

DIN 4108-3**DIN**

ICS 91.120.10; 91.120.30

Ersatz für
DIN 4108-3:2014-11

**Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden –
Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz –
Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und
Ausführung**

Thermal protection and energy economy in buildings –
Part 3: Protection against moisture subject to climate conditions –
Requirements, calculation methods and directions for planning and construction

Protection thermique et économie d'énergie dans la construction immobilière –
Partie 3: Protection contre l'humidité conditionnée par le climat –
Exigences, méthodes de calcul et directions pour la planification et l'exécution

Gesamtumfang 75 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

DIN 4108-3:2018-10

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	9
3.1 Begriffe zur Wasserdampfdiffusion	9
3.2 Begriffe zur kapillaren Wasseraufnahme	10
3.3 Begriffe zur Wasserdampfkonvektion und Belüftung	10
3.4 Begriffe zur Feuchtespeicherung	11
3.5 Begriffe zur Bauteilkonstruktion	11
4 Symbole, Einheiten und Indizes	12
4.1 Symbole und Einheiten	12
4.2 Indizes	13
5 Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen und von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen	14
5.1 Kritische Luftfeuchte an Bauteiloberflächen	14
5.1.1 Allgemeine Anforderungen, Berechnungs- und Ausführungshinweise	14
5.1.2 Anforderungen, Berechnungs- und Ausführungshinweise für Wärmebrücken	14
5.1.3 Hinweise für Fenster und Fenstertüren	15
5.2 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen	15
5.2.1 Allgemeines	15
5.2.2 Anforderungen	16
5.2.3 Angaben zur Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse	16
5.2.4 Angaben zur Bewertung des Bauteils	16
5.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist	17
5.3.1 Allgemeines	17
5.3.2 Außenwände und Bodenplatten	17
5.3.3 Dächer	19
6 Schlagregenschutz von Wänden	28
6.1 Allgemeines	28
6.2 Beanspruchungsgruppen	28
6.2.1 Allgemeines	28
6.2.2 Beanspruchungsgruppe I — geringe Schlagregenbeanspruchung	29
6.2.3 Beanspruchungsgruppe II — mittlere Schlagregenbeanspruchung	29
6.2.4 Beanspruchungsgruppe III — starke Schlagregenbeanspruchung	29
6.3 Putze und Beschichtungen	31
6.4 Beispiele und Hinweise zur Erfüllung des Schlagregenschutzes	31
6.4.1 Außenwände	31
6.4.2 Fugen und Anschlüsse	32
6.4.3 Fenster, Außentüren, Vorhangfassaden	33
7 Hinweise zur Luftdichtheit	34
Anhang A (normativ) Berechnungsverfahren zur Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen und zur Bestimmung von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen	35
A.1 Kritische Luftfeuchte an Bauteiloberflächen	35
A.1.1 Allgemeines	35
A.1.2 Berechnung für ebene, thermisch homogene Bauteile	38
A.1.3 Berechnung im Bereich von Wärmebrücken	38

A.2	Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen.....	39
A.2.1	Allgemeine Angaben zur Berechnung.....	39
A.2.2	Randbedingungen	39
A.2.3	Hinweise zu Stoffeigenschaften.....	40
A.2.4	Vorgehensweise	41
A.2.5	Tauwasserbildung und Berechnung der Tauwassermasse	42
A.2.6	Verdunstung und Berechnung der Verdunstungsmasse	44
Anhang B (informativ) Berechnungsbeispiel.....		49
B.1	Allgemeines	49
B.2	Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten.....	50
B.3	Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt	51
B.4	Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode.....	52
B.5	Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen	54
B.6	Bewertung.....	55
Anhang C (normativ) Grundlagen für wärme- und feuchteschutztechnische Berechnungen		56
C.1	Wärmeschutztechnische Größen und Temperaturverteilung	56
C.1.1	Allgemeines	56
C.1.2	Wärmedurchlasswiderstand.....	56
C.1.3	Wärmedurchgangswiderstand.....	56
C.1.4	Wärmedurchgangskoeffizient	56
C.1.5	Wärmestromdichte.....	56
C.1.6	Temperaturverteilung.....	56
C.2	Feuchteschutztechnische Größen und Dampfdruckverteilungen	58
C.2.1	Allgemeines	58
C.2.2	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	58
C.2.3	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand.....	58
C.2.4	Wasserdampf-Diffusionsstromdichte.....	59
C.2.5	Dampfdruckverteilungen	60
C.3	Wasserdampfteildruck und Luftfeuchte	63
C.4	Sättigungsdampfdruck und Taupunkttemperatur	63
Anhang D (normativ) Feuchteschutzbemessung durch hygrothermische Simulation.....		68
D.1	Allgemeines	68
D.2	Äußere Randbedingungen	68
D.2.1	Allgemeines	68
D.2.2	Klimadatensätze	68
D.2.3	Wärme- und Feuchteübertragung an der Außenoberfläche	69
D.3	Raumseitige Randbedingungen	69
D.4	Wärme- und Feuchteübertragung an der raumseitigen Oberfläche	70
D.5	Anfangsbedingungen.....	71
D.6	Feuchtequellen aufgrund von Luftkonvektion oder Schlagregenpenetration durch unvermeidbare Leckagen.....	71
D.6.1	Allgemeines	71
D.6.2	Feuchtequellen durch Dampfkonvektion.....	71
D.6.3	Feuchtequellen durch Schlagregenpenetration.....	71
D.7	Beurteilung der Simulationsergebnisse	72
D.7.1	Allgemeines	72
D.7.2	Eingeschwungener Zustand.....	72
D.7.3	Bewertung der Feuchtezustände an den Oberflächen und innerhalb der Konstruktion	72
D.7.4	Vermeidung von Holzerstörung.....	72
D.7.5	Vermeidung von Frostschäden.....	73
D.8	Wahl geeigneter Simulationsverfahren	73
D.9	Fehlerkontrolle	73
D.10	Dokumentation	73

DIN 4108-3:2018-10

Literaturhinweise..... 74

Vorwort

Diese Norm wurde von den NABau-Arbeitsausschüssen NA 005-56-90 AA „Baulicher Wärmeschutz im Hochbau“ und NA 005-56-99 AA „Feuchte“ erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Die Reihe DIN 4108, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden* besteht aus:

- *Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*
- *Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz — Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung*
- *Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte (Vornorm)*
- *Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs (Vornorm)*
- *Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden — Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele*
- *Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe — Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe*
- *Beiblatt 2: Wärmebrücken — Planungs- und Ausführungsbeispiele*
- *DIN Fachbericht 4108-8, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden*

Änderungen

Gegenüber DIN 4108-3:2014-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich klarer abgegrenzt und Einleitung aufgenommen;
- b) Überarbeitung nachweisfreie Konstruktionen in 5.3.3 (Dächer, für die kein rechnerischer Tauwasser-Nachweis erforderlich ist);
- c) Anhang B überarbeitet, auf ein Berechnungsbeispiel reduziert;
- d) Status des Anhangs D „Feuchteschutzbemessung durch hygrothermische Simulation“ in „normativ“ geändert und erweitert.

