mittleren Wärmedurchlasswiderstand der einzelnen Schichten Berücksichtigung finden.

Die maßgebende Größe für die wärmetechnische Bewertung von Bauteilen ist der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  [ $W/(m^2K)$ ], der sich aus dem Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstands gemäß Gleichung (6) errechnet.

$$U = 1/R_T \quad (6)$$

Der detaillierte Berechnungsablauf zur Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten nach DIN 6946 [27] ist in [23] erläutert.

Die infolge von Wärmebrücken zusätzlich auftretenden Transmissionswärmeverluste kennzeichnen die Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\psi$  in  $W/(mK)$  und  $\chi$  in  $W/K$ .  $\psi$  beschreibt die Wärmebrückenverluste bei linienförmigen Wärmebrücken und  $\chi$  bei punktförmigen Wärmebrücken. Wird die wärmetauschende Hüllfläche über die Außenmaße berechnet, so sind außenmaßbezogene Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\psi_e$  heranzuziehen, während  $\psi_i$ -Werte bei Verwendung von Innenmaßen anzuwenden sind. Die Dicke und Lage der Dämmstoffe entscheidet über die wärmetechnische Güte der Detailsbildung.

Bauteilanschlüsse stellen eine Störung des Regelquerschnitts von Bauteilen dar. Um den Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle nach EnEV [15], [24] zu berechnen, wird zunächst jedes Bauteil einzeln, außenmaßbezogen betrachtet und anschließend der zusätzliche Verlust durch die Wärmebrückenwirkung hinzuaddiert. Abbildung 3.3.7 veranschaulicht die Vorgehensweise bei der Berechnung der Wärmeverluste unter Berücksichtigung eines Sockels nach [24]. Der Anschlussbereich wird doppelt angesetzt.

Umfangreiche Berechnungsergebnisse für Bauteilanschlüsse im Holzbau und im Mauerwerksbau sind in [28] zusammengestellt.

Bei regelmäßigem Auftreten von Wärmebrücken können die Wärmebrückenwirkungen über das in DIN EN ISO 6946 [27] beschriebene Näherungsverfahren hinaus auch detailliert auf der Grundlage von DIN EN ISO 10211-2 [29] ermittelt und in einen mittleren

Wärmedurchgangskoeffizienten des jeweiligen Bauteils umgerechnet werden.

Bei regelmäßig auftretenden linienförmigen Wärmebrücken ergibt sich  $U$  aus

$$U = U_{\text{Gefach}} + \psi_e/e \quad (7)$$

mit  
 $e$  [m] Achsmaß der Wärmebrücken  
und  
bei punktförmigen Wärmebrücken aus

$$U = U_{\text{Gefach}} + \chi \cdot n \quad (8)$$

mit  
 $n$  [ $1/m^2$ ] Anzahl der punktförmigen Wärmebrücken je Quadratmeter Bauteilfläche.

Abbildung 3.3.8 erläutert die Bestimmung des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten  $U$  gemäß DIN 10211-2 [29] bis [31].

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Oberflächentemperatur. Temperaturen werden üblicherweise in  $^{\circ}C$  angegeben. Zur Kennzeichnung der raumseitigen Oberflächentemperaturen ist dabei jeweils die Fixierung der Außen- und Innenlufttemperatur notwendig. Deshalb ist es praktischer, die raumseitigen Oberflächentemperaturen von Außenbauteilen mit Hilfe eines dimensionslosen Temperaturfaktors gem. folgender Definition zu beschreiben [29] bis [32]:

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) \quad (9)$$

mit  
 $\theta_{si}$  [ $^{\circ}C$ ] raumseitige Oberflächentemperatur  
 $\theta_i$  [ $^{\circ}C$ ] Raumlufttemperatur  
 $\theta_e$  [ $^{\circ}C$ ] Außenlufttemperatur  
 $f = 1$  [-] entspricht der Raumlufttemperatur  
 $f = 0$  [-] entspricht der Außenlufttemperatur.

Soll bei bekanntem Temperaturfaktor die Oberflächentemperatur in Celsius ermittelt werden, so ist eine einfache Umrechnung auf beliebige Innen- und Außenlufttemperaturbedingungen mit Gleichung (10) möglich:

$$\theta_{si} = (\theta_i - \theta_e) \cdot f_{Rsi} + \theta_e \quad (10)$$

Die Darstellung der Temperaturverteilung innerhalb von Bauteilanschlüssen erfolgt am anschaulichsten farbig. Die Gegenüberstellung von Lösungen für eine Sockelausbildung in den Abbildungen 3.3.9 und 3.3.10 zeigt die wärmetechnische Qualität auf. Der Einbau des Dämmstoffs oberhalb der Betonplatte ist wärmetechnisch wesentlich günstiger als unterhalb. Die Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\psi$  unterscheiden sich nahezu um den Faktor 10.

### Gesetzliche Anforderungen

Bauordnungsrechtlich stellt die EnEV [15] Anforderungen an die gesamte Gebäudehülle im Zusammenwirken mit der technischen Gebäudeausrüstung. Darüber hinaus müssen auch Mindestanforderungen, die in DIN 4108-2 [33] enthalten sind, von den einzelnen Bauteilen erfüllt werden. Die Mindestanforderungen sind notwendig, weil es die integrale Anforderung der EnEV erlauben würde, den schlechten Wärmeschutz einzelner Bauteile (beispielsweise ein Brüstungselement aus einer einzelnen Holzwerkstoffplatte ohne Dämmstoffschicht) durch ausgleichende Maßnahmen (beispielsweise effizientere Heizungstechnik) zu kompensieren.

### Mindestwärmeschutz

Der Wärmedurchlasswiderstand von Außenwänden darf den Wert von  $1,20 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  nicht unterschreiten. Bei Decken gegen Außenluft nach oben beträgt der Grenzwert ebenfalls  $1,20 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  und bei Decken gegen Außenluft nach unten  $1,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Beim unteren Abschluss nicht unterkellerten Aufenthaltsräume ist wenigstens ein Wert von  $0,90 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  einzuhalten.

Darüber hinaus sind bei Außenwänden und Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Dächern mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse unter  $100 \text{ kg/m}^2$  erhöhte Wärmedurchlasswiderstände mit einem Mindestwert von  $1,75 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  für den Gefachbereich vorzusehen. Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient zusammengesetzter Bauteile darf  $1,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  nicht unterschreiten. Eine Unterschreitung des Mindestwärmeschutzes, z.B. in Heizkörpernischen, Fensterstürzen oder Rohrkanälen ist nicht erlaubt.

Bei Bauteilen mit einer Abdichtungsebene gegen Wasser von außen dürfen lediglich die raumseitigen Schichten bis zur Bauwerksabdichtung angesetzt werden. Eine Ausnahme bilden lediglich Dämmebenen aus extrudiertem Polystyrolhartschaum und Schaumglas [33].

Im Bereich von Wärmebrücken können deutlich niedrigere Oberflächentemperaturen als im Regelbereich auftreten. Um die Gefahr einer Schimmelpilzbildung in Wohnräumen mit üblicher Nutzung auszuschließen, muss mit Ausnahme von Fenstern und Fensterfassaden an der ungünstigsten Stelle ein Temperaturfaktor von

$$f_{Rsi} \geq 0,70$$

eingehalten werden. Ein rechnerischer Nachweis ist nicht erforderlich

- bei einer Anschlussausbildung gemäß Beiblatt 2 zu DIN 4108 [34] und
- bei Ecken von Außenbauteilen mit gleichartigem Aufbau, deren Einzelkomponenten den Mindestwärmeschutz erfüllen.

Für übliche Verbindungsmittel, wie z.B. Nägel, Schrauben und Drahtanker braucht kein Nachweis der Wärmebrückenwirkung geführt zu werden.

Angaben zu Temperaturfaktoren für ausgewählte Bauteilanschlüsse finden sich in [28]. Günstig wirkt sich bei der Holzbauart die geringe Wärmeleitfähigkeit der Tragkonstruktion aus. Wärmebrückeneffekte führen nur bei groben Planungs- und Ausführungsfehlern zu Schäden.

Eine Zusammenstellung von Dämmstoffdicken für den Mindestwärmeschutz von Gebäuden gemäß EnEV [35] und Gebäuden mit dem  $Q_p40$ -Standard [36] – Gebäude mit einem Jahres-Primärenergiebedarf von 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) –, vergleichbar dem Passivhausniveau, finden sich in Tabelle 3.3.2. Die Wahlmöglichkeit bei der Güte der technischen Gebäudeausrüstung ergibt eine große Bandbreite beim baulichen Wärmeschutz.

Abhängig vom Verwendungszweck müssen Dämmstoffe anwendungsbezogene Anforderungen (beispielsweise hohe Druckbelastbarkeit, geringe dynamische Steifigkeit, hoher Strömungswiderstand) erfüllen. Die bisher noch in den einzelnen Produktnormen und -zulassungen geregelten Anwendungsgebiete werden zukünftig für werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe in DIN 4108-10 [37] geregelt.

Tabelle 3.3.2: Dämmstoffdicken ( $\lambda = 0,04 \text{ W/(mK)}$ ) und Fenstereigenschaften.

Bauweise	Mindestwärmeschutz		Gebäude nach EnEV	Gebäude mit $Q_p 40$
	leicht	schwer		
Dach	7 cm	5 cm	18 cm bis 22 cm	33 cm bis 48 cm
Außenwand	7 cm	5 cm	$\geq 10 \text{ cm}$	33 cm bis 48 cm
Bodenplatte	4 cm	6 cm bis 8 cm		21 cm bis 27 cm
Fenster $U_w$			1,4 W/(m <sup>2</sup> ·K)	0,7 W/(m <sup>2</sup> ·K)

### 3.4 Feuchteschutz

Funktionsfähige Häuser setzen einen ausreichenden Schutz gegen einwirkendes Wasser voraus. Außenbauteile sind Schlagregen und Wasserdampf ausgesetzt. Durch eindringendes Wasser darf es nicht zu Schäden kommen. Mangelhafter Feuchteschutz kann zu vermindertem Wärmeschutz, Schimmelpilzbildung und Korrosion führen.

Der **Feuchteschutz** hat Bedeutung für

- die Dauerhaftigkeit von Bauteilen
- die Hygiene in Wohnräumen
- die Wirksamkeit des Wärmeschutzes

#### Aufgabe der Bauteilschichten

Übliche Baustoffe sind wasserdurchlässig. Deshalb müssen Außenbauteile so aufgebaut sein, dass es im Bauteilinneren nicht zu einer schädigenden Anreicherung mit Wasser kommt. Sind Schichtanordnung und Materialeigenschaften nicht auf die Feuchtebelastung abgestimmt, kommt es zu Schäden. Deshalb bestehen bauordnungsrechtliche Anforderungen an den Feuchteschutz.

#### Grundlagen

Wasser ist natürlicher Bestandteil unserer Umwelt. Es kommt in festem, flüssigem und dampfförmigem Zustand vor [38]. Das Besondere an Wassermolekülen ist ihre geringe Größe ( $0,28 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ) und ihre Polarität. Obwohl Wassermoleküle elektrisch neutral sind, gibt es auf ihrer Oberfläche durch die Anordnung der Atome eine Ladungsverteilung. Diese Ladungsverteilung ist die Ursache für die starke Wechselwirkung mit üblichen Baustoffen.

Luft kann nur begrenzt Wasser aufnehmen. Abhängig von der Temperatur gibt es eine Sättigungsgrenze, die dazu führt, dass eine weitere Wasserdampfaufnahme nicht möglich ist. Abbildung 3.4.1 zeigt den Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und maximal möglicher Wassermenge. Die relative Luftfeuchte  $\phi$  ist das Verhältnis der in der Luft enthaltenen Wassermenge bezogen auf die bei der jeweiligen Lufttemperatur maximal mögliche Wassermenge. Die Temperaturabhängigkeit ist dafür verantwortlich, dass bei Abkühlung der Luft Tauwasser ausfallen kann.

Beim Feuchtetransport wird zwischen der Diffusion und der Kapillarleitung unterschieden. Bei der Diffusion wandern die Wassermoleküle aufgrund von Wasserdampf Konzentrationsunterschieden durch Bauteile. Bei der Kapillarleitung sind größere Wassermengen in

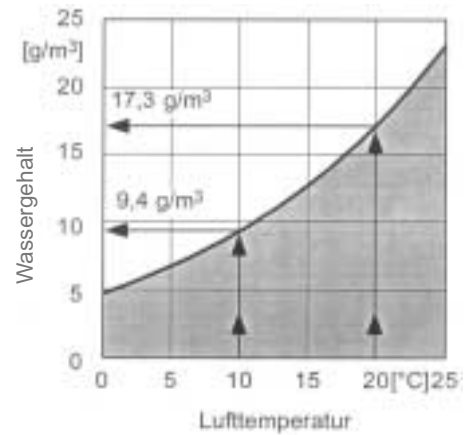


Abb. 3.4.1: Maximaler Wassergehalt der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur [39].

flüssiger Form im Material vorhanden. Durch die Polarität des Wassers tritt eine Kraft zwischen Wasser, Feststoff und Luft auf. Diese Kraft ist die treibende Ursache für den kapillaren Wassertransport. Die Bewertung des kapillaren Wassertransports ist heute nur mit großem Aufwand möglich. Deshalb werden in der Baupraxis in der Regel Nachweise mit der alleinigen Berücksichtigung der Diffusion durchgeführt. Ansatzweise wird die beschleunigende Wirkung der Kapillarleitung bei der Wasserdampfdiffusion in Ansatz gebracht.

#### Materialkenngröße

Die Bewegung der Wassermoleküle ist sehr gering. Deshalb wurde ein Verhältniswert definiert, der die Durchlässigkeit eines Materials im Vergleich zur Luft beschreibt. Diese Größe heißt Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl  $\mu$ . Der Umweg eines Wassermoleküls bezogen auf die geradlinige Verbindung in Luft entspricht dem  $\mu$ -Wert.

Um nicht nur die Dichtigkeit eines Baustoffs sondern die einer Bauteilschicht zu beschreiben, wird die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

$$s_d = \mu \cdot d \quad (11)$$

verwendet. Der  $s_d$ -Wert in Meter gibt an, wie dick eine Luftschicht sein muss, damit sie den gleichen Widerstand wie eine reale Bauteilschicht hat. Der  $s_d$ -Wert wird üblicherweise bei Folien und Anstrichen wegen der geringen Schichtdicke verwendet.

Ein weiteres Phänomen bei Baustoffen ist die Anlagerung von Wassermolekülen an die innere Oberfläche von Materialien. Mit zunehmender relativer Luftfeuchte lagern sich mehr und mehr Wassermoleküle an der inneren Oberfläche von hydrophilen Materialien an. Der höhere Wassergehalt bewirkt eine Beschleunigung der Wasserbewegung. Deshalb unterscheiden sich die Werte im trockenen

und feuchten Zustand erheblich. Werte gängiger Baustoffe für Holzhäuser finden sich in Tabelle 3.4.1 und Tabelle 3.4.2. DIN 4108-4 [25] und DIN EN 12524 [26] enthalten die zu verwendenden Stoffdaten.

Die Wertigkeit der einzelnen Bauteilschichten einer Außenwand für den Feuchteschutz hebt Abbildung 3.4.2 hervor. Das Verhältnis der  $s_d$ -Werte untereinander kennzeichnet die Breite der roten Linie innerhalb des Bauteils.

Die Aufnahme von flüssigem Wasser in ein Außenbauteil wird mit dem Wasseraufnahmekoeffizienten  $\mu$  beschrieben. Die Kenngröße wird durch Eintauchen von Probekörpern in flüssiges Wasser bestimmt.

Tabelle 3.4.1:  $\mu$ -Werte gängiger Baustoffe [25], [26].

Baustoff	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu$ nach DIN 12524	
	trocken	feucht
Konstruktionsvollholz	50	20
Flachpressspanplatte (300 kg/m <sup>3</sup> ≤ $\rho$ ≤ 900 kg/m <sup>3</sup> )	50	10–20
Holzfaserverplatte (einschließlich MDF) (250 kg/m <sup>3</sup> ≤ $\rho$ ≤ 800 kg/m <sup>3</sup> )	5–10	2–20
OSB-Platten	50	30
Furnierschichtholz (Sperrholz) (300 kg/m <sup>3</sup> ≤ $\rho$ ≤ 1000 kg/m <sup>3</sup> )	150–250	50–110
Kunstharzputz	50/200	
Gipskarton-Bauplatte	5/10	
Beton, armiert mit 1% Stahl	130	80
Beton, armiert mit 2% Stahl	130	80
Zement-Estrich	15/35	
Mineralwolle	1	
Expandierter Polystyrolschaum	20/100	
Extrudierter Polystyrolschaum	80/250	
Polyurethan-Hartschaum	40/200	
Holzwoolleleichtbauplatte	0,4	
Holzfaserdämmstoff	5	5

Tabelle 3.4.2:  $s_d$ -Werte gängiger Baustoffe [26].

Baustoff	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschicht $s_d$ [m]
Polyethylenfolie	50–100
Polyesterfolie	50
Aluminium-Folie	1500
PE-Folie (gestapelt)	8
Bituminiertes Papier	2
Aluminiumverbundfolie	10

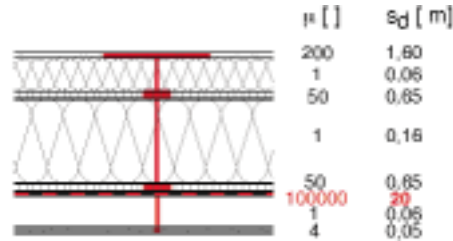


Abb. 3.4.2: Wertigkeit der einzelnen Schichten für den Feuchteschutz.

Außenputze werden abhängig von ihrem Wasseraufnahmekoeffizienten und der wasser-dampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke in wasserhemmend oder wasserabweisend eingestuft.

### Bauaufsichtliche Anforderungen

Der Nachweis des Feuchteschutzes von Bauteilen ist bauordnungsrechtlich gefordert. DIN 4108-3 [40] enthält die Bedingungen und die Berechnungsalgorithmen für den Nachweis auf Tauwasserbildung und ausreichenden Schlagregenschutz.

Für den rechnerischen Nachweis steht derzeit für die Praxis nur das Glaserverfahren zur Verfügung. Das Verfahren beschreibt nicht die realen Transportvorgänge und ist als formaler Nachweis anzusehen. Deshalb ist der Nachweis nur für geringe Feuchtebelastungen wie bei Wohnräumen und ähnlicher Nutzung er-

Tabelle 3.4.3: Innerhalb von 24 Stunden durch Diffusion und Konvektion nach außen abgegebene Wassermenge.

	Raum-klima	Außen-klima
Lufttemperatur	20 °C	0 °C
Relative Luftfeuchte	50%	80%
Wasserdampf-sättigungsdruck	2337 Pa	611 Pa
Wasserdampf-teildruck	1168 Pa	488 Pa
<b>Diffusion</b>		
Außenwandfläche 15 m <sup>2</sup>	M = 6,6 g/d	
<b>Konvektion</b>		
Schlitz: 3 mm breit, 1 m lang, Druckdifferenz: 3 Pa	M = 484 g/d	

laubt. Genauere Verfahren schaffen hier Abhilfe [41, 42]. Eine umfangreiche Untersuchung in [43] zeigt, dass bei einigen Konstruktionen bei genauerer Betrachtung im Gegensatz zum vereinfachten Normnachweis durchaus auf eine Dampfbremse verzichtet werden kann.

Außenwänden in Holzbauart können, in Bezug auf den Schlagregen, allen Beanspruchungsgruppen genügen. DIN 68800-2 [44] beschreibt mögliche Ausführungen.

### Hinweise für die Praxis

Damit eine Dampfbremse wirksam ist, reicht es aus, dass sich Folien lediglich überlappen. Eine Verklebung ist nur erforderlich, wenn mit derselben Schicht zusätzlich auch die Luftdichtheit erreicht werden soll.

Aus feuchtetechnischer Sicht ist es möglich, die Bauteile diffusionsdicht und diffusionsoffen zu gestalten. Bei einer diffusionsdichten Konstruktion ist raumseitig – auf der warmen Seite der Konstruktion, vor der primären Wärmedämmebene – eine Dampfbremse angeordnet. Eine diffusionsoffene Konstruktion hat diese Dampfbremse nicht. Der Vorteil der diffusionsoffenen Konstruktion ist die Austrocknung von eingedrunenem Wasser nach innen und außen und damit der in weiten Bereichen erlaubte Verzicht auf chemische Holzschutzmittel. Abbildung 3.4.3 zeigt eine diffusionsoffene und eine diffusionsdichte Außenwand.

Ein Beispiel soll die Bedeutung der Luftdichtheit für den Feuchteschutz aufzeigen. Die Berechnung ist in Tabelle 3.4.3 zusammengestellt. Für den in Abbildung 3.4.3 dargestellten diffusionsdichten Wandquerschnitt errechnet sich die nach außen gelangende Wassermenge zu 6,6 g pro Tag. Hat sich in der Außenwand eine durchgehende Fuge mit einer Breite von 3 mm und einer Länge von 1 m gebildet, so erreicht die Wassermenge bei 3 Pa Druckunterschied eine Wassermenge von 484,4 g pro Tag.

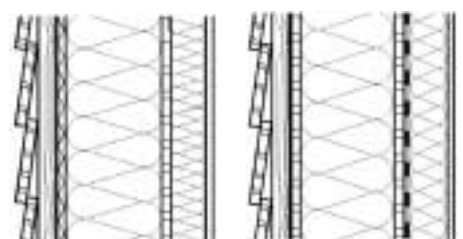


Abb. 3.4.3: Diffusionsoffene und diffusionsdichte Konstruktion.

Übliche Ausführungen für den Wetterschutz sind [1] bis [5]

- Holzwolle-Leichtbauplatten mit mineralischem Putz
- Wärmedämm-Verbundsysteme
- hinterlüftete Vorhangschalen aus Brettern oder Plattenwerkstoffen
- hinterlüftete Mauerwerksschalen

Hinter der Außenbekleidung wird eine diffusionsoffene Folie als wasserführende Schicht empfohlen [8]. Diese zweite wasserführende Ebene leitet in die Konstruktion eingedrungenes Wasser nach außen ab. Hinweise für die konstruktive Ausbildung des Wetterschutzes finden sich in DIN 68800-2 [44].

### 3.5 Schallschutz

Der Schallschutz von Wohnhäusern beeinflusst in hohem Maße das Wohlbefinden und die Gesundheit von Menschen [45]. Der Mensch benötigt ausreichende Erholungsphasen, damit sich keine negativen Auswirkungen auf seine Gesundheit einstellen. Für vegetative Reaktionen gibt es keine Gewöhnung an den Lärm, da diese nicht bewusst gesteuert werden.

Deshalb muss eine Wohnung die Privatsphäre von Menschen schützen [46]. Individualität und persönliche Entfaltung müssen möglich sein. Ein guter Schallschutz ist darüber hinaus die Voraussetzung für eine gute Nachbarschaft.

**Lärm** bewirkt vor allem [45]

physiologisch

- die Beeinträchtigung der Kreislauffunktion
- die Verminderung der Durchblutung der Herzkranzgefäße
- die Beeinträchtigung der Magen- und Darmfunktion
- die Wahrnehmung

psychologisch

- das Wohlbefinden
- die Konzentrationsfähigkeit
- die Lernfähigkeit
- die Kreativität

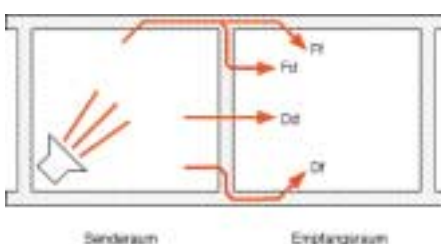


Abb. 3.5.1: Schallübertragungswege [47].

#### Aufgabe der Bauteilschichten

Aufgabe des Schallschutzes ist es, Aufenthaltsräume vor Lärm zu schützen. An dem Schallschutz zwischen zwei Räumen sind alle flankierenden Bauteile und das trennende Bauteil beteiligt. Abbildung 3.5.1 zeigt die an der Schallübertragung beteiligten Wege [47]. Das trennende Bauteil allein – Weg Dd – ist nur einer der vielen Übertragungswege. Deshalb hängt der erreichbare Schallschutz wesentlich von der konstruktiven Ausbildung der flankierenden Bauteile ab. An der Schallübertragung sind alle Bauteilschichten und ihre mechanischen Verbindungen beteiligt.

#### Grundlagen

Schall ist eine mechanische Schwingung die sich in einem Medium (Luft und Feststoff) ausbreitet. Eine detaillierte Beschreibung der schalltechnischen Grundlagen findet sich in [48] bis [53]. Aufgabe der Bauakustik ist es, einen Schallschutz zu erreichen, der den Bedürfnissen weitgehend gerecht wird. Abhängig von der Schallanregung erfolgt die Einstufung in Luftschall und Trittschall.

#### Übertragungsmechanismen

Holzbauteile setzen sich aus mehreren Schichten zusammen, die durch Schallwellen zu Schwingungen angeregt werden. Die erreichbare Schalldämmung von mehrschichtigen Bauteilen ist abhängig von den Schwingungseigenschaften jeder einzelnen Schicht und vom Zusammenwirken aller Schichten. Die Eigenschaften der einzelnen Schichten sind abhängig von ihrer Flächenmasse (Massenträgheit) und der Biegesteifigkeit. Die Biegesteifigkeit ist dafür verantwortlich, dass sich auf der Platte Biegewellen ausbreiten können. Stimmt die Wellenlänge des Luftschalls mit der Länge der Biegewelle überein – es handelt sich um die Koinzidenzgrenzfrequenz –, kommt es bei dieser Frequenz zum Einbruch

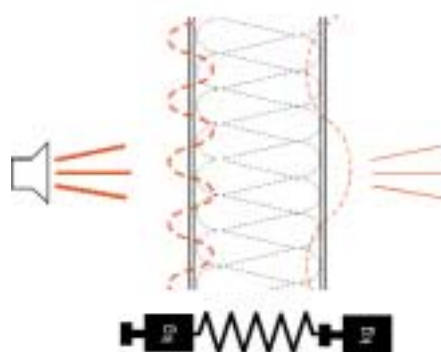


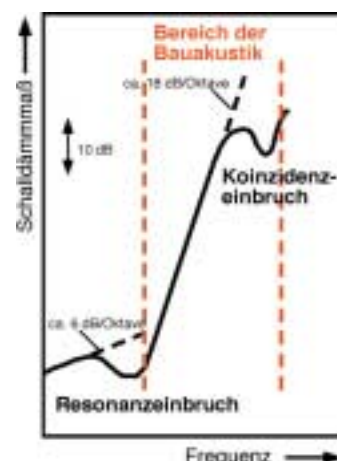
Abb. 3.5.2: Prinzipdarstellung des Schwingungsverhaltens einer zweischaligen Wand.

der Schalldämmung. Bei der Holzrahmenbauart ist die Beplankung biegeweich. Die Koinzidenzgrenzfrequenz ist unkritisch bei Holzwerkstoffen mit einer Plattendicke bis 16 mm und bei Gipskarton-Bauplatten mit einer Plattendicke bis 15 mm. Eine Erhöhung der Flächenmasse durch eine größere Schichtdicke ist bauakustisch nur durch eine Aufdoppelung sinnvoll. Die Platten dürfen genagelt oder verschraubt, nicht aber verleimt werden.

Bei den Holzbauteilen handelt es sich um ein Schwingungssystem, bei dem die einzelnen Ebenen über die im allgemeinen mit Dämmstoff gefüllten Zwischenräume zum Schwingen angeregt werden. Charakteristisch für ein solches Schwingungssystem ist die Resonanzfrequenz, bei der es zu einem Einbruch in der Schalldämmung kommt. Die Resonanzfrequenz soll möglichst niedrig sein. Je besser die Entkopplung der Beplankung ausgebildet ist, desto höher ist die erreichbare Schalldämmung. Die Schicht zwischen den Plattenebenen wirkt als Feder. Geeignete Dämmstoffe [47] wirken sich günstiger aus als eine Luftschicht. Der Vorteil zweischaliger Wände ist die Entkopplung der Schwingung der einzelnen Schalen. In Abbildung 3.5.2 zeigt das linke Bild schematisch das Schwingungsverhalten einer zweischaligen Wand und das rechte Bild den prinzipiellen Verlauf der Schalldämmung in Abhängigkeit von der Frequenz.

Die bauakustisch günstigen Eigenschaften einer zweischaligen Wand ergeben sich durch den starken Anstieg des Schalldämmmaßes zwischen der Resonanzfrequenz und der Koinzidenzgrenzfrequenz.

Beim Trittschall versetzt ein Impuls (beispielsweise Gehen und Stühlerücken) den Fußboden in Schwingung. Abbildung 3.5.3 zeigt die Ausbreitung des Trittschalls.



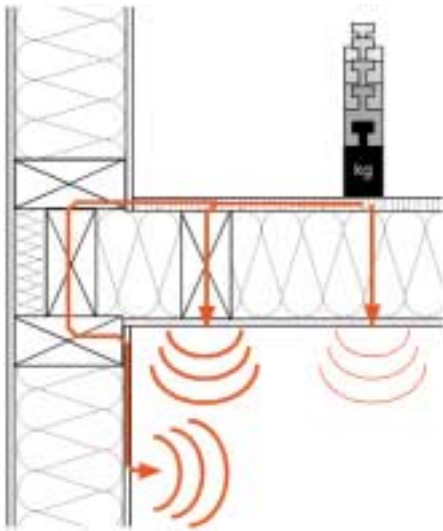


Abb. 3.5.3: Übertragung des Trittschalls mit Nebenwegen.

### Bauteilkenngößen

Um die komplexen Zusammenhänge bei der Schallübertragung einfach beschreiben zu können, wurden in der Vergangenheit Einzahlangaben entwickelt. Die Einzahlangaben erfassen die Bauteileigenschaften aber lediglich in einem eingeschränkten Frequenzbereich. Beim Luftschall beschreibt die Kenngröße „bewertetes Luftschalldämmmaß  $R$ “ das Verhältnis der auf der Sendeseite auftretenden Schall-Leistung zu der auf der Empfangsseite abgestrahlten Schall-Leistung. Abbildung 3.5.4 zeigt den frequenzabhängigen Verlauf des Schalldämmmaßes für eine Außenwand in Holzrahmenbauart [54] und die Bewertungskurve nach DIN EN 717-1 [55] zur Ermittlung der Einzahlangabe. Beim Trittschall wird der im Empfangsraum auftretende Schallpegel  $L$  bei Anregung mit einem Normhammerwerk als Maß für den Schallschutz herangezogen. Abbildung 3.5.5 zeigt den fre-

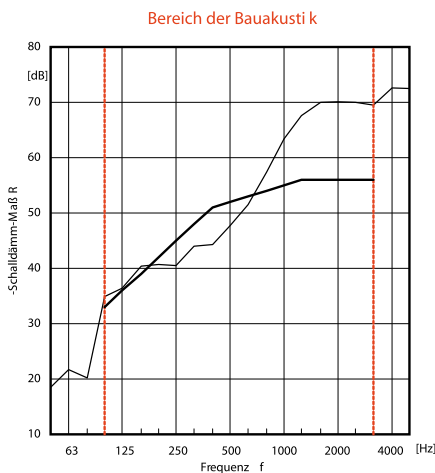


Abb. 3.5.4: Schalldämmmaß einer Außenwand in Holzrahmenbauart [54].