Frühere Ausgaben

DIN 4108: 1952xx-07, 1960-05, 1969-08

DIN 4108-3: 1981-08, 2001-07, 2014-11

DIN 4108-5: 1991-08

DIN 4108-3 Berichtigung 1: 2002-04

DIN 4108-3:2018-10

Einleitung

Die möglichen Einwirkungen von Tauwasser aus der Raumluft unter winterlichen Bedingungen und die Einwirkungen von Schlagregen auf Baukonstruktionen sollen so begrenzt werden, dass Schäden (z. B. unzulässige Minderung des Wärmeschutzes, Schimmelbildung, Korrosion) vermieden werden. Die Möglichkeit der raumseitigen Tauwasserbildung aus einströmender Außenluft in den Innenraum (Sommerkondensation) oder die Umkehrdiffusion bei besonnten Bauteilen ist im Einzelfall zu beachten.

Die Anforderungen und Hinweise beziehen sich auf Bauteile nach Abgabe der Rohbaufeuchte. In der Phase der Bauaustrocknung können Verhältnisse auftreten, die besonders berücksichtigt werden müssen und zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen können.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und Ausführung zum klimabedingten Feuchteschutz in Gebäuden fest. Sie gilt nicht für Bauwerksabdichtungen.

Nebenräume, die zu Aufenthaltsräumen gehören, werden im Sinne dieser Norm wie Aufenthaltsräume behandelt.

Feuchteschutztechnische Anforderungen für raumseitige Bauteiloberflächen werden in DIN 4108-2 behandelt.

Der Nachweis der feuchtetechnischen Unbedenklichkeit von Baukonstruktionen kann je nach Anwendungsfall mithilfe einer dreistufigen Beurteilungsmethodik erfolgen. Die 1. Stufe ist die Auswahl einer nachweisfreien Konstruktion, die 2. Stufe der einfache Nachweis mithilfe des Periodenbilanzverfahrens und die 3. Stufe der Nachweis durch hygrothermische Simulation. Die 1. und die 2. Stufe sind ausschließlich auf Bauteile von nicht klimatisierten Wohn- oder wohnähnlich genutzten Gebäuden anwendbar.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1045-2, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 2: Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1*

DIN 4108 Beiblatt 2, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Wärmebrücken — Planungs- und Ausführungsbeispiele*

DIN 4108-2, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*

DIN 4108-4, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte*

DIN 4108-7:2011-01, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden — Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele*

DIN 4108-10, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe — Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe*

DIN 4213, *Anwendung von vorgefertigten Bauteilen aus haufwerksporigem Leichtbeton mit statisch anrechenbarer oder nicht anrechenbarer Bewehrung in Bauwerken*

DIN 18515-1, *Außenwandbekleidungen — Grundsätze für Planung und Ausführung — Teil 1: Angemörtelte Fliesen oder Platten*

DIN 18516-1, *Außenwandbekleidungen, hinterlüftet — Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze*

DIN 18516-3, *Außenwandbekleidungen, hinterlüftet — Teil 3: Naturwerkstein; Anforderungen, Bemessung*

DIN 18540, *Abdichten von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen*

DIN 68800-1, *Holzschutz — Teil 1: Allgemeines*

DIN 4108-3:2018-10

DIN 68800-2:2012-02, *Holzschutz — Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau*

DIN EN 206, *Beton — Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 992, *Bestimmung der Trockenrohdichte von haufwerksporigem Leichtbeton*

DIN EN 1520, *Vorgefertigte Bauteile aus haufwerksporigem Leichtbeton und mit statisch anrechenbarer oder nicht anrechenbarer Bewehrung*

DIN EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 1996-1-1, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten — Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk*

DIN EN 12154, *Vorhangfassaden — Schlagregendichtheit — Leistungsanforderungen und Klassifizierung*

DIN EN 12208, *Fenster und Türen — Schlagregendichtheit — Klassifizierung*

DIN EN 12602, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton*

DIN EN 13162, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) — Spezifikation*

DIN EN 13165, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Polyurethan-Hartschaum (PU)*

DIN EN 13166, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Phenolharzschaum (PF) — Spezifikation*

DIN EN 13168, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzwolle (WW) — Spezifikation*

DIN EN 13171, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) — Spezifikation*

DIN EN 13499, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus expandiertem Polystyrol — Spezifikation*

DIN EN 13500, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) aus Mineralwolle — Spezifikation*

DIN EN 13986, *Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen — Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung*

DIN EN 15026:2007-07, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen — Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung EN 15026:2007*

DIN EN ISO 6946, *Bauteile — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren*

DIN EN ISO 7345, *Wärmeverhalten von Gebäuden und Baustoffen - Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 9229, *Wärmedämmung — Begriffe*

DIN EN ISO 9346, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden und Baustoffen — Physikalische Größen für den Stofftransport — Begriffe*

DIN EN ISO 10211, *Wärmebrücken im Hochbau — Wärmeströme und Oberflächentemperaturen — Detaillierte Berechnungen*

DIN EN ISO 10456, *Baustoffe und Bauprodukte — Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften — Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte*

DIN EN ISO 12570, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten — Bestimmung des Feuchtegehaltes durch Trocknen bei erhöhter Temperatur*

DIN EN ISO 12572, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten — Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit — Verfahren mit einem Prüfgefäß*

DIN EN ISO 13788, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen — Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren — Berechnungsverfahren*

DIN EN ISO 15148, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten — Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen*

DIN EN ISO 15927-3, *Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Gebäuden — Berechnung und Darstellung von Klimadaten — Teil 3: Berechnung des Schlagregenindex für senkrechte Oberflächen aus stündlichen Wind- und Regendaten*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 18516-1, DIN EN 1996-1-1, DIN EN ISO 6946, DIN EN ISO 7345, DIN EN ISO 9229, DIN EN ISO 9346, DIN EN ISO 12572, DIN EN ISO 15148 und die folgenden Begriffe.

3.1 Begriffe zur Wasserdampfdiffusion

3.1.1

Wasserdampfdiffusion

Wanderung von Wassermolekülen in einem Gasgemisch, z. B. Luft bzw. Luft in den Porenräumen von Baustoffen, aufgrund von Unterschieden im Wasserdampfpartialdruck

3.1.2

Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl

μ

Quotient aus Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in Luft δ_0 und Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in einem Stoff δ :

$$\mu = \delta_0 / \delta \quad (1)$$

3.1.3

wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

s_d

Dicke d einer ruhenden Luftschicht, die den gleichen Wasserdampf-Diffusionswiderstand besitzt wie eine betrachtete Bauteilschicht bzw. ein aus Schichten zusammengesetztes Bauteil

$$s_d = \mu \times d \quad (2)$$

DIN 4108-3:2018-10

Anmerkung 1 zum Begriff: Für mehrschichtige, ebene Bauteile gilt die Addition der einzelnen wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der Einzelschichten.

3.1.4**diffusionsoffene Schicht**

Bauteilschicht mit $s_d \leq 0,5$ m

3.1.5**diffusionsbremsende Schicht**

Bauteilschicht mit $0,5 \text{ m} < s_d \leq 10$ m

3.1.6**diffusionshemmende Schicht**

Bauteilschicht mit $10 \text{ m} < s_d \leq 100$ m

3.1.7**diffusionssperrende Schicht**

Bauteilschicht mit $100 \text{ m} < s_d < 1\,500$ m

3.1.8**diffusionsdichte Schicht**

Bauteilschicht mit $s_d \geq 1\,500$ m

3.1.9**Schicht mit variablem s_d -Wert**

Bauteilschicht, die ihren s_d -Wert in Abhängigkeit von der umgebenden relativen Luftfeuchte verändert

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch DIN 68800-2.

3.2 Begriffe zur kapillaren Wasseraufnahme**3.2.1****kapillare Wasseraufnahme**

Aufnahme von flüssigem Wasser in ein benetzbares kapillarporöses Material bei Oberflächenkontakt mit flüssigem Wasser und aufgrund von kapillaren Saugspannungen im Material

3.2.2**Wasseraufnahmekoeffizient**

W_w

kapillar aufgenommene Wassermasse bezogen auf die Wurzel aus der Zeit und auf die wasseraufnehmende Fläche (entspricht der benetzten Oberfläche eines Probekörpers beim Saugversuch)

3.3 Begriffe zur Wasserdampfkonvektion und Belüftung**3.3.1****Wasserdampfkonvektion**

Transport von Wasserdampf mittels eines strömenden Gasgemisches, z. B. feuchte Luft, aufgrund von Luftdruckdifferenzen, z. B. durch Thermik oder Wind

3.3.2**belüftete Luftschicht**

Luftschicht in einer Konstruktion, die mit der Außenluft über Zu- und Abluftöffnungen in Verbindung steht

3.3.3**nicht belüftete Luftschicht**

Luftschicht in einer Konstruktion ohne oder mit einer nur dem Druckausgleich dienenden Verbindung zur Umgebungsluft

3.3.4

Luftdichtheit

Eigenschaft eines Baustoffes, eines Bauteils oder der Hülle eines Gebäudes, nicht oder nur in geringem Maße mit Luft durchströmt zu werden

[QUELLE: DIN 4108-7:2011-01, Begriff 3.4]

3.4 Begriffe zur Feuchtespeicherung

3.4.1

Ausgleichsfeuchte

Sorptionsfeuchte

Feuchtegehalt eines Baustoffs, der sich bei einer konstanten Temperatur (z. B. 23° C) und einer konstanten relativen Umgebungsfeuchte (z. B. 80 % oder 95 % relative Luftfeuchte) im Baustoff einstellt

3.4.2

Sättigungsgrad

Quotient aus Masse des Wassers in einem porösen Körper und der maximal möglichen Masse des Wassers (Sättigung)

3.5 Begriffe zur Bauteilkonstruktion

3.5.1

belüftetes Dach

Dachkonstruktion, bei der direkt oberhalb der Wärmedämmung eine Luftschicht angeordnet ist, die mit der Außenluft in Verbindung steht

3.5.2

nicht belüftetes Dach

Dachkonstruktion, bei der direkt oberhalb der Wärmedämmung keine Luftschicht angeordnet ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu nicht belüfteten Dächern gehören auch solche, die außenseitig im weiteren Dachaufbau zusätzliche belüftete Luftschichten haben.

3.5.3

Dachabdichtung

flächige, wasserdichte Schicht in der Dachkonstruktion

3.5.4

Dachdeckung

oberer Abschluss einer geeigneten Dachkonstruktion aus überlappenden oder verfalzten Deckwerkstoffen

3.5.5

Nicht belüftete Dachdeckung

Dachdeckung auf flächiger Unterlage, z. B. Schalung

3.5.6

Belüftete Dachdeckung

Dachdeckung auf linienförmiger Unterlage, z. B. Lattung und Konterlattung

3.5.7

Hinterlüftete Außenwandbekleidung

Außenwandbekleidung, bei der raumseitig der Bekleidung und seiner Unterlage eine Luftschicht angeordnet ist, die über Öffnungen am oberen und unteren Abschluss mit der Außenluft in Verbindung steht

DIN 4108-3:2018-10**3.5.8****belüftete Außenwandbekleidung**

Außenwandbekleidung, bei der raumseitig der Bekleidung und seiner Unterlage eine Luftschicht angeordnet ist, die über Öffnungen am unteren Abschluss mit der Außenluft in Verbindung steht

3.5.9**luftdurchlässige Außenwandbekleidung**

Außenwandbekleidung aus klein- oder brettformatigen Bekleidungselementen (z. B. Schiefer), die überlappend auf linienförmiger Unterlage (z. B. Latten oder Metallprofile) gedeckt werden

3.5.10**Massivdecke**

luftdichtes Bauteil aus mineralischen Materialien

4 Symbole, Einheiten und Indizes**4.1 Symbole und Einheiten**

Für Zeichen, Größen und Einheiten siehe Tabelle 1.

Tabelle 1 — Zeichen, Größen und Einheiten

Symbol	Größe	Einheit
G	Feuchteanfall im Raum	kg/h
M_c	Flächenbezogene Tauwassermasse	kg/m ²
M_{ev}	Flächenbezogene Verdunstungsmasse	kg/m ²
R	Wärmedurchlasswiderstand	m ² ·K/W
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand, raumseitig	m ² ·K/W
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand, außenseitig	m ² ·K/W
R_v	Gaskonstante für Wasserdampf	Pa·m ³ /(kg·K)
T	Thermodynamische Temperatur	K
V	Raumvolumen	m ³
W_w	Wasseraufnahmekoeffizient	kg/(m ² ·h ^{0,5})
Z_p	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand bezüglich Dampfdruck	m ² ·s·Pa/kg
Z_v	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand bezüglich volumenbezogener Masse der Luftfeuchte	s/m
d	Schichtdicke	m
f_{Rsi}	Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche	–
g	Wasserdampfdiffusionsstromdichte	kg/(m ² ·s)
n	Luftwechselrate	h ⁻¹
p	Wasserdampfdruck	Pa
q	Wärmestromdichte	W/m ²

Symbol	Größe	Einheit
s_d	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	m
t	Zeit	s bzw. h
u	Massebezogener Feuchtegehalt nach DIN EN ISO 12570	kg/kg bzw. %
w	Volumenbezogener Feuchtegehalt	kg/m ³
w_{80}	Ausgleichsfeuchte bei 80 % relative Luftfeuchte und 23 °C Umgebungsbedingungen	kg/m ³
w_{95}	Ausgleichsfeuchte bei 95 % relative Luftfeuchte und 23 °C Umgebungsbedingungen	kg/m ³
δ	Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in einem Material	kg/(m·s·Pa)
δ_0	Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in ruhender Luft	kg/(m·s·Pa)
v	Volumenbezogene Masse der Luftfeuchte (absolute Luftfeuchte)	kg/m ³
Δv	Raumseitige Erhöhung der absoluten Luftfeuchte gegenüber außen	kg/m ³
Δp	Raumseitige Erhöhung des Wasserdampfdruckes gegenüber außen	Pa
φ	Relative Luftfeuchte	–
λ	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
μ	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	–
θ	Celsius-Temperatur	°C
Ψ_{por}	offene Porosität	m ³ /m ³

4.2 Indizes

Für Indizes siehe Tabelle 2.