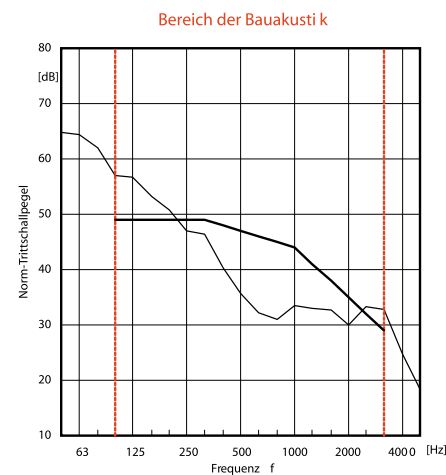


Abb. 3.5.5: Norm-Trittschallpegel einer Holzdecke [54].

quenzabhängigen Verlauf des Trittschallpegels für eine Holzbalkendecke [54] und die Bewertungskurve nach DIN 717-2 [56].

Die Bezugskurven für das bewertete Schalldämmmaß und den bewerteten Norm-Trittschallpegel erfassen das Bauteilverhalten nur zwischen 100 Hz und 3150 Hz. Übliche Geräuschquellen haben aber einen wesentlich größeren Frequenzumfang. Ausgeprägte tieffrequente Anteile beim Verkehrslärm oder aber bei der Anregung von Fußböden durch Gehen werden nicht ausreichend berücksichtigt. Derzeit beim bauordnungsrechtlichen Nachweis des Schallschutzes noch nicht gefordert aber in DIN 717 [55], [56] bereits verankert sind Korrekturwerte, die diese Anregungen beinhalten. Die sogenannten Spektrum-Anpassungswerte beschreiben das Bauteilverhalten bei üblichem Wohnlärm, bei Lärm mit großen tieffrequenten Anteilen sowie bei tieffrequenter Anregung durch Trittschall.

### Gesetzliche Anforderungen

#### Bauordnungsrechtliche Anforderungen

DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ [47] ist in den meisten Landesbauordnungen Deutschlands als Technische Baubestimmung aufgenommen und somit für zu errichtende Gebäude einzuhalten. Die Norm nennt Mindestanforderungen für den Luft- und Trittschallschutz sowie für den Schutz vor Lärm aus haustechnischen Anlagen und vor Außenlärm. Danach bestehen im eigenen Bereich bei schutzbedürftigen Räumen jeweils Schutzansprüche gegenüber fremdem Lärm, die als Mindestanforderungen festgeschrieben sind.

### Zivilrechtliche Regelungen

Alle Ansprüche und Absprachen, die außerhalb des Baurechts liegen, werden durch das Zivilrecht geregelt. Hierzu gehören insbesondere die allgemein anerkannten Regeln der Technik und die Vereinbarungen über Anforderungen an den Schallschutz, die über die Mindestanforderungen hinausgehen. DIN 4109 [47] stellt die allgemein anerkannten Regeln der Technik dar.

Soll der Schallschutz in einem Gebäude höheren Ansprüchen genügen, so bietet die VDI 4100 [46] eine Bewertungsgrundlage. In der Richtlinie ist der Lärmwahrnehmung aus Nachbarwohnungen ein breiter Raum eingeräumt.

Angaben über den erreichbaren Schallschutz von Bauteilen finden sich in [47] bis [54].

### 3.6 Brandschutz

Der Mensch spielt zwar gerne mit dem Feuer und ohne seine Wärme wäre es in unseren Breiten oft sehr ungemütlich, aber es soll natürlich nur geregelt und nicht in Form unkontrollierbarer Brände auftreten.

Seit der Benennung von bauaufsichtlich geforderten Schutzziele spielen brandschutztechnische Anforderungen eine wesentliche Rolle.

Nach unserem heutigen Verständnis setzen sich diese aus dem vorbeugenden und abwehrenden Brandschutz zusammen.

Die wesentlichen Ziele sind:

- Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch verhindern
- Rettung von Menschen und Tieren ermöglichen
- Löschgriff zulassen
- Sachwerte- und Umweltschutz

#### Aufgaben der Baustoffe und Bauteile

Für die Entstehung und Weiterleitung eines Brandes ist die Brennbarkeit eines Baustoffes von Bedeutung. Die Baustoffe werden daher in Baustoffklassen eingeteilt.

Tabelle 3.6.1 zeigt die Zuordnung der bauaufsichtlichen Benennungen zu den europäischen Klassen.

Von Bedeutung ist die Baustoffklasse überall dort, wo eine Brandentstehung, Brandweiterleitung oder Brandlastserhöhung durch brennbare Baustoffe begünstigt werden könnte.

Tabelle 3.6.1: Klassifizierung des Brandverhaltens (ohne Bodenbeläge) [66]

Bauaufsichtliche Benennungen	Zusatzanforderungen		Europäische Klasse nach DIN EN 13501-1
	kein Rauch	kein brenn. Abfällen/ Abtropfen	
Nicht brennbar	X	X	A1
	X	X	A2 –s1, d0
Schwerentflammbar	X	X	B –s1, d0
	X	X	C –s1, d0
			A2 –s2, d0
			A2 –s3, d0
			B –s2, d0
		X	B –s3, d0
			C –s2, d0
			C –s3, d0
		X	A2 –s1, d1
		X	A2 –s1, d2
		B –s1, d1	
		B –s1, d2	
		C –s1, d1	
		C –s1, d2	
	X	A2 –s3, d2	
	X	B –s3, d2	
	X	C –s3, d2	
Normalentflammbar			D –s1, d0
			D –s2, d0
			D –s3, d0
			E
			D –s1, d2
		D –s2, d2	
		D –s3, d2	
Leichtentflammbar			E –d2
			F

Holz ist nach neuer europäischer Definition in fast allen Anwendungsfällen in der Regel ab einer Rohdichte von 350 kg/m<sup>3</sup> und einer Dicke von d = 22 mm der Klasse D-s2, d0 zugeordnet [57], d.h. es ist normalentflammbar. Steigt deshalb das Brandentstehungsrisiko in Holzgebäuden, sind sie „brandgefährlich“? Nun, es ist wie oft im Leben, es kommt darauf an, was man daraus macht. Eine Vielzahl von Untersuchungen in den letzten Jahren hat gezeigt, dass die Menge an verbautem Holz weder ein Indikator für die Erhöhung des Brandentstehungsrisikos ist, noch zu relevanten Erhöhungen der Brandlasten führt.

Das Brandentstehungsrisiko ist vielmehr abhängig von:

- Einrichtungen
- Technischen Installationen
- Nutzerverhalten
- Wartung
- Baustoffen der Oberflächenbekleidung
- Baustoffen der Konstruktion

Die wesentlichen Brandlasten ergeben sich aus den Einrichtungen, der Nutzung und dem Betrieb eines Gebäudes, nicht aus den Bauprodukten und -arten.

Ergänzend ist es sinnvoll Schutzziele vorzugeben und einzuhalten. Beispielsweise besteht das Schutzziel bei der Verwendung einer schwerentflammaren Wandbeplankung darin, eine Brandweiterleitung außerhalb des Primärbrandbereiches zu verhindern. Dieses Ziel kann in Fassaden auch bei der Verwendung von normalentflammaren Holzbekleidungen durch konstruktive Maßnahmen erreicht werden, wie in neueren Forschungen gezeigt wurde [58, 59]. Wie bei massiven Holzbauteilen ist auch hier die Bildung einer Holzkohleschicht auf der Oberfläche hilfreich, die in vielen Fällen zum selbstständigen Verlöschen eines oberflächlichen Brandes führt.

Liegen erweiterte Anforderungen vor, sind als Beplankungen nichtbrennbare Bekleidungen zu verwenden. Sie können für definierte Zeiträume die dahinter liegende Konstruktion schützen und verhindern ein Entzünden der Konstruktion oder brennbarer Dämmstoffe. In Räumen mit erhöhten Anforderungen wie Fluchtwegen tragen sie zur Freihaltung solcher sensiblen Bereiche von jeglicher Brandlast bei.

Auch das Tragverhalten eines Bauteils im Brandfall ist nicht zwangsweise von der Brennbarkeit des Materials abhängig. Bauteile müssen während einer geforderten Zeitdauer ihre Funktion erhalten. Gemäß DIN EN 13501-2 bzw. -3 werden die Funktionen Tragfähigkeit (R), Raumabschluss (E) und Wärmedämmung (I) unterschieden.

Die Leistungsfähigkeit eines Bauteils bezüglich dieser Anforderungen ist vom Zusammenspiel der Tragkonstruktion, der Beplankungen und der Dämmstoffe abhängig. Die Konstruktionen werden durch nationale Normen (DIN 4102-4 und EDIN 4102-22), europäische Normen (DIN EN 1995-1-2) oder allgemeine

bauaufsichtliche Prüfzeugnisse (AbP) beschrieben. Die Anforderungen können mit brennbaren Baustoffen erreicht werden, einige geprüfte Konstruktionen weisen einen Feuerwiderstand von fast 120 Minuten (klassifiziert REI 90) auf. Tabelle 3.6.2 zeigt die Zuordnung der bauaufsichtlichen Benennungen zu den europäischen Feuerwiderstandsklassen.

### Baurechtliche Anforderungen

In der Bundesrepublik Deutschland sind die Anforderungen an den vorbeugenden baulichen Brandschutz in den Landesbauordnungen geregelt, die (leider) nicht einheitlich der Musterbauordnung (MBO) folgen. Eine Übersicht ist in [60] enthalten. Die aktuelle Musterbauordnung ist unter [61] verfügbar. Sie gestattet im Allgemeinen bis zu Gebäuden geringer Höhe eine feuerhemmende Bauweise (entspricht REI 30) aus normalentflammaren Baustoffen. Darüber hinaus definiert sie eine hochfeuerhemmende Bauweise (entspricht REI 60) für bestimmte Gebäude mittlerer Höhe, für die ergänzend noch die „Musterrichtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFH HolzR)“ gilt. Besonderes Merkmal: Eine durchgehende, nichtbrennbare Beplankung zur Kapselung der Konstruktionen.

Fassaden dürfen – sofern brandschutztechnisch keine Bedenken bestehen – bei Gebäuden geringer Höhe aus normalentflammaren Baustoffen, bei Gebäuden mittlerer Höhe aus schwerentflammaren Baustoffen hergestellt werden.

Holzbauteile sind also heute für bis zu fünfgeschossige Gebäude normaler und eine Vielzahl von Bauwerken besonderer Art und Nutzung verwendbar (siehe auch [63]).

Tabelle 3.6.2: Feuerwiderstandsklassen von Bauteilen nach DIN EN 13 501-2 bzw. -3 und ihre Zuordnung zu den bauaufsichtlichen Benennungen [66]

Bauaufsichtliche Benennung	Tragende Bauteile ohne Raumab.	mit Raumab.	Nichttragende Innenwände	Nichttragende Außenwände	Doppelböden	Selbständige Unterdecken
feuerhemmend <sup>4</sup>	R 30	REI 30	E130	E 30 (i→o) und E1 30(o←b)	REI 30 ETK (f)	Ei 30(a→b) Ei 30(a←b) Ei 30(i←b)
hochfeuerhemmend <sup>2</sup>	R 60	REI 60	Ei 60	E 60 (i→o) und Ei 60(i←o)		Ei 60(a→b) Ei 60(a←b) Ei 60(a↔b)
feuerbeständig <sup>2</sup>	R 90	REI 90	Ei 90	E 90 (i→o) und Ei 90 (i←o)		Ei 90(a→b) Ei 90(o←b) Ei 90(a↔b)
Feuerwiderstandsdauer 120 Min. <sup>2</sup>	R 120	REI 120	–	–		–
Brandwand <sup>2</sup>	–	REI-M 90	EI-M 90			

<sup>1</sup> zurzeit Entwurf, anwendbar mit Erscheinen der Norm

<sup>2</sup> Bauteile werden zusätzlich nach dem Brandverhalten ihrer Baustoffe unterschieden



Ergänzend sind Abweichungen von den Bau- und Verordnungen sowie Sonderbaurichtlinien und daraus resultierend eine weitergehende Verwendung von Holz in Bauwerken möglich, wenn durch Brandschutzkonzepte nachgewiesen wird, dass die bauaufsichtlich geforderten Schutzziele erreicht werden.

### Konzepte, Bauteile, Details

Auch ohne ein detailliertes Brandschutzkonzept ist die Erstellung eines Gesamtkonzepts für jedes Bauwerk ratsam. Je nach Art und Nutzung sollte man eine tabellarische Zusammenstellung der Anforderungen an Bauteile und Oberflächen vornehmen. Dabei ist der Einbauort des Bauteils zu berücksichtigen, da davon die erforderliche Baustoffklasse der Beplankungen abhängt.

Bei einer detaillierten Brandschutzplanung müssen die Kernfunktionen der Bauteilkomponenten bezüglich des Brandschutzes berücksichtigt werden.

- Brandzugewandte Beplankung:  
Definition der Oberflächenbrennbarkeit, wesentlicher Beitrag zum Feuerwiderstand des Gesamtbauteils, ggf. Kapselung der brennbaren Bauteile (meist Gipsbauplatten)
- Dämmung:  
Beitrag zum Feuerwiderstand, insbesondere Temperaturdurchgang, evtl. Beitrag zur Rauchgasdichtheit
- Tragkonstruktion:  
Erhalt der Tragfähigkeit, möglichst Minimierung temperaturbedingter Verformungen
- Brandabgewandte Beplankung:  
Aussteifung der Tragkonstruktion, Sicherstellung Raumabschluss
- Bauteilanschlüsse:  
Verhinderung der Brandweiterleitung und von Hohlraumbränden, Raumabschluss

Es ist zu beachten, dass die brandschutztechnische Wirksamkeit eines Bauteils in erheblichem Maße von der Detailausbildung abhängt. Eine undichte Rohrdurchleitung, nicht verkofferte Steckdosengruppen, eine ungesicherte Türlaibung oder ein undichter Deckenanschluss können die Investition in die Brandschutzbekleidung eines hochwertigen Bauteils zunichte machen. Für Einfamilienhäuser ohne Anforderungen an den Feuerwiderstand oder feuerhemmende Konstruktionen gibt es zwar im Gegensatz zu mehr als dreigeschossigen Bauten keine besonderen Regeln, die in diesem Heft dargestellten Kon-

struktionen gewährleisten aber einen sehr guten Standard auch für diese Gebäude. Wie im Massivbau besteht dadurch je nach Grundriss die realistische Chance, dass ein Zimmerbrand auch ein solcher bleibt.

### Weiterführende Literatur

Die Grundlagen des baulichen Brandschutzes mit Holz sind in [60, 62, 65] ausführlich erläutert, ausgeführte Beispiele sind in [62] enthalten. Besondere Hinweise zum Brandschutz von Hallenbauten enthält [64].

## 3.7 Standsicherheit

### Lastabtragung in den Wandbauteilen

Beplankungen, Stiele, Schwelle und Rähm werden in der Regel zur Abtragung, sowohl von Vertikallasten, als auch von Horizontallasten, herangezogen. Dabei werden sie unterschiedlich beansprucht und müssen für die Summe der Beanspruchungen nachgewiesen werden.

Horizontallasten, z.B. aus Wind senkrecht zur Beplankung, verursachen einerseits eine Beanspruchung der äußeren Beplankung als Platte (Abb. 3.7.1) und andererseits des aus Ständer und Beplankungen zusammengesetzten Bauteils als Biegeträger mit Normalkraft (Abb. 3.7.2). Horizontallasten in Richtung der Beplankungsebenen aktivieren die Tragfähigkeit der Beplankungen als Scheibe (Abb. 3.7.3).

Die Größe der Beanspruchungen hängt bei der Platte vom Abstand der Ständer ab, beim Biegeträger mit Normalkraft sowohl von der Geschosshöhe als auch von der Anzahl der Geschosse und bei der Scheibe sowohl von der Gesamthöhe des Gebäudes als auch von der Höhe, Breite und Anzahl der Scheiben.