Tabelle 2 — Indizes

Index	Bedeutung
c	Kondensation
cr	Kritischer Wert
e	Außenluft
ev	Verdunstung
i	Raumluft
min	Mindestwert
s	Oberfläche
sat	Wert bei Sättigung
se	Außenseitige Oberfläche
si	Raumseitige Oberfläche

DIN 4108-3:2018-10

Index	Bedeutung
T	Gesamtwert für einen Bauteil

5 Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen und von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen

5.1 Kritische Luftfeuchte an Bauteiloberflächen

5.1.1 Allgemeine Anforderungen, Berechnungs- und Ausführungshinweise

Die Anforderungen zur Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen gelten, bei der hier zugrundeliegenden, stationären Betrachtungsweise, als erfüllt, wenn die für kritische oder schädigende Oberflächenwirkungen maßgebende relative Luftfeuchte an raumseitigen Oberflächen nicht erreicht bzw. überschritten wird. Als kritische Werte der relativen Luftfeuchte an Oberflächen gelten:

- a) für Tauwasserbildung: $\varphi_{si,cr} = 1$ (entspricht 100 % relative Luftfeuchte);
 b) für Schimmelpilzbildung: $\varphi_{si,cr} = 0,8$ (entspricht 80 % relative Luftfeuchte);

ANMERKUNG Es können weitere Anforderungen bestehen, z. B. zur Vermeidung von Korrosion auf metallischen Baustoffen.

Die dafür jeweils einzuhaltende niedrigste raumseitige Oberflächentemperatur $\theta_{si,min}$ ergibt sich aus den raumseitigen Klimarandbedingungen nach Gleichung (3).

$$p_{sat}(\theta_{si,min}) = \frac{p_i}{\varphi_{si,cr}} = \frac{\varphi_i}{\varphi_{si,cr}} \times p_{sat}(\theta_i) \quad (3)$$

$\theta_{si,min}$ ist nach Anhang A zu bestimmen. Damit ergibt sich der Bemessungs-Temperaturfaktor nach Gleichung (3) als Kenngröße für die erforderliche Qualität des Wärmeschutzes eines Bauteils bei gegebenen beidseitigen Klimarand- und Wärmeübergangsbedingungen.

Zur Ermittlung des erforderlichen Wärmedurchlasswiderstandes des Bauteils nach DIN EN ISO 6946 sind Bemessungswerte aus DIN 4108-4, DIN EN ISO 10456 oder aus Produkt- bzw. Materialspezifikationen anzuwenden.

Weitere Angaben zu Festlegung von Klimarandbedingungen, Wärmeübergangswiderständen und zum Berechnungsverfahren gehen aus DIN EN ISO 13788, DIN EN ISO 6946 und DIN EN ISO 10211 hervor.

ANMERKUNG Bei thermisch trägen, z. B. erdberührten, Umschließungsbauteilen von nicht durchgehend beheizten Räumen besteht in der warmen Jahreszeit und bei natürlicher Belüftung die Gefahr der Tauwasserbildung an der raumseitigen Bauteiloberfläche.

5.1.2 Anforderungen, Berechnungs- und Ausführungshinweise für Wärmebrücken

Anforderungen, Randbedingungen für die Berechnung und Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung an raumseitigen Oberflächen im Bereich von Wärmebrücken sind in DIN 4108-2 aufgeführt. Für weitere Angaben zur Berechnung von Wärmebrücken siehe DIN EN ISO 10211.

Planungs- und Ausführungsbeispiele für Wärmebrücken sind in DIN 4108 Beiblatt 2 angegeben.

Weitere Angaben zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchten gehen aus DIN EN ISO 13788 hervor.

5.1.3 Hinweise für Fenster und Fenstertüren

Bei diesen Bauteilen gilt nach DIN EN ISO 13788 kurzfristiges Auftreten von Oberflächentauwasser als unkritisch.

5.2 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen

5.2.1 Allgemeines

Durch das im Winter vorherrschende Dampfdruckgefälle zwischen dem Innenraum von beheizten Gebäuden und der Außenluft kann es in dampfdurchlässigen Bauteilen zur Feuchteerhöhung bis hin zur Tauwasserbildung kommen. Allerdings entsteht sichtbares Tauwasser in der Praxis nur auf oder in Bauteilschichten, die den ankommenden Diffusionsstrom weder durch Sorption noch durch kapillares Saugen aufnehmen können. Die folgenden Anforderungen beziehen sich deshalb ausschließlich auf das hier beschriebene Periodenbilanzverfahren und können nicht auf Modelle, die das reale Temperatur- und Feuchteverhalten von Bauteilen abbilden (siehe Anhang D), übertragen werden.

Das A.2 zugrunde liegende Periodenbilanzverfahren zur Berechnung von Diffusionsvorgängen nach Glaser [6] ist nicht anwendbar bei:

- Konstruktionen von Räumen, die unbeheizt, gekühlt oder mit hoher Feuchtelast beaufschlagt sind (z. B. Schwimmbäder);
- erdberührten Bauteilen;
- Bauteilen zu unbeheizten Nebenräumen sowie Kellern;
- begrünten und bekiesten Dachkonstruktionen sowie solchen mit Plattenbelägen und Holzrosten;
- Innendämmung mit $R > 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ auf einschaligen Außenwänden mit ausgeprägten sorptiven und kapillaren Eigenschaften;
- zur Berechnung des natürlichen Austrocknungsverhaltens, wie z. B. im Fall der Abgabe von Rohbaufeuchte oder der Aufnahme von Niederschlagswasser;
- gedämmte, nicht belüftete Holzdachkonstruktionen mit Metaldachdeckung oder mit Abdichtung auf Schalung oder Beplankung ohne Hinterlüftung der Abdichtungs-/Deckunterlage.

Für die oben genannten Fälle wird auf Anhang D verwiesen.

ANMERKUNG Für Holzdachkonstruktionen mit Metaldachdeckung oder mit Abdichtung auf Schalung oder Beplankung ohne Hinterlüftung der Abdichtungs-/Deckunterlag siehe auch DIN 68800-2:2012-02, 7.5.

Das hier zugrunde liegende Periodenbilanzverfahren (auch „Glaser“-Verfahren) zur Berechnung von Diffusionsvorgängen nach Glaser ist eingeschränkt anwendbar bei Dachkonstruktionen die überwiegend verschattet sind oder eine sehr helle Oberfläche aufweisen (Absorptionsgrad $< 0,6$). Für diese Konstruktionen sind bei der Verdunstungsperiode die Klimabedingungen (Sättigungsdampfdrücke) für Wände anzunehmen. Soll ein anderes Verfahren als das Periodenbilanzverfahren zum Einsatz kommen, wird auf Anhang D verwiesen.

Bauteile, die durch innen- und außenseitige Schichten mit einem Wasserdampf-Diffusionswiderstand mit $s_d > 2 \text{ m}$ begrenzt sind, haben ein geringes Trocknungspotential; dasselbe gilt für innengedämmte Konstruktionen die durch innenseitige Schichten mit einem Wasserdampf-Diffusionswiderstand mit $s_d > 2 \text{ m}$ begrenzt sind. Bei solchen Konstruktionen besteht das Risiko, dass eingetragene Feuchte (z. B. konvektive Feuchte, erhöhte Einbaufeuchte, Regenfeuchte) nicht schnell genug wieder austrocknet und damit zu Schäden führt. Das Periodenbilanzverfahren berücksichtigt diese Effekte nicht.

DIN 4108-3:2018-10

Das Periodenbilanzverfahren ist ein modellhaftes Nachweis- und Bewertungsverfahren als Hilfsmittel für den Fachmann zur Beurteilung des klimabedingten Feuchteschutzes. Es bildet nicht die realen physikalischen Vorgänge in ihrer tatsächlichen zeitlichen Abfolge ab.

5.2.2 Anforderungen

Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen, die durch Erhöhung der Stofffeuchte von Bau- und Wärmedämmstoffen zu Materialschädigungen oder zu Beeinträchtigungen der Funktionssicherheit führt, ist zu vermeiden. Sie gilt als unschädlich, wenn die wesentlichen Anforderungen, z. B. Wärmeschutz, Standsicherheit, sichergestellt sind. Dies wird in der Regel erreicht, wenn die in a) bis d) aufgeführten Bedingungen erfüllt sind:

- a) die Baustoffe, die mit Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht geschädigt werden (z. B. durch Korrosion, Pilzbefall);
- b) das während der Tauperiode im Innern des Bauteils anfallende Wasser muss während der Verdunstungsperiode wieder an die Umgebung abgegeben werden können, d. h. $M_c \leq M_{ev}$;
- c) bei Dächern und Wänden gegen Außenluft sowie bei Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen darf im Bauteilquerschnitt eine maximale flächenbezogene Tauwassermasse M_c von insgesamt $1,0 \text{ kg/m}^2$ (allgemein) bzw. $0,5 \text{ kg/m}^2$ (an Berührungsflächen von Schichten, von denen mindestens eine nicht kapillar wasseraufnahmefähig ist) nicht überschritten werden. Bei Holzbauteilen ist ggf. eine rechnerische Trocknungsreserve einzuhalten (siehe DIN 68800-2);

ANMERKUNG Als kapillar nicht wasseraufnahmefähige Schichten gelten hier solche mit $W_w < 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$. Dazu zählen z. B. Metalle, Folien, die überwiegende Zahl der Dämmstoffe aus Schaumkunststoffen oder Mineralwolle.

- d) bei Holz ist eine Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehaltes u um mehr als 5 %, bei Holzwerkstoffen um mehr als 3 % unzulässig. Diese Grenzen gelten nicht für Holzwolle-Leichtbauplatten und Mehrschicht-Leichtbauplatten nach DIN EN 13168.

Bei Nichterfüllen der Anforderungen darf mit Hilfe weiterführender Berechnungsmethoden nach Anhang D die Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden.

5.2.3 Angaben zur Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse

Die Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse infolge von Diffusionsvorgängen ist nach Anhang A durchzuführen. Konvektionsbedingte Tauwasserbildung ist durch luftdichte Konstruktionen zu minimieren. Beispielhafte Konstruktionen finden sich in DIN 4108-7.

Tritt in der Berechnung nach Anhang A in mehreren Ebenen Tauwasser auf, ist die Summe der flächenbezogenen Tauwassermassen M_c für den Vergleich mit den Bedingungen nach 5.2.2 maßgebend.

5.2.4 Angaben zur Bewertung des Bauteils

Die Ergebnisse der Berechnungen sind entsprechend den folgenden Punkten a) bis d) anzugeben.

- a) Eine Tauwasserbildung tritt nicht auf. In diesem Fall ist anzugeben, dass das Bauteil frei von Tauwasserbildung im Bauteilinneren ist.
- b) Eine Tauwasserbildung tritt an einer oder an mehreren Schichtgrenzen auf.

In diesem Fall sind die an den Schichtgrenzen auftretenden Tauwassermassen einzeln und deren Summe anzugeben. Ferner ist zu überprüfen und zu vermerken, ob die Anforderungen nach 5.2.2 eingehalten werden.

c) Eine Tauwasserbildung tritt in einem Bereich auf.

In diesem Fall ist die im Bereich auftretende Tauwassermasse anzugeben. Ferner ist zu überprüfen und zu vermerken, ob die Anforderungen nach 5.2.2 eingehalten werden.

d) Bei Tauwasserausfall in mehr als einem Bereich ist analog 5.2.4 b zu verfahren.

Für die Bewertung der Ergebnisse gilt:

- tritt kein Tauwasser auf oder werden die Anforderungen nach 5.2.2 erfüllt, ist das Bauteil diffusions-technisch zulässig;
- tritt Tauwasser auf und werden die Anforderungen nach 5.2.2 auch teilweise nicht erfüllt, ist das Bauteil diffusionstechnisch nicht zulässig.

5.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist

5.3.1 Allgemeines

Für die nachfolgend aufgeführten Bauteile mit ausreichendem Wärmeschutz nach DIN 4108-2 und luftdichter Ausführung nach DIN 4108-7 für nicht klimatisierte Wohn- oder wohnähnlich genutzte Räume ist kein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls infolge Wasserdampfdiffusion erforderlich, da kein Tauwasserrisiko besteht oder das Periodenbilanzverfahren für die Beurteilung nicht geeignet ist.

Die Belange des konstruktiven Holzschutzes sind in DIN 68800-2 geregelt.

5.3.2 Außenwände und Bodenplatten

5.3.2.1 Wände aus Mauerwerk oder Beton

Wände aus Mauerwerk nach DIN EN 1996-1-1, Wände aus Normalbeton nach DIN EN 206 bzw. DIN 1045-2, Wände aus gefügedichtem Leichtbeton nach DIN 1045-2, DIN EN 206 und DIN EN 1992-1-1, Wände aus haufwerksporigem Leichtbeton nach DIN 4213, DIN EN 992 und DIN EN 1520, jeweils mit Innenputz und einer der folgenden Außenschichten:

- wasserabweisender Außenputz nach Tabelle 6;
- Außendämmungen nach DIN 4108-10 oder wasserabweisender Wärmedämmputz nach Tabelle 4 oder durch ein nach DIN EN 13499 oder DIN EN 13500 genormtes Wärmedämm-Verbundsystem;
- Verblendmauerwerk nach DIN EN 1996-1-1;
- angemörtelte Außenwandbekleidungen nach DIN 18515-1 bei einem Fugenanteil von mindestens 5 %;
- hinterlüftete Außenwandbekleidungen nach DIN 18516-1 mit und ohne Wärmedämmung;
- einseitig belüftete Außenwandbekleidungen mit einer Lüftungsöffnung von 100 cm²/m;
- kleinformartige luftdurchlässige Außenwandbekleidungen mit und ohne Belüftung.