Für die Ausbildung der Verbundquerschnitte sind nach DIN 1052:2004 [67] als Beplankung Sperrholz, Furnierschichtholz mit Querlagen, OSB-Platten, zement- und kunstharzgebundene Spanplatten und kunstharzgebundene Faserplatten zulässig. Die Verwendung anderer Beplankungsbaustoffe, z.B. Gipskarton oder Gipsfaserplatten, bedarf einer bauaufsichtlichen Zulassung.

### Anschlüsse Decke-Außenwand

Die im Folgenden abgebildeten Anschlüsse beschränken sich auf die Darstellung des „geometrischen Fügens“. Die Ergänzung um notwendige Verbindungsmittel oder Verankerungen würde der Übersicht schaden. Hinzu kommt, dass es für jede dargestellte Situation

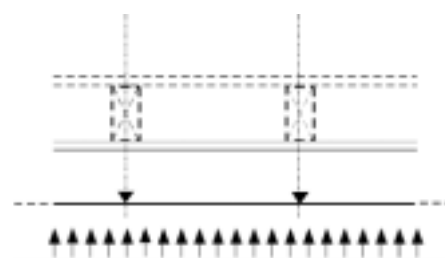


Abb 3.7.1: Beanspruchung als Platte

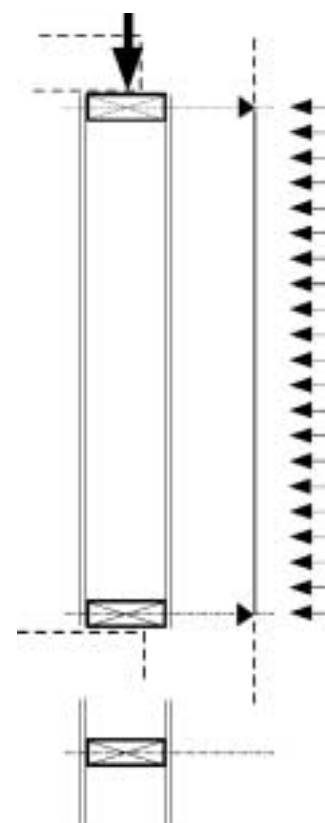


Abb. 3.7.2: Beanspruchung als Biegeträger mit Normalkraft

eine Vielzahl von Möglichkeiten für kraftschlüssige Fügungen gibt.

Ein Bauwerk kann zwar nach den abgebildeten Details errichtet werden, das Tragwerk muss jedoch immer individuell konstruiert und nachgewiesen werden. Das betrifft nicht nur die Maßnahmen für die Abtragung der Vertikallasten, sondern insbesondere auch die für Horizontallasten, z.B. aus Wind.

Bei der Abtragung der Vertikallasten können Pressungen quer zur Faser des Holzes, z.B. zwischen Stiel und Schwelle, eine kritische Grenze erreichen, die es besonders zu beachten gilt. Ebenso ist die Verankerung des Daches gegen Windsog sehr sorgfältig zu planen.

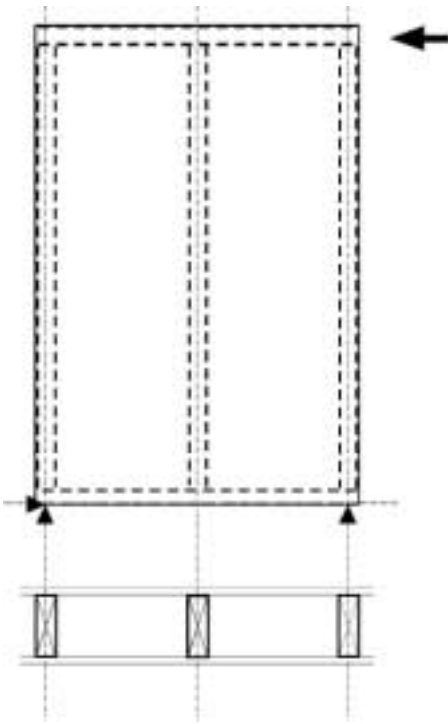


Abb. 3.7.3: Beanspruchung als Scheibe

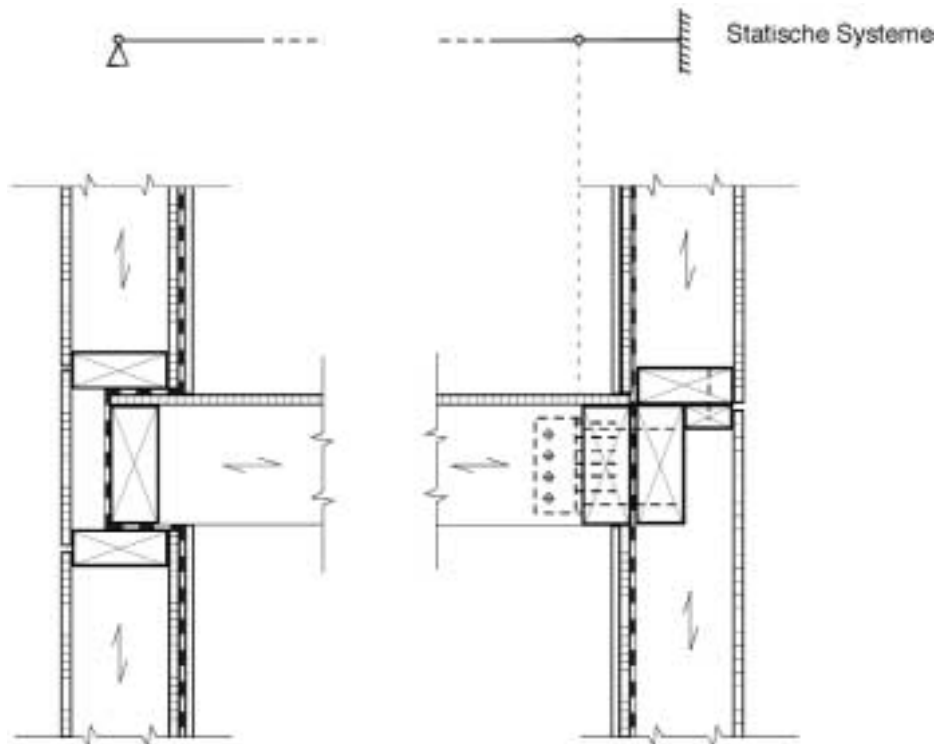


Abb. 3.7.4: Anschlüsse der Decke an die Außenwand

Horizontallasten werden bei modernen Holzhäusern in der Regel über so genannte Scheiben weitergeleitet. Das sind aus Holzwerkstoffplatten und einzelnen Hölzern zusammengesetzte Bauteile, die als Dach- oder Deckenscheiben ausgebildet, Horizontalkräfte horizontal und als Wandscheiben bzw. Wandtafeln ausgebildet, Horizontalkräfte vertikal weiterleiten können.

Für die Nachweise dieser Scheiben stehen in DIN 1052 einfache Verfahren zur Verfügung.

Kraftschlüssige Verbindungen können die Funktion einzelner Schichten, z.B. in Bezug auf Luftdichtheit, beeinflussen. Daher kann die Tragwerksplanung sich nicht nur auf die Nachweise der Standsicherheit beschränken. Die übrigen Funktionen müssen ebenso mit in Betracht gezogen werden. Dabei können Interessenskollisionen entstehen, da die optimale Lösung für eine Funktion oft eine

schlechtere Lösung für eine andere Funktion darstellt. Die in Abb. 3.7.4 dargestellten Anschlüsse Decke-Außenwand sollen dies verdeutlichen.

Auf der linken Seite ist das klassische Prinzip der einfachen Auflagerung der Deckenbalken mittig auf der Außenwand dargestellt. Für die Vertikallastübertragung sind keine Verbindungsmittel erforderlich. Durch die mittige Lagerung wird die Wand nur durch Vertikalkräfte beansprucht, es entsteht kein Moment in der Wandrippe. Dafür wird in Kauf genommen, dass die Folie auf der Innenseite der Wand – als Dampfbremse und Luftdichtheitschicht wirkend – von einer dampfdiffusionsdichten (innen) in eine dampfdiffusionsoffene (außen) übergeführt werden muss.

Bei richtiger Ausführung ist nichts dagegen einzuwenden, die Lösung ist jedoch anfällig gegen Verarbeitungsfehler.

Auf der rechten Seite ist eine Lösung dargestellt, bei der die Kraftübertragung von den Deckenbalken auf die Wand in vier Schritten, von denen jeder eigene Verbindungsmittel erfordert, stattfindet. Hinzu kommt, dass die Wand ein durch ausmittige Auflagerung erzeugtes Moment aufnehmen muss. Dafür kann die luftdichte Schicht (Folie), ohne Wechsel der Funktion, senkrecht durchgeführt werden.

## 4 Bauteilanschlüsse

Die nachfolgend dargestellten Bauteilanschlüsse sollen Hilfestellung bei der Entwicklung von objektbezogenen Lösungen bieten. Es handelt sich um Prinzipdarstellungen, die den Gegebenheiten anzupassen sind.

Die verwendeten Schraffuren sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt. Die für die jeweilige Funktion bestimmenden Schichten werden mit den in Tabelle 4.2 zusammengestellten Buchstaben gekennzeichnet.

Behandelt werden

- Sockel
- Außenecken
- Innenwand an Außenwand
- Geschossdeckeneinbindung
- Traufanschlüsse
- Mittelpfetten- bzw. Zangenanschlüsse
- Innenwände an Dächer
- Ortgänge
- Firstanschlüsse
- Fensteranschlüsse

Dargestellte und zum Teil abweichende Lösungen für Bauteilanschlüsse im Holzhausbau finden sich im Wärmebrückenkatalog des INFORMATIONSDIENST **HOLZ** [68].

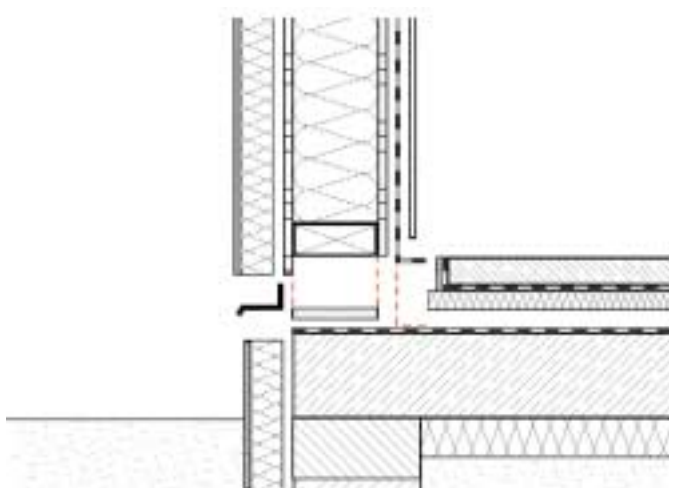
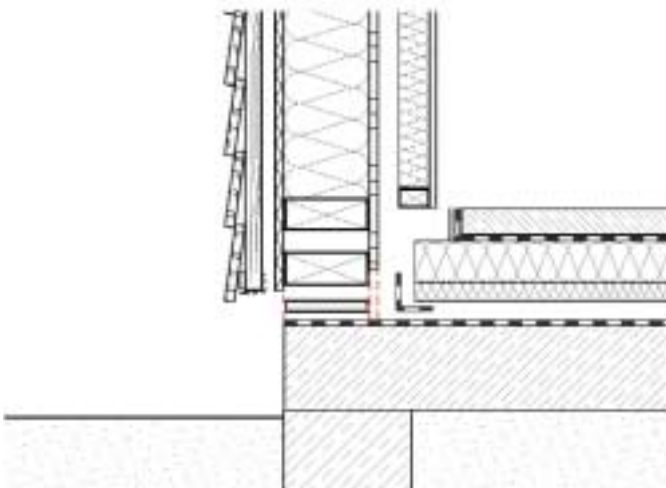
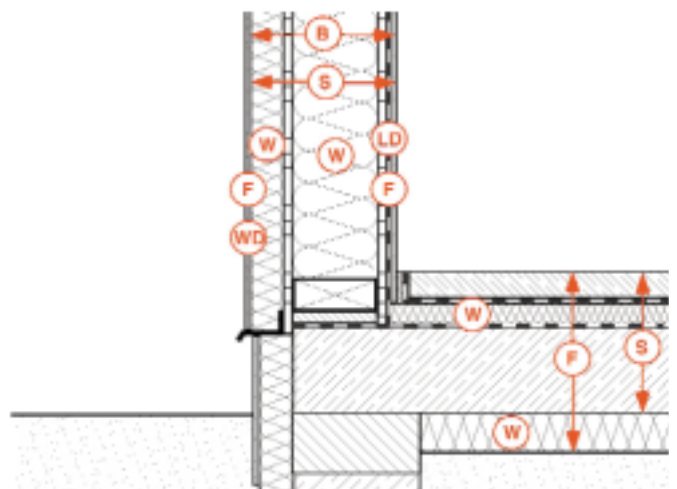
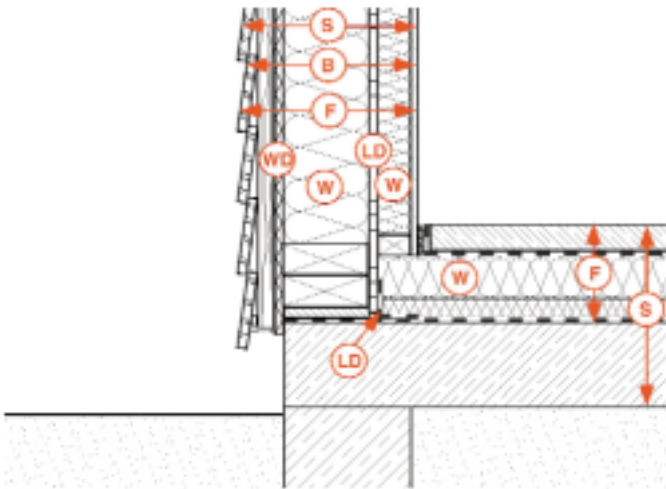
Tabelle 4.1: Verwendete Schraffuren für die zeichnerische Darstellung

Holz, senkrecht zur Faserrichtung	
Holz, längs zur Faserrichtung	
Brettschichtholz (BSH), senkrecht zur Faserrichtung	
Vollholzschalung	
Flachpressspanplatte	
Holzfaserverplatte	
Gipskarton-Bauplatte	
Wärmedämmstoff	
Beton, bewehrt	
Estrich, bewehrt	
Mauerwerk	
Folie, $s_d \geq 2 \text{ m}$	
Folie, $s_d \leq 0,5 \text{ m}$	

Tabelle 4.2: Kennzeichnung der Funktionsschichten

Luftdichtheit	(LD)
Winddichtheit	(WD)
Wärmedämmung	(W)
Feuchteschutz	(F)
Schallschutz	(S)
Brandschutz	(B)

#### 4.1 Sockel



#### Hinweise:

##### Konstruktion

Zweiteilige Schwellen werden im Einzelfall zur Nivellierung von Unebenheiten eingebaut.

##### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtungsschicht sind mit Klebebändern oder verklebten Bitumenstreifen abzudichten. Alternativ kann die Schwelle mit einem EPDM-Band abgedichtet werden.

##### Wärmedämmung

Wärmedämmverbundsysteme müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) haben. Die Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller sind zu beachten. Zur Minderung der Wärmebrückenverluste kann auf den Einbau einer zweiteiligen Schwelle verzichtet werden.

##### Feuchteschutz

Fußschwelle ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz aus resistentem Kernholz oder mit chemischem Holzschutz (nach DIN 68800-2/-3).

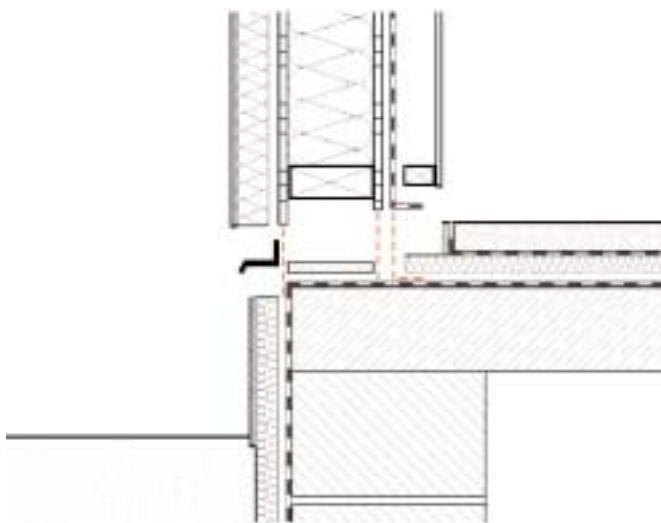
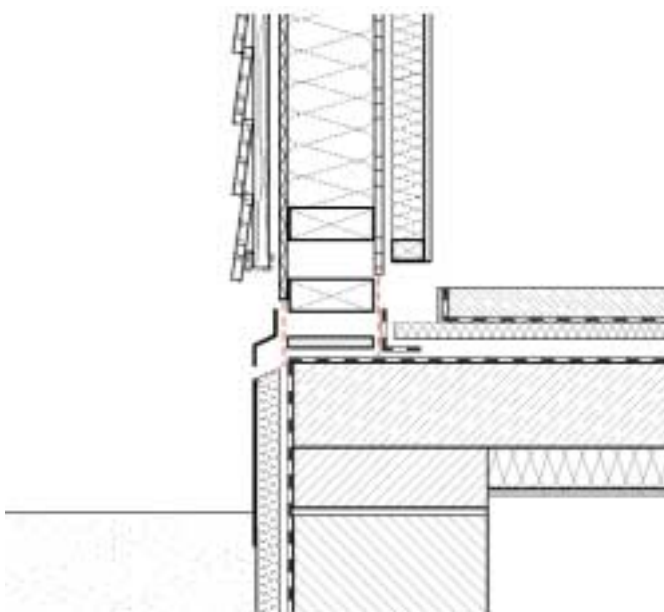
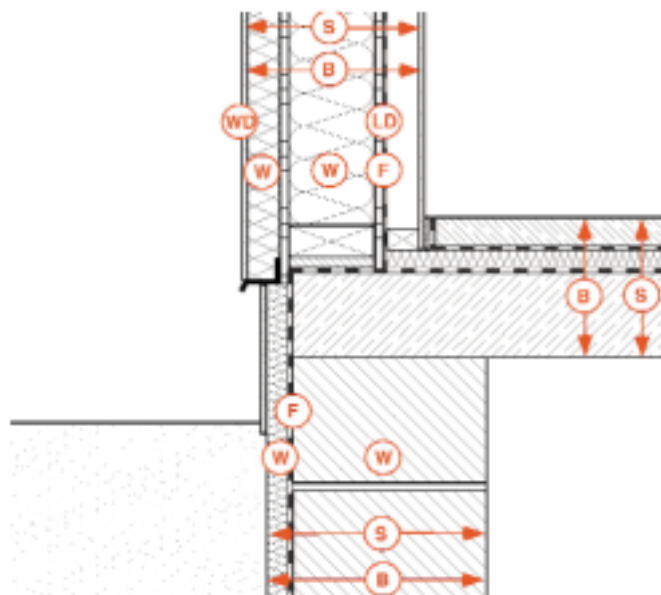
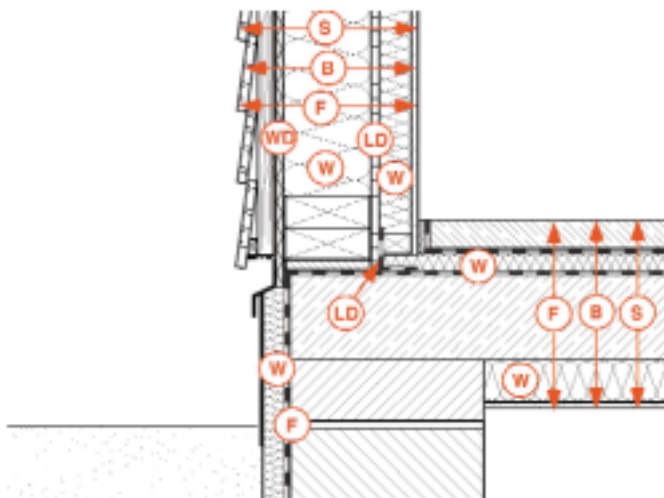
##### Brandschutz

FB-30 gemäß DIN 4102-4:1994-03, Tab. 52, wenn die verwendete Holzwerkstoffplatte bei einer Rohdichte  $\geq 600 \text{ kg/m}^3$  eine Dicke  $\geq 13 \text{ mm}$  aufweist und die Dämmschicht aus Mineralfaserplatten mit einer Dicke  $\geq 80 \text{ mm}$  und einer Rohdichte  $\geq 30 \text{ kg/m}^3$  besteht. Bei abweichenden Materialien oder Rohdichten ist ein bauaufsichtliches Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich!

Bei der diffusionsoffenen Bauweise entspricht die äußere Beplankung (bituminierte Holzweichfaserplatte bzw. paraffinierte mitteldichte Faserplatte) mit einer Rohdichte  $< 600 \text{ kg/m}^3$  nicht den Anforderungen der DIN 4102-4!

Beim Einsatz von Wärmedämmverbundsystemen ist ggf. eine B1-Klassifizierung möglich (Hinweise der zugrunde liegenden bauaufsichtlichen Zulassung beachten).

Eine Installationsebene wirkt sich positiv auf den Brandschutz aus, wenn sämtliche Installationen hierin geführt werden; zur Einstufung in eine abweichende Feuerwiderstandsklasse ist jedoch ein Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich.



**Hinweise:**

**Konstruktion**

Zweiteilige Schwellen werden im Einzelfall zur Nivellierung von Unebenheiten eingebaut.

**Luftdichtheit**

Die Anschlüsse der Luftdichtungsschicht sind mit Klebebändern oder verklebten Bitumenstreifen abzudichten. Alternativ kann die Schwelle mit einem EPDM-Band abgedichtet werden.

**Wärmedämmung**

Wärmedämmverbundsysteme müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) haben. Die Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller sind zu beachten. Zur Minderung der Wärmebrückenverluste kann auf den Einbau einer zweiteiligen Schwelle verzichtet werden.

**Feuchteschutz**

Fußschwelle ohne vorbeugenden chemischen Holzschutz aus resistantem Kernholz oder mit chemischem Holzschutz (nach DIN 68800-2/-3).

**Brandschutz**

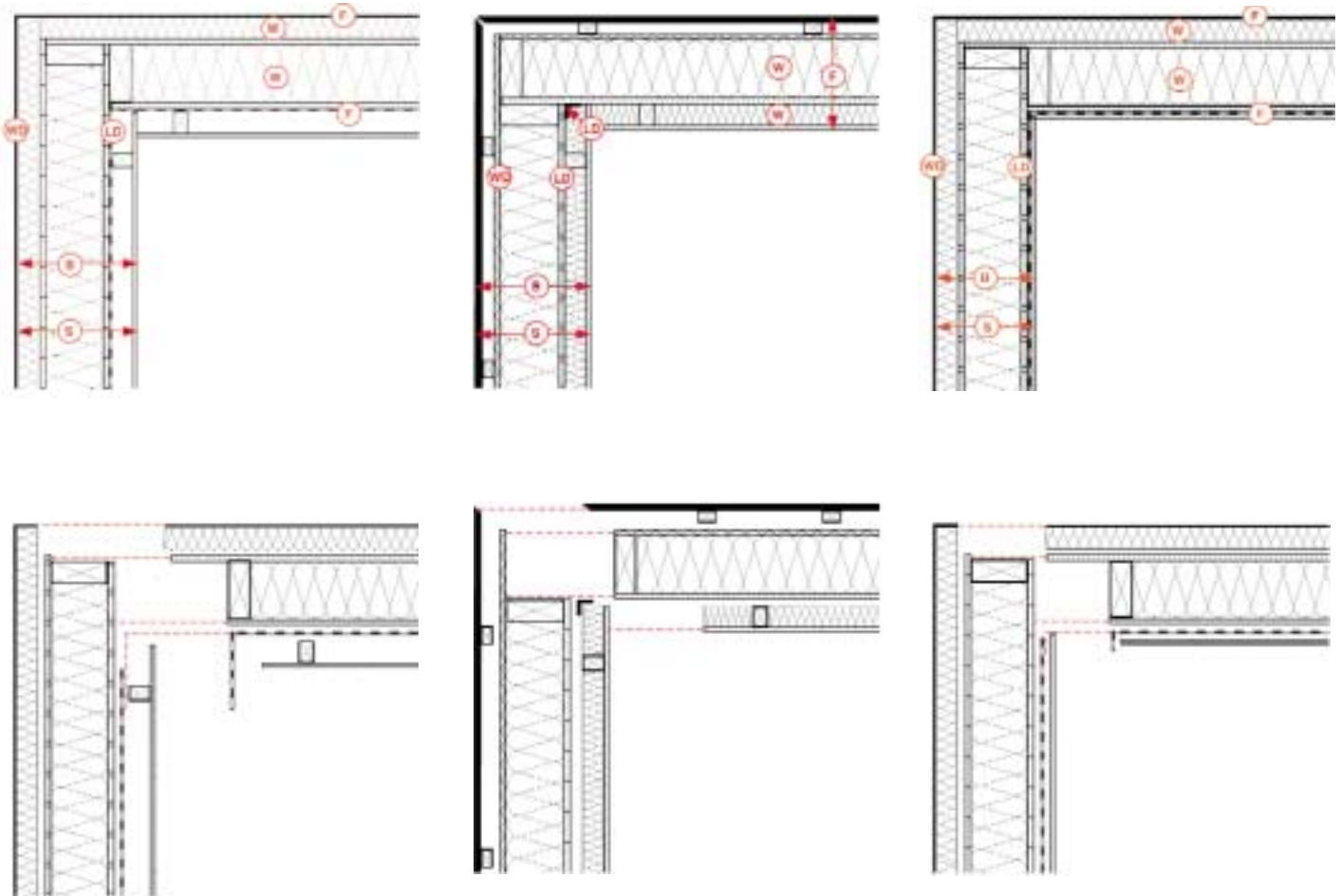
FB-30 gemäß DIN 4102-4:1994-03, Tab. 52, wenn die verwendete Holzwerkstoffplatte bei einer Rohdichte  $\geq 600 \text{ kg/m}^3$  eine Dicke  $\geq 13 \text{ mm}$  aufweist und die Dämmschicht aus Mineralfaserplatten mit einer Dicke  $\geq 80 \text{ mm}$  und einer Rohdichte  $\geq 30 \text{ kg/m}^3$  besteht. Bei abweichenden Materialien oder Rohdichten ist ein bauaufsichtliches Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich!

Bei der diffusionsoffenen Bauweise entspricht die äußere Beplankung (bituminierte Holzweichfaserplatte bzw. paraffinierte mitteldichte Faserplatte) mit einer Rohdichte  $< 600 \text{ kg/m}^3$  nicht den Anforderungen der DIN 4102-4!

Beim Einsatz von Wärmedämmverbundsystemen ist ggf. eine B1-Klassifizierung möglich (Hinweise der zugrunde liegenden bauaufsichtlichen Zulassung beachten).

Eine Installationsebene wirkt sich positiv auf den Brandschutz aus, wenn sämtliche Installationen hierin geführt werden; zur Einstufung in eine abweichende Feuerwiderstandsklasse ist jedoch ein Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich.

## 4.2 Außenecke



### Hinweise:

#### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern oder Dichtungsmassen abzudichten.

#### Wärmedämmung

Wärmedämmverbundsysteme müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) haben. Die Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller sind zu beachten.

#### Brandschutz

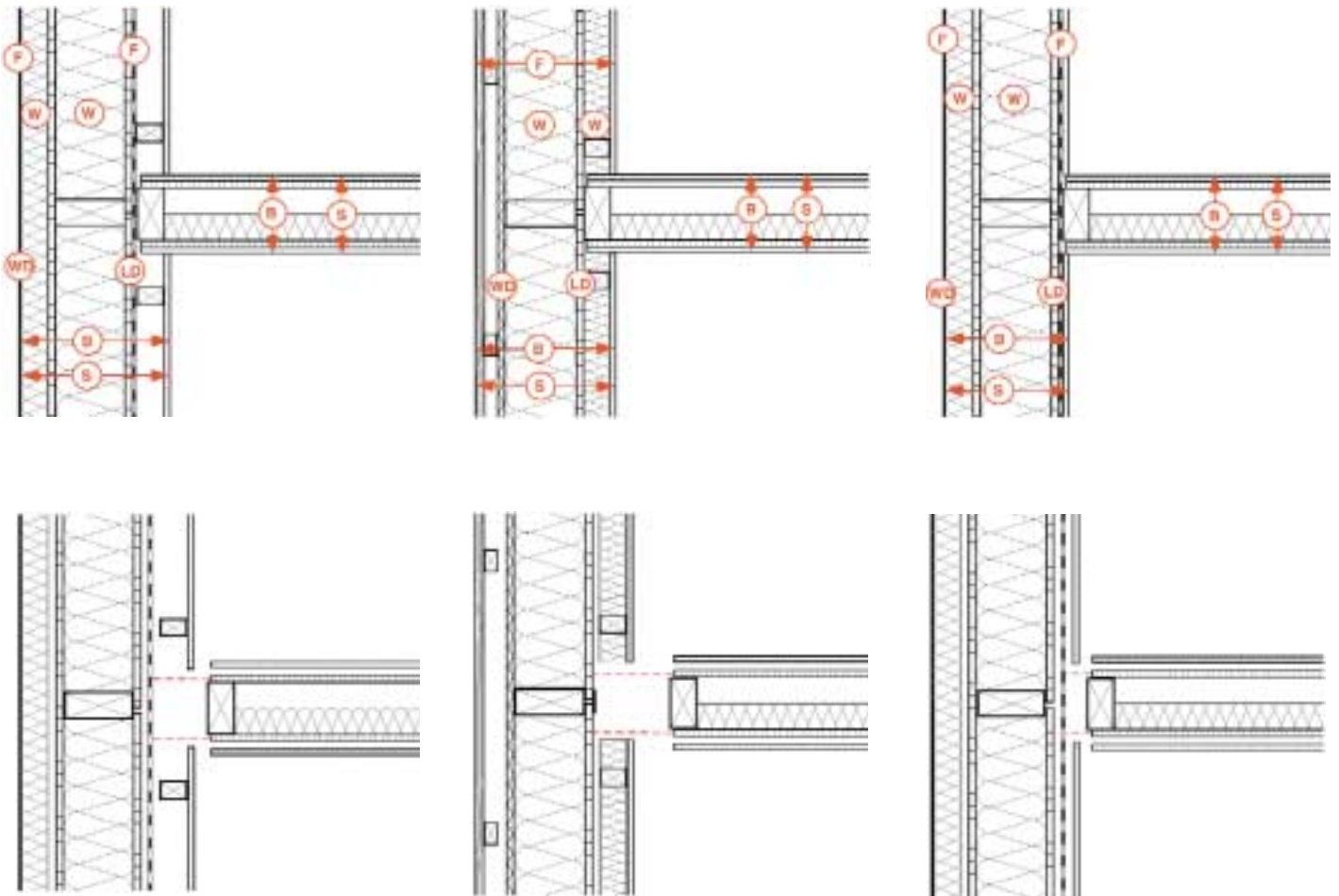
FB-30 gemäß DIN 4102-4:1994-03, Tab. 52, wenn die verwendete Holzwerkstoffplatte bei einer Rohdichte  $\geq 600 \text{ kg/m}^3$  eine Dicke  $\geq 13 \text{ mm}$  aufweist und die Dämmschicht aus Mineralfaserplatten mit einer Dicke  $\geq 80 \text{ mm}$  und einer Rohdichte  $\geq 30 \text{ kg/m}^3$  besteht. Bei abweichenden Materialien oder Rohdichten ist ein bauaufsichtliches Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich!