DIN 4108-3:2018-10**5.3.2.2 Wände mit Innendämmung**

Wände ohne Schlagregenbeanspruchung, wie unter 5.3.2.1, mit einem Wärmedurchlasswiderstand der Innendämmung von $R \leq 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht von $0,5 < R \leq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ist ein Wert $s_{d,i} \geq 0,5 \text{ m}$ der Wärmedämmschicht einschließlich der raumseitigen Bekleidung erforderlich; das Einströmen von Raumluft in bzw. hinter die Innendämmung ist durch geeignete Maßnahmen zu unterbinden.

5.3.2.3 Wände in Holzbauart nach DIN 68800-2

Wände in Holzbauart in den unter a) bis e) genannten Konstruktionsvarianten:

Bei den Konstruktionen ist besonders auf den Schlagregenschutz zu achten; Durchdringungen, Anschlüsse bspw. von Fensterbänken sind dauerhaft dicht und sicher auszuführen.

- a) beidseitig bekleidete oder beplankte Wände in Holzbauart mit vorgehängten Außenwandbekleidungen mit raumseitiger diffusionshemmender Schicht $s_{d,i} \geq 2,0 \text{ m}$ und außenseitiger diffusionsoffener Schicht $s_{d,e} \leq 0,3 \text{ m}$ oder Holzfaserdämmplatte nach DIN EN 13171. Dies gilt auch für nicht belüftete Außenwandbekleidungen aus kleinformatischen Elementen, wenn auf der äußeren Beplankung eine zusätzliche wasserableitende Schicht mit $s_{d,e} \leq 0,3 \text{ m}$ aufgebracht ist;
- b) raumseitig bekleidete oder beplankte Wände in Holzbauart mit raumseitiger diffusionshemmender Schicht $s_{d,i} \geq 2,0 \text{ m}$ und mit Wärmedämm-Verbundsystemen aus mineralischem Faserdämmstoff nach DIN EN 13162 oder Holzfaserdämmplatten nach DIN EN 13171 und einem wasserabweisenden Putzsystem mit $s_d \leq 0,7 \text{ m}$;
- c) beidseitig bekleidete oder beplankte Wände in Holzbauart mit raumseitiger diffusionshemmender Schicht $s_{d,i} \geq 2,0 \text{ m}$ sowie mit einer äußeren Beplankung $s_d \leq 0,3 \text{ m}$ in Verbindung mit einem Wärmedämm-Verbundsystem aus mineralischem Faserdämmstoff nach DIN EN 13162 oder Holzfaserdämmplatten nach DIN EN 13171 sowie einem wasserabweisenden Putzsystem mit $s_d \leq 0,7 \text{ m}$;
- d) beidseitig bekleidete oder beplankte Elemente mit Wärmedämm-Verbundsystem aus Polystyrol oder Mauerwerk-Vorsatzschalen nach DIN 68800-2:2012-02, Anhang A;
- e) Massivholzbauart mit vorgehängten Außenwandbekleidungen oder Wärmedämm-Verbundsystemen nach DIN 68800-2:2012-02, Anhang A.

5.3.2.4 Holzfachwerkwände mit raumseitiger Luftdichtheitsschicht

Holzfachwerkwände mit raumseitiger Luftdichtheitsschicht und

- a) wärmedämmender Ausfachung (Sichtfachwerk) sowie einer wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke der Innenbekleidung von $1 \text{ m} \leq s_{d,i} \leq 2 \text{ m}$;
- b) Innendämmung (über Fachwerk und Gefach) auf Wände ohne Schlagregenbeanspruchung mit einem Wärmedurchlasswiderstand $R \leq 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht von $0,5 < R \leq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ist ein Wert $1 \text{ m} \leq s_{d,i} \leq 2 \text{ m}$ der Wärmedämmschicht einschließlich der raumseitigen Bekleidung erforderlich; das Einströmen von Raumluft in bzw. hinter die Innendämmung ist durch geeignete Maßnahmen zu unterbinden;
- c) Außendämmung (über Fachwerk und Gefach) als genormtes Wärmedämm-Verbundsystem oder Wärmedämmputz, wobei die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke der genannten äußeren Konstruktionsschichten $s_{d,e} \leq 2 \text{ m}$ ist, oder mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung.

5.3.2.5 Erdberührte Kelleraußenwände mit Bauwerksabdichtung

Erdberührte Kelleraußenwände mit Bauwerksabdichtung, aus einschaligem wärmedämmendem Mauerwerk oder Mauerwerk/Beton mit Perimeterdämmung.

5.3.2.6 Bodenplatten mit Perimeterdämmung mit Bauwerksabdichtung

Bodenplatten mit Perimeterdämmung mit Bauwerksabdichtung, wobei der Anteil der raumseitigen Schichten am Gesamtwärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte nicht mehr als 20 % betragen darf.

5.3.3 Dächer

5.3.3.1 Allgemeines

Dachdeckungen müssen regensicher sein. Kennzeichnend dafür sind die sich überlappenden Deckwerkstoffe, z. B. Dachziegel, Dachsteine, Schiefer, Metallbleche und die Einhaltung der Regeldachneigung. Bei Dächern mit Dachdeckungen müssen in der Regel zusätzliche regensichernde Maßnahmen, z. B. Unterdächer, Unterdeckungen, Unterspannungen, geplant und ausgeführt werden.

Dachabdichtungen müssen wasserdicht sein. Kennzeichnend für Dachabdichtungen sind die wasserdicht verbundenen Dachabdichtungswerkstoffe, z. B. Bitumenbahnen, Kunststoffbahnen, Elastomerbahnen, Flüssigkunststoffe. Dachabdichtungen müssen bis zur Oberkante der An- und Abschlüsse wasserdicht sein. Dies erfordert auch wasserdichte Anschlüsse an Dachdurchdringungen sowie die Einhaltung bestimmter Anschlusshöhen (siehe [5]).

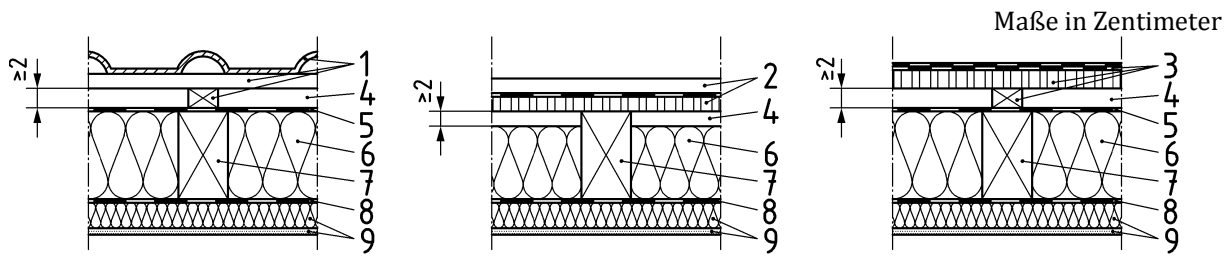
ANMERKUNG 1 Ausführungen von belüfteten Dächern und nicht belüfteten Dächern sind unter anderem in [11] und in Bezug auf den Holzschutz in DIN 68800-2 zu finden.