Bei der diffusionsoffenen Bauweise entspricht die äußere Beplankung (bituminierte Holzweichfaserplatte bzw. paraffinierte mitteldichte Faserplatte) mit einer Rohdichte  $< 600 \text{ kg/m}^3$  nicht den Anforderungen der DIN 4102-4!

Beim Einsatz von Wärmedämmverbundsystemen ist ggf. eine B1-Klassifizierung möglich (Hinweise der zugrunde liegenden bauaufsichtlichen Zulassung beachten).

Eine Installationsebene wirkt sich positiv auf den Brandschutz aus, wenn sämtliche Installationen hierin geführt werden; zur Einstufung in eine abweichende Feuerwiderstandsklasse ist jedoch ein Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich.

### 4.3 Innenwand an Außenwand



#### Hinweise:

##### Wärmedämmung

Wärmedämmverbundsysteme müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) haben. Die Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller sind zu beachten.

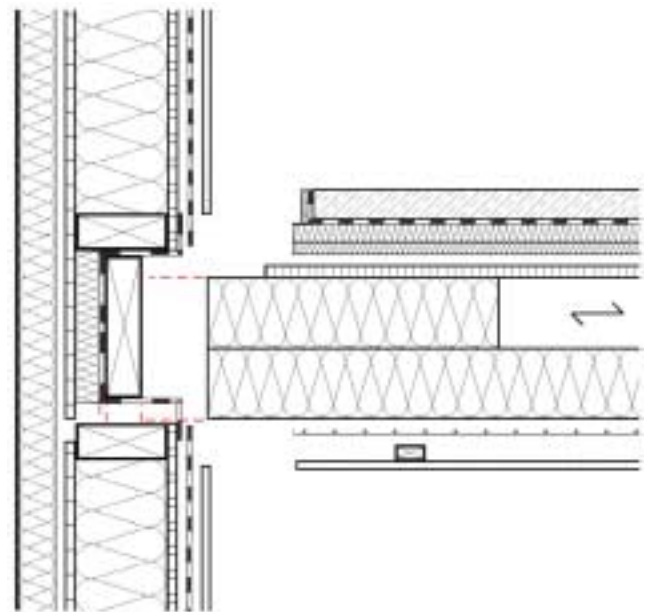
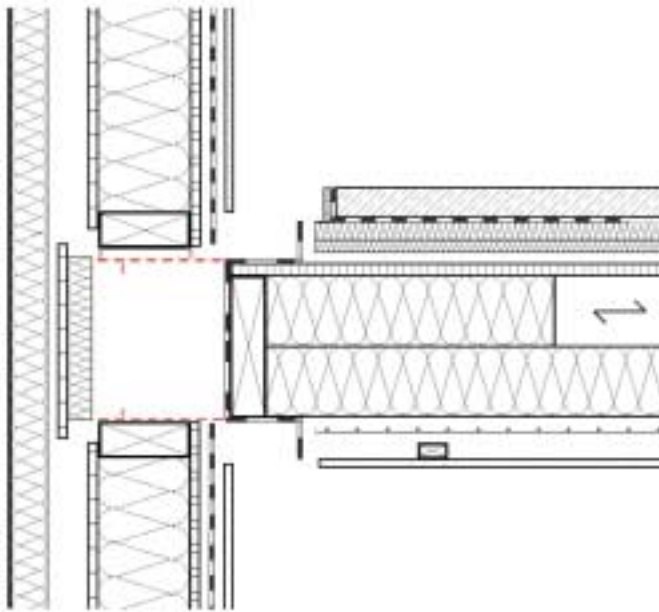
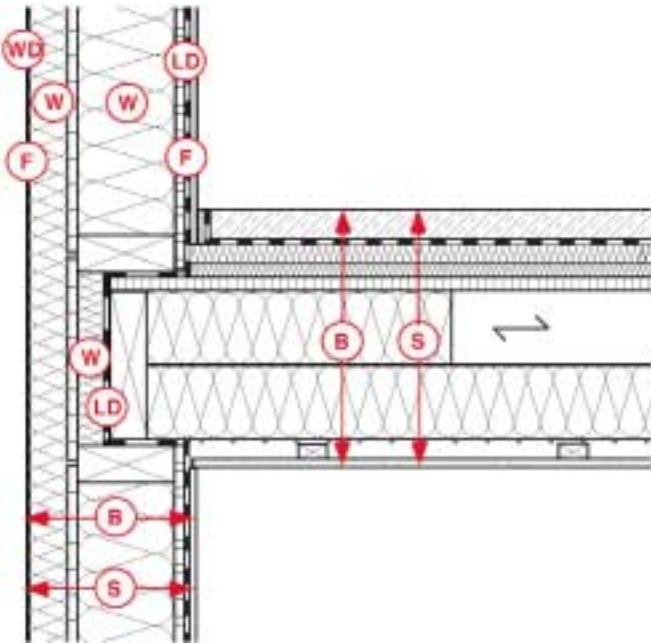
##### Schallschutz

Eine Entkopplung von Trennwand und Außenwand kann beispielsweise durch einen Randdämmstreifen erreicht werden.

##### Brandschutz

Brandschutztechnische Anforderungen an die Innenwand bei tragenden Wänden und bei Trennwänden zwischen Nutzungseinheiten beachten (DIN 4102-4 oder allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis).

#### 4.4 Geschosdeckeneinbindung



#### Hinweise:

##### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern oder Dichtungsmassen abzudichten.

##### Wärmedämmung

Wärmedämmverbundsysteme müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ) haben. Die Verarbeitungsrichtlinien der Hersteller sind zu beachten.

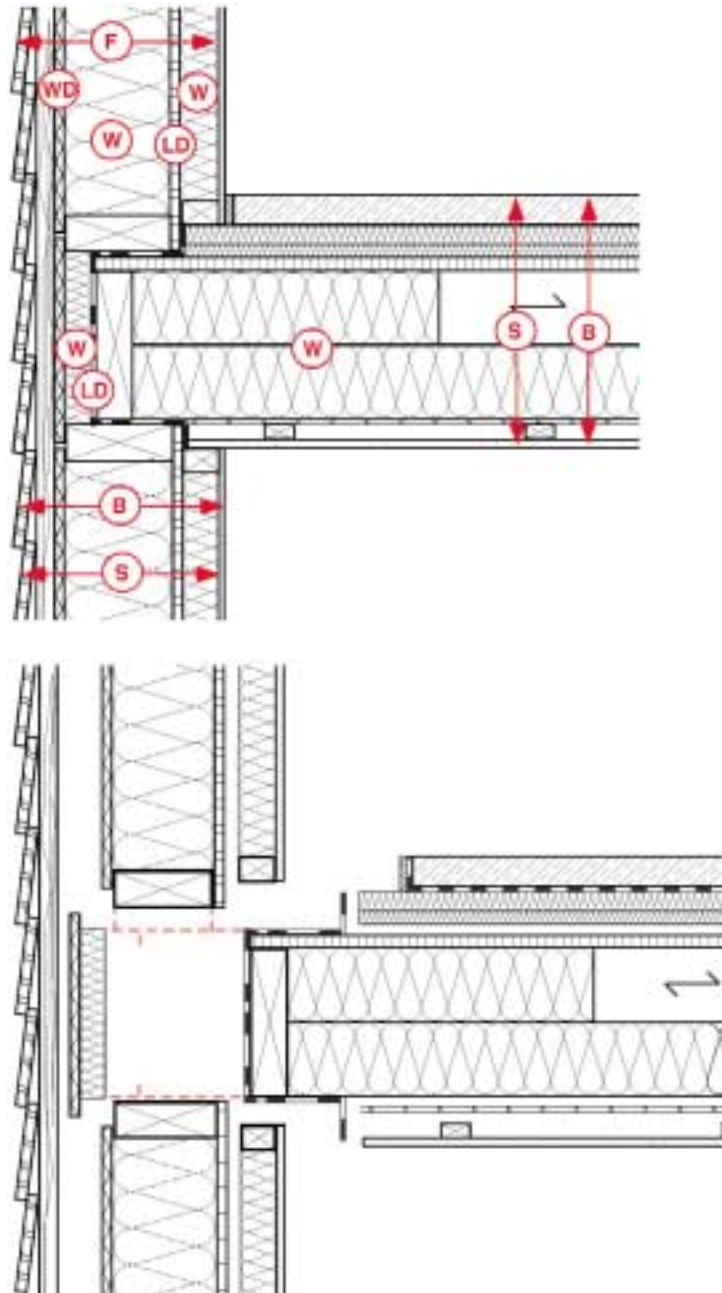
##### Feuchteschutz

Für die Einbindung der Geschosdecke ist eine diffusionsoffene Folie zu verwenden.

##### Brandschutz

FB-30 gemäß DIN 4102-4:1994-03, Tab. 56, wenn für die unterseitige Deckenbekleidung Gipskarton-Feuerschutzplatten mit einer Dicke  $\geq 12,5$  mm und einer Spannweite  $\leq 500$  mm verwendet werden, die Dämmschicht aus Mineralfaserplatten mit einer Dicke  $\geq 60$  mm und einer Rohdichte  $\geq 30$  kg/m<sup>3</sup> besteht, die oberseitige Holzwerkstoffplatte bei einer Rohdichte  $\geq 600$  kg/m<sup>3</sup> eine Dicke  $\geq 13$  mm aufweist und die Dämmschicht unter dem Estrich eine Dicke  $\geq 15$  mm bei einer Rohdichte  $\geq 30$  kg/m<sup>3</sup> hat. Bei abweichenden Materialien oder Rohdichten ist ein bauaufsichtliches Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich!





#### Hinweise:

##### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern oder Dichtungsmassen abzudichten.

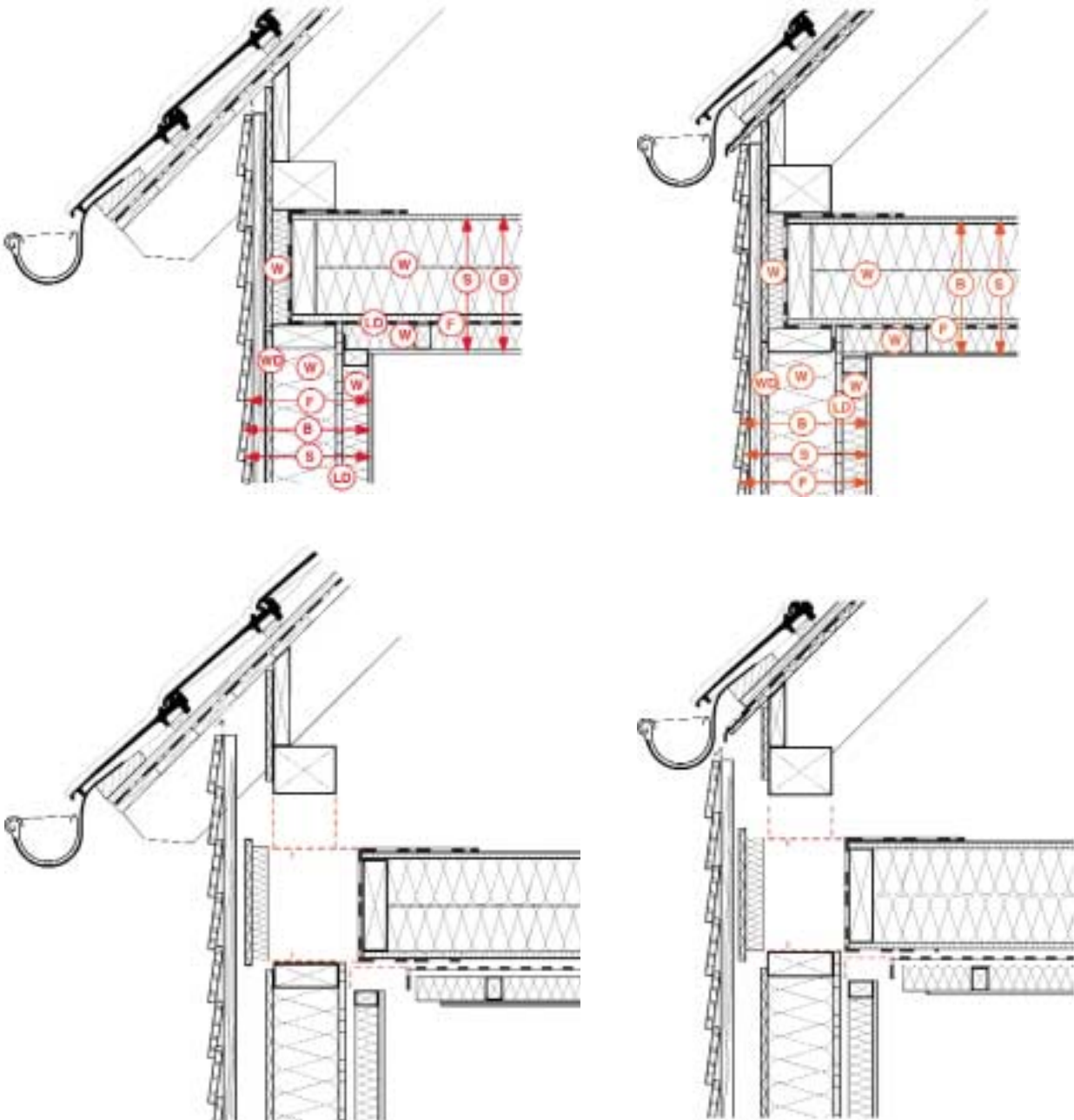
##### Feuchteschutz

Für die Einbindung der Geschosdecke ist eine diffusionsoffene Folie zu verwenden.

##### Brandschutz

FB-30 gemäß DIN 4102-4:1994-03, Tab. 56, wenn für die unterseitige Deckenbekleidung Gipskarton-Feuerschutzplatten mit einer Dicke  $\geq 12,5$  mm und einer Spannweite  $\leq 500$  mm verwendet werden, die Dämmschicht aus Mineralfaserplatten mit einer Dicke  $\geq 60$  mm und einer Rohdichte  $\geq 30$  kg/m<sup>3</sup> besteht, die oberseitige Holzwerkstoffplatte bei einer Rohdichte  $\geq 600$  kg/m<sup>3</sup> eine Dicke  $\geq 13$  mm aufweist und die Dämmschicht unter dem Estrich eine Dicke  $\geq 15$  mm bei einer Rohdichte  $\geq 30$  kg/m<sup>3</sup> hat. Bei abweichenden Materialien oder Rohdichten ist ein bauaufsichtliches Prüfzeugnis für die Konstruktion erforderlich!

#### 4.5 Traufanschluss



#### Hinweise:

##### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern oder Dichtungsmassen abzudichten.

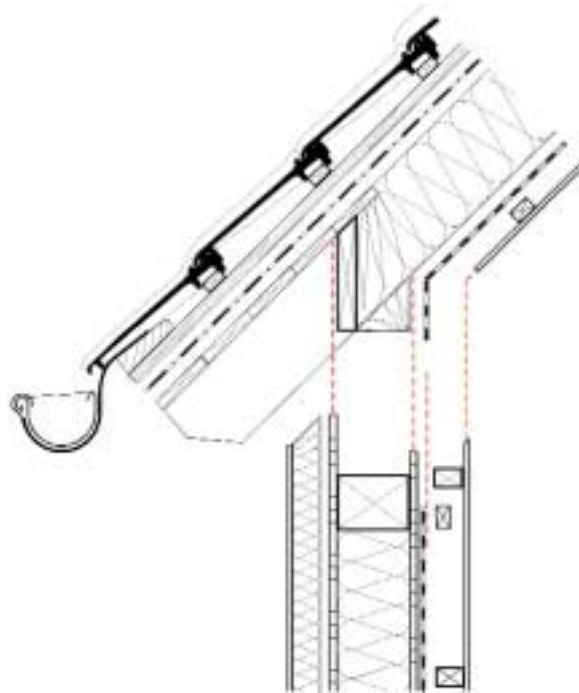
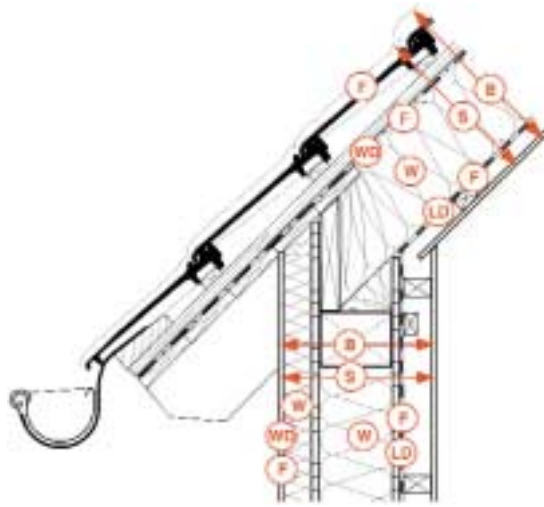
##### Feuchteschutz

Für die Einbindung der Geschossdecke ist eine diffusionsoffene Folie zu verwenden.

##### Brandschutz

Ohne oberseitigen Bodenaufbau ist eine brandschutztechnische Einstufung der Decke gemäß DIN 4102-4:1994-03 nicht möglich!

Bestehen brandschutztechnische Anforderungen an das Dachtragwerk, ist DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 5.4, zu beachten!



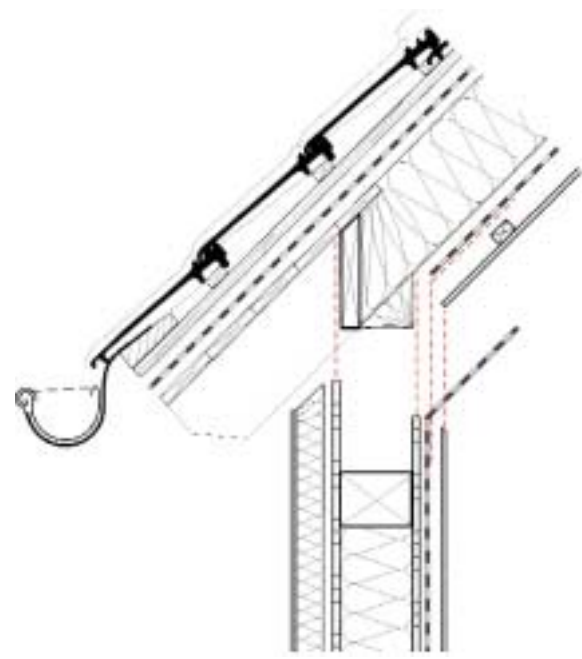
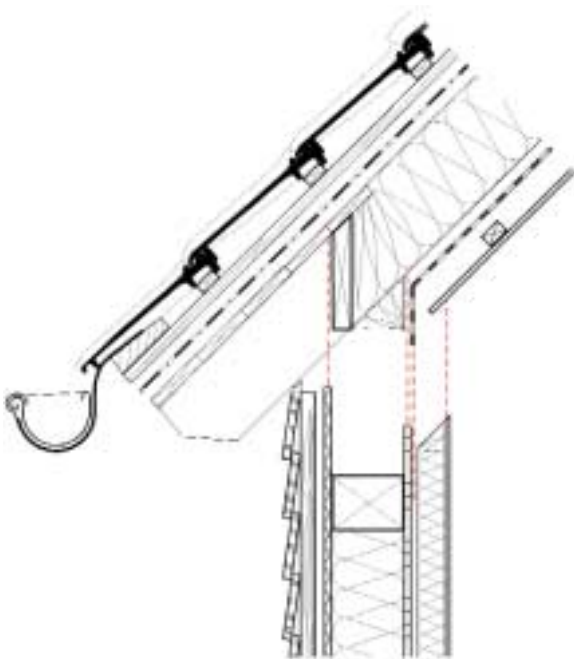
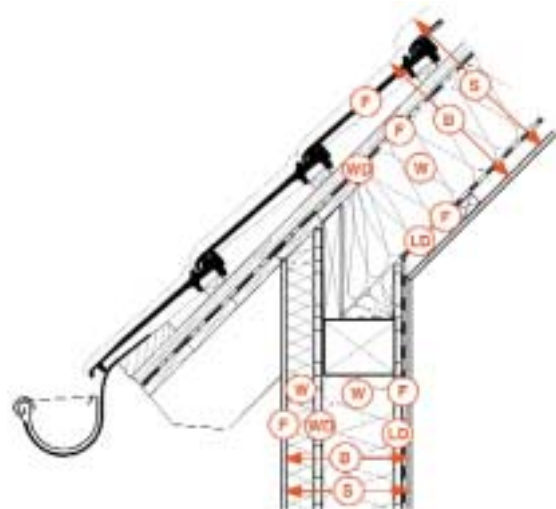
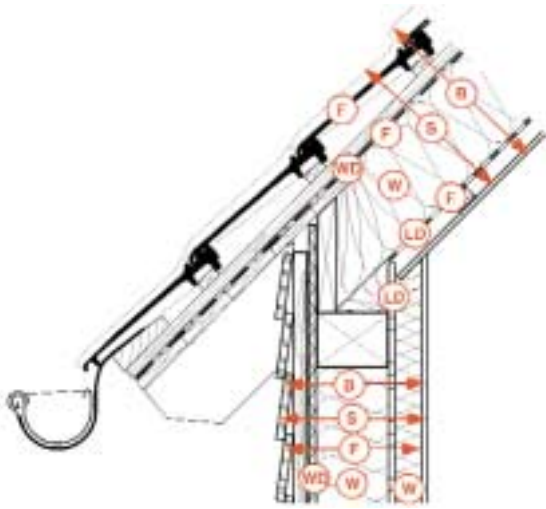
**Hinweise:**

**Luftdichtheit**

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern abzudichten.

**Brandschutz**

Bestehen brandschutztechnische Anforderungen an das Dachtragwerk, ist DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 5.4, zu beachten!



#### Hinweise:

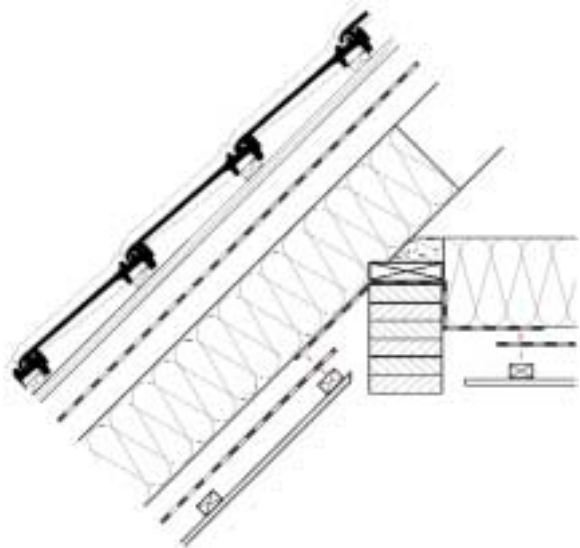
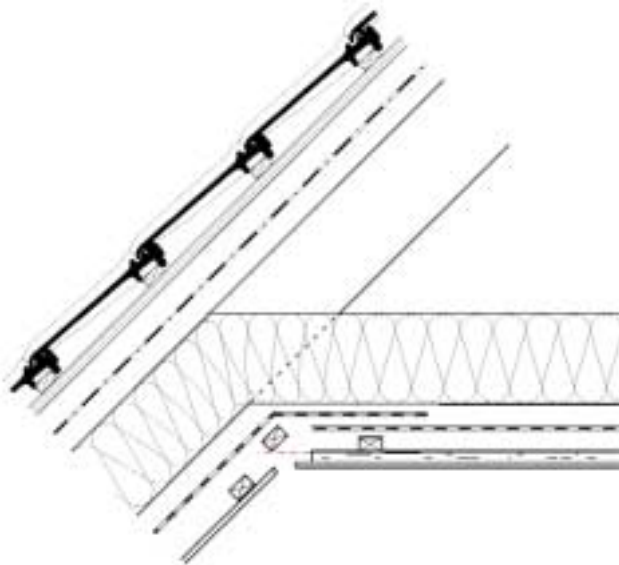
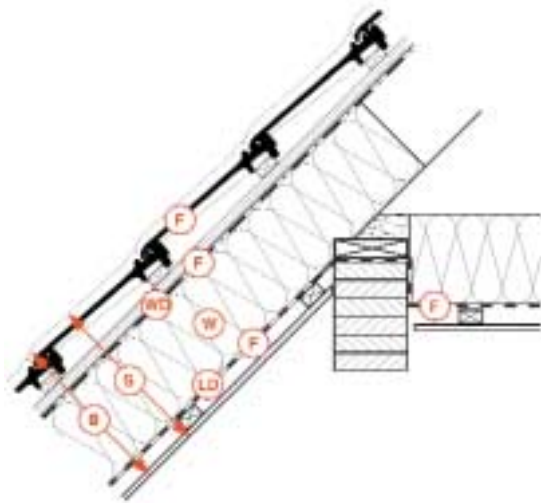
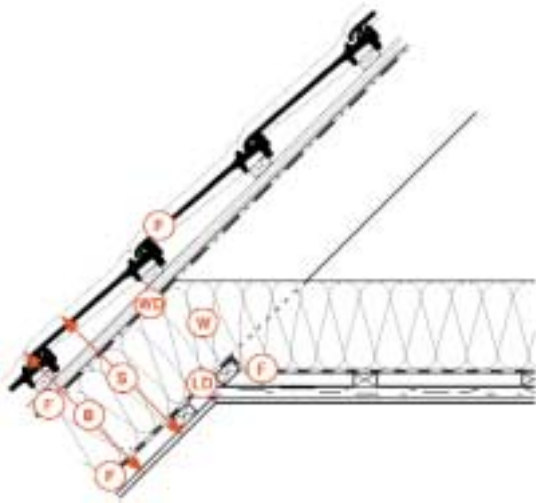
##### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern abzudichten.

##### Brandschutz

Bestehen brandschutztechnische Anforderungen an das Dachtragwerk, ist DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 5.4, zu beachten!

#### 4.6 Mittelpfetten-, Zangenanschluss



#### Hinweise:

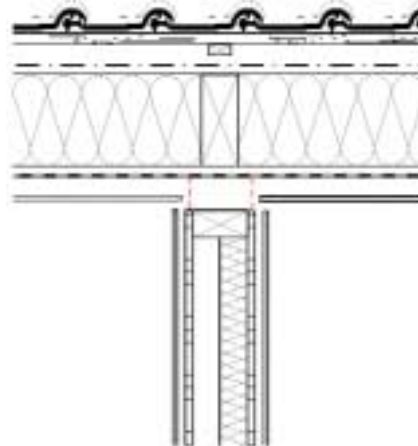
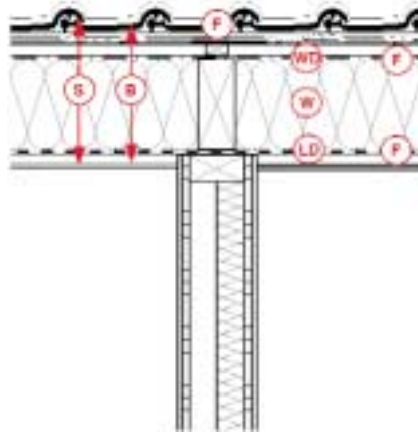
##### **Luftdichtheit**

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern abzudichten.

##### **Brandschutz**

Bestehen brandschutztechnische Anforderungen an das Dachtragwerk, ist DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 5.4, zu beachten!

#### 4.7 Innenwand an Dach



#### Hinweise:

##### Schallschutz

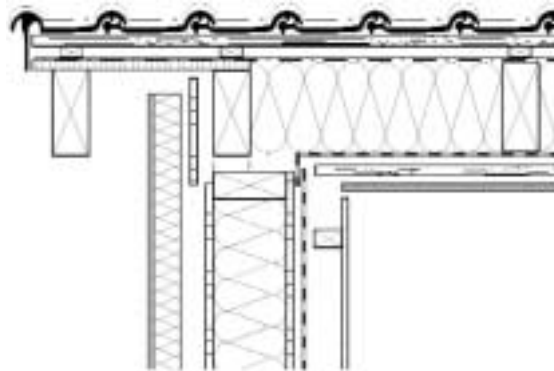
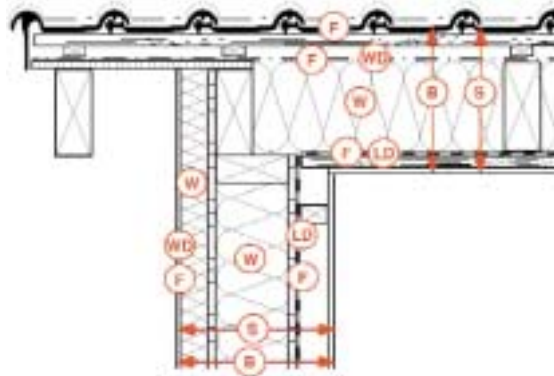
Eine Entkopplung von Trennwand und Dach kann beispielsweise durch einen Randdämmstreifen erreicht werden.

##### Brandschutz

Bestehen brandschutztechnische Anforderungen an das Dachtragwerk, ist DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 5.4, zu beachten!

Brandschutztechnische Anforderungen an die Innenwand bei tragenden Wänden und bei Trennwänden zwischen Nutzungseinheiten beachten (DIN 4102-4 oder allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis).

## 4.8 Ortgang



### Hinweise:

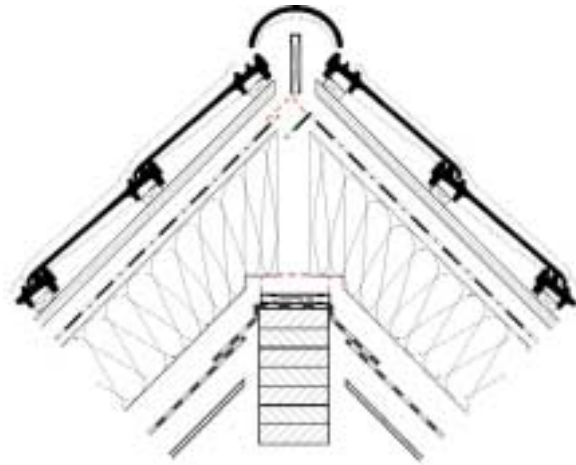
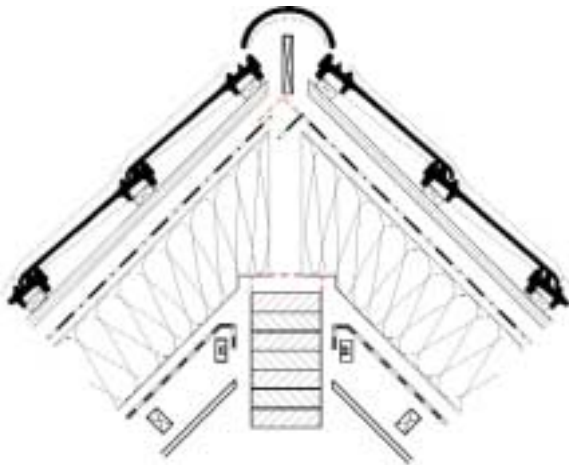
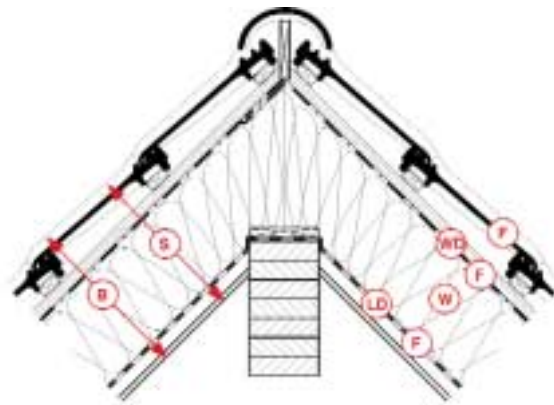
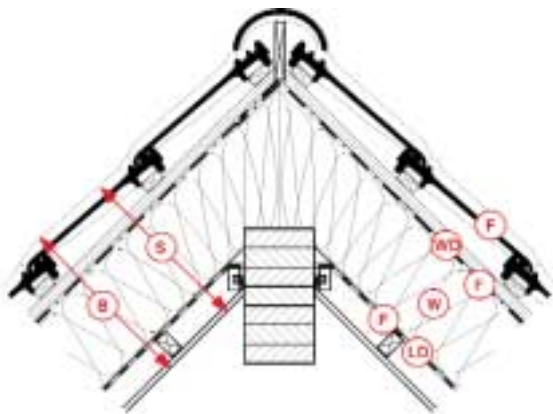
#### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern oder Dichtungsmassen abzudichten.