ANMERKUNG 2 Bei nicht belüfteten Dächern mit äußeren diffusionshemmenden Wärmedämmschichten mit $s_{d,e} \geq 2,0$ m trocknet erhöhte Baufeuchte oder später — z. B. durch Undichtheiten — eingedrungene Feuchte nur schlecht oder gar nicht aus. Es ist bei diesen Konstruktionen zu beachten, dass zwischen den inneren diffusionshemmenden Wärmedämmschichten ($s_{d,i}$) und den äußeren diffusionshemmenden Wärmedämmschichten ($s_{d,e}$) bzw. der äußeren Dachabdichtung Holz oder Holzwerkstoffe nur bis zu der jeweiligen zulässigen Materialfeuchte eingebaut werden.

Belüftete Luftschichten von Dächern und belüftete Dachdeckungen müssen bei Dachneigungen $\geq 5^\circ$ mindestens folgende Eigenschaften aufweisen:

- die Höhe des freien Lüftungsquerschnittes innerhalb des Dachbereiches muss mindestens 2 cm betragen (siehe Bild 1) und muss sich über die ganze Fläche erstrecken. Bedingt durch Bautoleranzen oder Einbauten kann diese freie Lüftungshöhe lokal eingeschränkt sein. Insgesamt muss aber eine Belüftung gewährleistet werden. Zur Sicherstellung von Belüftungsquerschnitten können auch mechanische Vorrichtungen oder Hilfskonstruktionen eingesetzt werden.

DIN 4108-3:2018-10



Legende

- 1 belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Trag- und Konterlattung)
- 2 nicht belüftete Dachdeckung mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht (Deckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung)
- 3 Dachabdichtung mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht (Dachabdichtung auf Konterlattung und Schalung)
- 4 belüftete Luftschicht
- 5 regensichernde Zusatzmaßnahme, Unterdeckbahn
- 6 Zwischensparrendämmung
- 7 Sparren
- 8 Schicht zur Begrenzung des Diffusionsstroms
- 9 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 1 — Höhe des freien Lüftungsquerschnitts von belüfteten Dachdeckungen und belüfteten Luftschichten bei Dachneigungen $\geq 5^\circ$

- der freie Lüftungsquerschnitt an den Traufen bzw. an Traufe und Pultdachabschluss muss mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche (siehe Bild 2), mindestens jedoch $200 \text{ cm}^2/\text{m}$ betragen.
- an First und Grat sind Mindestlüftungsquerschnitte von 0,5 ‰ der zugehörigen geneigten Dachflächen (siehe Bild 2) erforderlich, mindestens jedoch $50 \text{ cm}^2/\text{m}$.

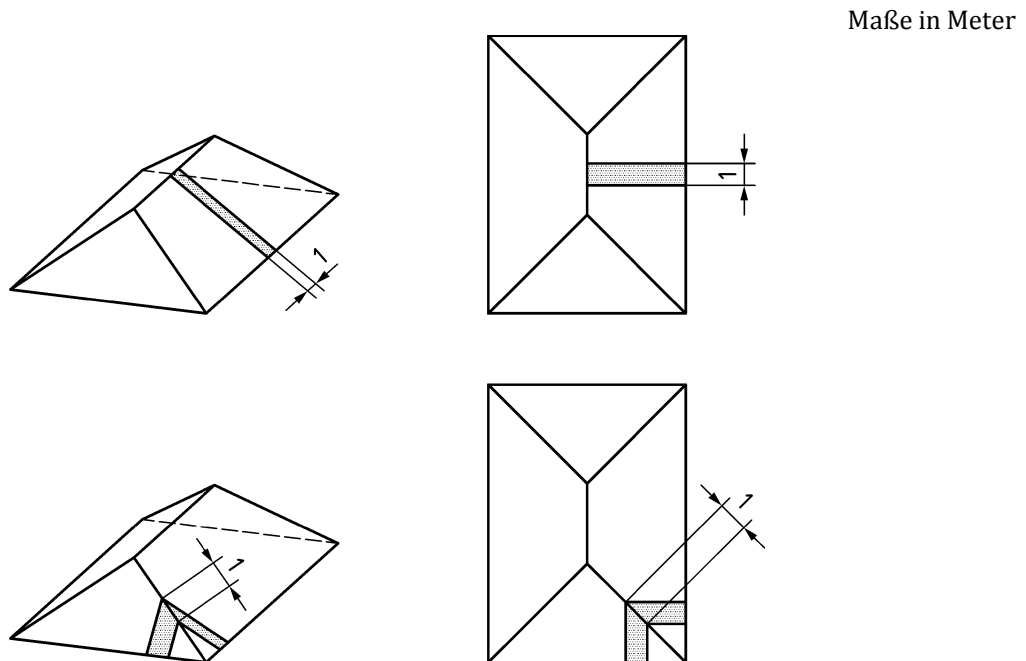
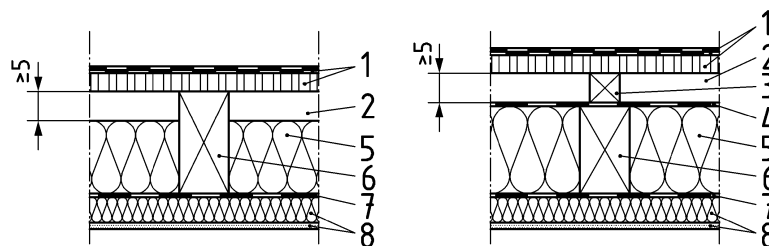


Bild 2 — Zugehörige Dachfläche je Meter Traufe und Grat

Belüftete Luftschichten von Dächern müssen bei Dachneigungen $< 5^\circ$ mindestens folgende Eigenschaften aufweisen:

- die Sparren-/Luftraumlänge (Entfernung von Zu- und Abluftöffnung) muss ≤ 10 m lang sein;
- die Mindestlüftungsquerschnitte an mindestens zwei gegenüberliegenden Dachrändern müssen mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche betragen, mindestens jedoch $200 \text{ cm}^2/\text{m}$;
- die Höhe des freien Lüftungsquerschnittes innerhalb des Dachbereiches über der Wärmedämmschicht muss mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche betragen, mindestens jedoch 5 cm (siehe Bild 3). Die freie Lüftungshöhe muss sichergestellt sein, damit die Belüftung sichergestellt ist. Dazu sind eine freie Anströmung der Öffnungen, eine durchgehende Luftschicht und die Beachtung von Materialtoleranzen erforderlich.