#### Brandschutz

Bestehen brandschutztechnische Anforderungen an das Dachtragwerk, ist DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 5.4, zu beachten!

#### 4.9 Firstanschluss



#### Hinweise:

##### Luftdichtheit

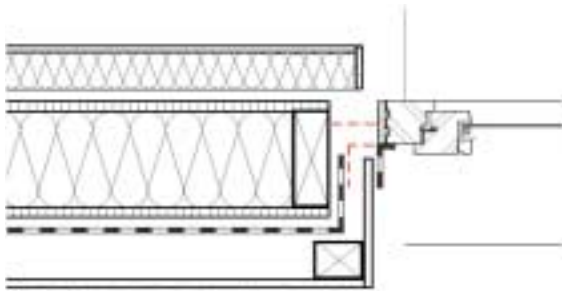
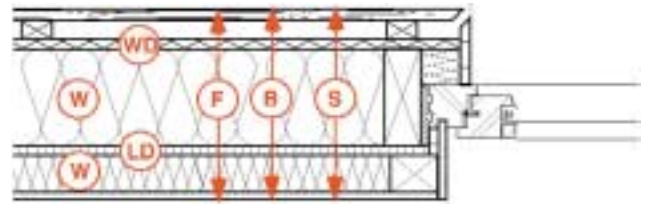
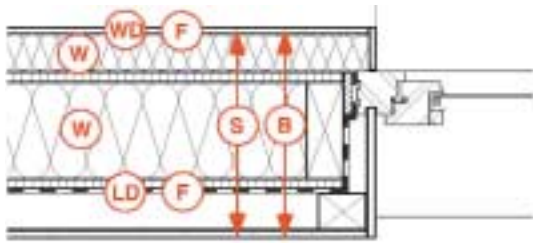
Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern oder Dichtungsmassen abzudichten.

##### Brandschutz

Bestehen brandschutztechnische Anforderungen an das Dachtragwerk, ist DIN 4102-4:1994-03, Abschnitt 5.4, zu beachten!



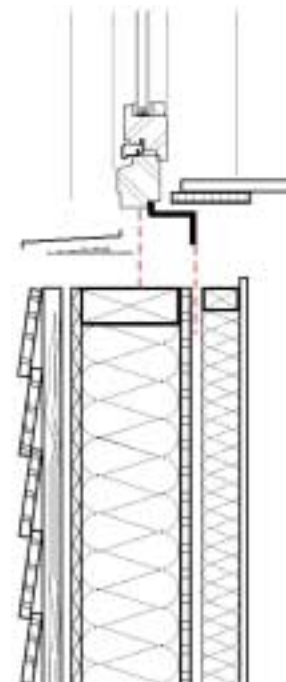
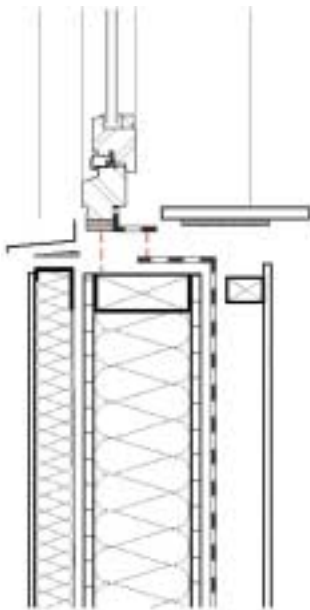
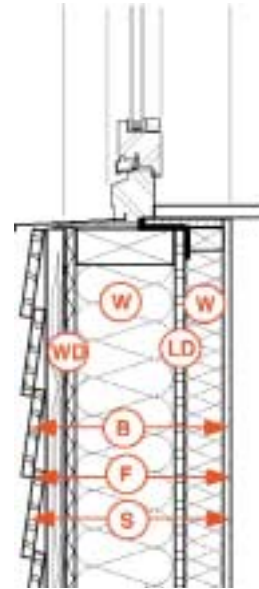
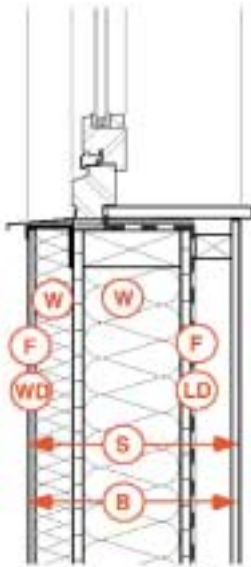
#### 4.10 Fensteranschluss



#### Hinweise:

##### Luftdichtheit

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern, Dichtungsmassen oder vorkomprimierten Dichtbändern abzudichten.



#### Hinweise:

##### **Luftdichtheit**

Die Anschlüsse der Luftdichtheitsschicht sind mit Klebebändern, Dichtungsmassen oder vorkomprimierten Dichtbändern abzudichten.

## Literaturverzeichnis

- [1] Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise. Hrsg. Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. WEKA MEDIA Kissing, 2001.
- [2] DIN EN 13986:2002-09, Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen - Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung.
- [3] Radovic, B.; Cheret, P. und Heim, F.: Konstruktive Holzwerkstoffe. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 4, Teil 4, Folge 1, (Okt. 1997).
- [4] Schmidt, H.: Holz im Außenbereich. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 18, Folge 2, (Dez. 2000).
- [5] Müller, A.; Sessing, J.; Schwaner, K. und Wiegand, T.: Außenbekleidungen mit Holzwerkstoffplatten. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, (Dez. 2001).
- [6] Kuhweide, P.; Wagner, G. und Wiegand, T.: Konstruktive Vollholzprodukte. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 4, Teil 5, Folge 1, (Juni 2000).
- [7] Schulze, H.: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 10, Folge 4, (Mai 1999).
- [8] Colling, F.: Lernen aus Bauschäden. DGfH Innovations- und Service GmbH, München, 2000.
- [9] Geißler, A.: Blower Door und Thermographie - Möglichkeiten und Fallstricke. e.u.z. 6. Blower Door-Symposium, Oktober 2001.
- [10] Hauser, G.: Wärmebrücken und Luftdichtheit - Die Problemfelder des baulichen Wärmeschutzes. db 131 (1997), H. 5, S. 101-108.
- [11] DIN EN ISO 13829:2001-02, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren.
- [12] Hall, M. und Hauser, G.: In situ Quantifizierung von Leckagen bei Gebäuden in Holzbauart. Abschlussbericht AiF-Forschungsvorhaben Nr. 12611 N, Fachgebiet Bauphysik der Universität Kassel, Mai 2003. www.bpy.uni-kassel.de
- [13] DIN 4108-7:2001-08, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele.
- [14] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung), BGBl. Teil 1 (1982), S. 209 - 219.
- [15] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16. Nov. 2001. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 59, S. 3085-3102.
- [16] Kaufmann, B.; Feist, W.; John, M.; Nagel, M.: Das Passivhaus - Energie-Effizientes-Bauen. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 10, (Okt. 2002).
- [17] Peper, S. und Feist, W.: Luftdichte Projektierung von Passivhäusern - Eine Planungshilfe -. Forschungsprojekt CEPHEUS, Projektinformation 7, Passivhaus Institut, Mai 1999, 6. Auflage, Nov. 2003.
- [18] Basin, K. und Zeller, J.: Luftdichtheit von Wohngebäuden. VVEW Energieverlag Frankfurt, 3. Auflage, 2002.
- [19] Fachverband für Luftdichtheit im Bauwesen, Gottschalkstraße 28a, 34127 Kassel, www.flib.de
- [20] Hall, M.; Geißler, A. und Hauser, G.: Konstruktive Maßnahmen zur Vermeidung erhöhter Transmissionswärmeverluste in Dachabschnitten. Abschlussbericht AiF-Forschungsvorhaben Nr. 11632, Fachgebiet Bauphysik der Universität Kassel, April 2001.
- [21] EnEG Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden. Bundesgesetzblatt Teil 1, 28. Juli 1976, S.1873-1875.
- [22] Gösele, K. und Schüle, W.: Schall - Wärme - Feuchte. Bauverlag Wiesbaden 1965, 7. überarbeitete Auflage, 1983.
- [23] Hauser, G.; Otto, F.; Ringeler, M.; Stiegel, H.; Maas, A.: Holzbau und die Energieeinsparverordnung. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 2, (Dez. 2000).
- [24] DIN V 4108-6:2003-06, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.
- [25] DIN V 4108-4:2002-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte.
- [26] DIN EN 12524:2000-07, Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte.
- [27] DIN EN ISO 6946:2003-10, Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren.
- [28] Hauser, G. Stiegel, H., Haupt, W.: Wärmebrücken-katalog auf CD-ROM. Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Baunatal (1998), überarbeitete Fassung (2002). www.ihh-hauser.de
- [29] DIN EN ISO 10 211-2:2001-06, Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren.
- [30] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. Bauverlag Wiesbaden, 1990, 3. durchgesehene Auflage, 1996.
- [31] Hauser, G. und Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau. Bauverlag Wiesbaden, 1992.
- [32] Hauser, G., Schulze, H. und Wolfseher, U.: Wärmebrücken im Holzbau. Bauphysik 5 (1983), H. 1, S. 17-21; H. 2, S. 42-51.
- [33] DIN 4108-2:2003-07, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [34] DIN 4108 Beiblatt 2:2004-01, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele.
- [35] Maas, A., Hauser, G. und Höttges, K.: Die Energieeinsparverordnung. Bauphysik 24 (2002), H. 1, S. 26-38; wksb 47 (2002), H. 48, S. 15-25.
- [36] CO<sub>2</sub> Minderungsprogramm. Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), www.kfw.de
- [37] DIN V 4108-10:2002-02, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe - Teil 10: Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe.
- [38] Lutz, P.; Jenisch, R.; Klopfer, H., Freymuth, H. und Krampf, L.: Lehrbuch der Bauphysik - Schall, Wärme, Feuchte, Licht, Brand. Teubner Stuttgart, 1985.
- [39] Hauser, G.: Bauphysik Grundlagen, Feuchtelehre. Vorlesungsskript Bauphysik I und II. Universität Kassel, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Bauphysik 2001.
- [40] DIN 4108-3:2001-07, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.
- [41] Grunewald, J.: Diffusiver und konvektiver Stoff- und Energietransport in kapillarporösen Baustoffen. Dissertation Universität Dresden, 1997.
- [42] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart, 1994.
- [43] Otto, F. und Hauser, G.: Auswirkungen der neuen europäischen Norm EN ISO 13788 „Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren auf Konstruktion und Holzschutz von Außenbauteilen in Holzbauart“. Abschlussbericht DGfH-Forschungsvorhaben Nr. F 2000/20, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser (2003).
- [44] DIN 68800-2:1996-05, Holzschutz - Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.
- [45] Halle-Tischendorf, F.: Gesundheitliche Bedeutung des baulichen Schallschutzes. Hrsg.: Bechert, Mechel, Lamprecht. Beton-Verlag 1986.
- [46] VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen; Kriterien für Planung und Beurteilung (1994).
- [47] DIN 4109:1989-11, Schallschutz im Hochbau: Anforderungen und Nachweise.
- [48] Schulze, H.: Grundlagen des Schallschutzes. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 1, (Oktober 1998)
- [49] Fasold, W. und Veres, E.: Schallschutz + Raumakustik in der Praxis - Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. Verlag für Bauwesen, Berlin, 1998.
- [50] Mechel, F. P.: Schallschutz im Hochbau - Hinweise für Planung und Ausführung. Hrsg. Bechert, Mechel, Lamprecht, Beton-Verlag, 1986.
- [51] Holtz, F.; Hessinger, J.; Buschbacher, H.-P.; Rabold, A.: Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 3, (Mai 1999).
- [52] Lüßner, K.; Rug, W.; Winter, S.; Schmidt, D.; Holtz, F.; Hessinger, J.; Hauser, G.; Otto, F.: Modernisierung von Altbauten. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 1, Teil 14, Folge 1, (Dez. 2001).
- [53] Holtz, F.; Hessinger, J.; Rabold, A.; Buschbacher, H.-P.: Schallschutz - Wände und Dächer INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 4, (August 2004).
- [54] Holtz, F., Hessinger, J., Rabold, A., Buschbacher, H.-P.: Verringerung der Schallabstrahlung von Holzständerwänden bei Trittschallanregung im mehrgeschossigen Holz-Wohnungsbau. DGfH Forschungsbericht der LSW - Labors für Schall- und Wärmemesstechnik - GmbH, 2003.
- [55] DIN EN ISO 717-1:1997-01, Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung.
- [56] DIN EN ISO 717-2:1997-01, Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung.
- [57] Entscheidung der Europäischen Kommission Nr. 2003/43/EC vom 07. August 2003. Amtsblatt der Europäischen Union vom 08.08.2003.
- [58] Kolb, P.: Der Schweizer Weg. Bericht über das Brandforschungsprogramm der Schweizer Holzwirtschaft. Tagungsband Holzfachschule Biel, Garmisch-Partenkirchen, 2003.
- [59] Winter, S.: Mehrgeschossiger Holzbau nach der neuen Musterbauordnung in Deutschland. Tagungsband Holzfachschule Biel. Garmisch-Partenkirchen, 2003.
- [60] Winter, S.: Grundlagen des Brandschutzes. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 4, Folge 1, (Aug. 1998).
- [61] www.is-argebau.de
- [62] Meyer-Ottens, C.: Feuerhemmende Holzbauteile. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 4, Folge 2, (Juli 2001).
- [63] Winter, S.; Löwe, P.: Brandschutz im Holzbau - gebaute Beispiele. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 4, Folge 3, (Sept. 2001).
- [64] Winter, S.; Schopbach, H.: Brandschutz im Hallenbau. INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 4, Folge 4, (2004).
- [65] K. Kordina, C. Meyer-Ottens: Holz Brandschutz Handbuch. 2. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, 1994.
- [66] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C. DIBt Mitteilungen 33 (2002), Sonderheft Nr. 26.
- [67] E DIN 1052:2004-01, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.
- [68] Hauser, G.; Stiegel, H.; Haupt, W.; Otto, F.; Ringeler, M.: INFORMATIONSDIENST **HOLZ**, Wärmebrücken-katalog-Holzbaudetails, überarbeitete Fassung (2002), gefördert durch den Holzabsatzfonds; zu beziehen bei der Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., www.dfg.de.

## Bildnachweis

1.1 Architekt: Architektenbüro Trykowski,  
Frensdorf

Foto: Passivhaus Institut

3.1.11 Firma Eisedicht, Barntrup/  
Firma Knauf, Iphofen

3.1.12 Kaiser GmbH & Co. KG, Schalksmühle

3.3.1 Hauser, Universität München

3.3.2 Architekt: Burkard Schulze Darup,  
Nürnberg

Foto: Passivhaus Institut

3.3.3, 3.3.4, 3.3.5 Otto, Ingenieurbüro Prof.  
Dr. Hauser, Kassel