Maße in Zentimeter



Legende

- 1 Dachabdichtung auf Schalung
- 2 belüftete Luftschicht
- 3 Konterlatte/-holz
- 4 Unterdeckbahn
- 5 Zwischensparrendämmung
- 6 Sparren
- 7 Schicht zur Begrenzung des Diffusionsstroms
- 8 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

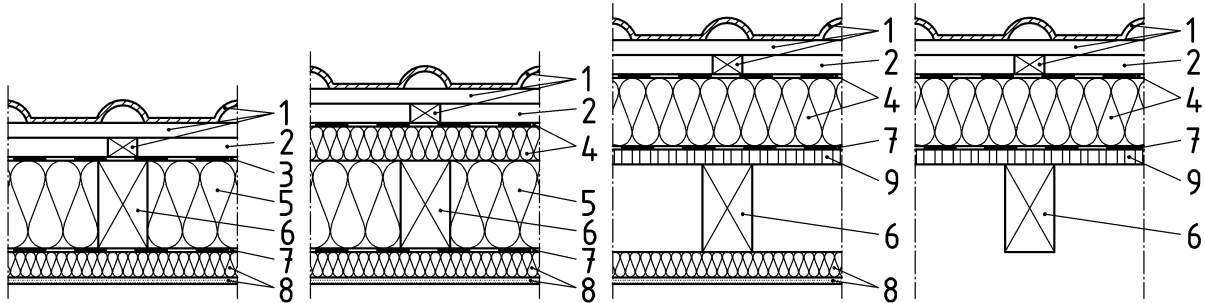
Bild 3 — Höhe des freien Lüftungsquerschnitts von belüfteten Luftschichten bei Dachneigungen $< 5^\circ$

5.3.3.2 Nicht belüftete Dächer

Der Wärmedurchlasswiderstand der Bauteilschichten unterhalb einer raumseitigen diffusionshemmenden oder diffusionsdichten Schicht darf bei Dächern ohne rechnerischen Nachweis höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes betragen (bei Dächern mit nebeneinander liegenden Bereichen unterschiedlichen Wärmedurchlasswiderstandes ist der Gefachbereich zugrunde zu legen).

DIN 4108-3:2018-10

Folgende nicht belüftete Dächer bedürfen keines rechnerischen Nachweises:

a) nicht belüftete Dächer nach Bild 4 bei Einhaltung der Tabelle 3**Legende**

- 1 belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Trag- und Konterlattung) oder nicht belüftete Dachdeckung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachdeckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung) oder Dachabdichtung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachabdichtung auf Konterlattung und Schalung)
- 2 belüftete Luftschicht nach 5.3.3.1
- 3 $s_{d,e}$ Unterdeckung, ggf. einschließlich Schalung
- 4 $s_{d,e}$ Unterdeckung und Aufsparrendämmung
- 5 Zwischensparrendämmung
- 6 Sparren
- 7 $s_{d,i}$
- 8 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung
- 9 Schalung

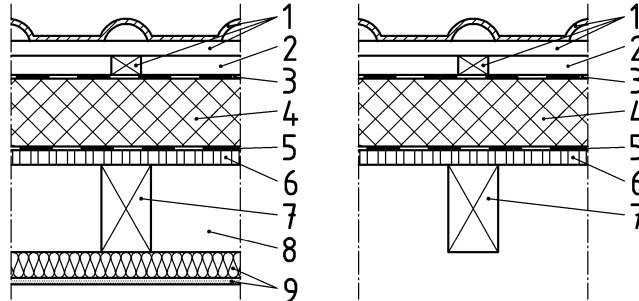
Bild 4 — Nicht belüftete Dächer mit Zwischensparrendämmung und ggf. Aufsparrendämmung und nicht belüftete Dächer mit Aufsparrendämmung

Tabelle 3 — Zuordnung der s_d -Werte für Dächer nach Bild 4

Zeile	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	
	m	
	außen $s_{d,e}^a$	innen $s_{d,i}^b$
1	$\leq 0,1$	$\geq 1,0$
2	$0,1 < s_{d,e} \leq 0,3$	$\geq 2,0$
3	$0,3 < s_{d,e} \leq 2,0$	$\geq 6 \cdot s_{d,e}$
^a $s_{d,e}$ ist die Summe der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten, die sich oberhalb der Wärmedämmschicht befinden bis zur ersten belüfteten Luftschicht. ^b $s_{d,i}$ ist die Summe der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten, die sich unterhalb der Wärmedämmschicht befinden.		

b) nicht belüftete Dächer nach Bild 5 bei Einhaltung der Tabelle 4

Bild 5 und Tabelle 4 gelten nicht für Bauteile bei denen sich Holz oder Holzwerkstoffe zwischen $s_{d,e}$ und $s_{d,i}$ befinden.

**Legende**

- 1 belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Trag- und Konterlattung) oder nicht belüftete Dachdeckung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachdeckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung) oder Dachabdichtung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachabdichtung auf Konterlattung und Schalung)
- 2 belüftete Luftschicht nach 5.3.3.1
- 3 $s_{d,e}$ Unterdeckung
- 4 Aufsparrendämmung
- 5 $s_{d,i}$
- 6 Schalung
- 7 Sparren
- 8 Luftschicht
- 9 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 5 — Nicht belüftete Dächer mit Aufsparrendämmung**Tabelle 4 — Zuordnung der s_d -Werte für Dächer nach Bild 5**

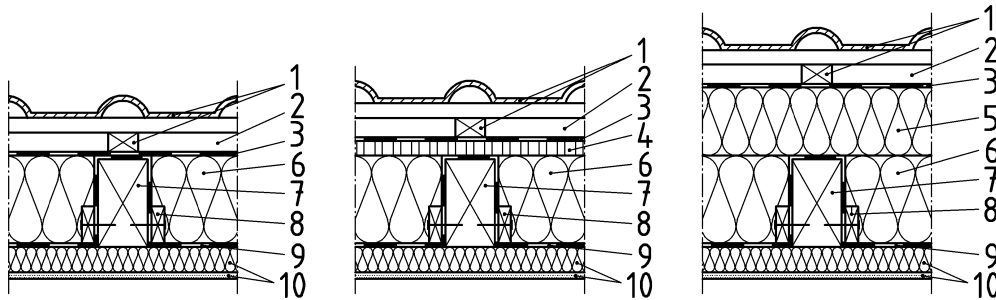
Zeile	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke m	
	außen $s_{d,e}^a$	innen $s_{d,i}^b$
1	$\leq 0,5$	≥ 10
2	$> 0,5$	≥ 100

^a $s_{d,e}$ ist die Summe der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten, die sich oberhalb der Wärmedämmschicht befinden bis zur ersten belüfteten Luftschicht.

^b $s_{d,i}$ ist die Summe der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten, die sich unterhalb der Wärmedämmschicht befinden.

DIN 4108-3:2018-10

c) nicht belüftete Dächer bei bestehenden Dachkonstruktionen nach Bild 6 bei Einhaltung der Tabelle 5



Legende

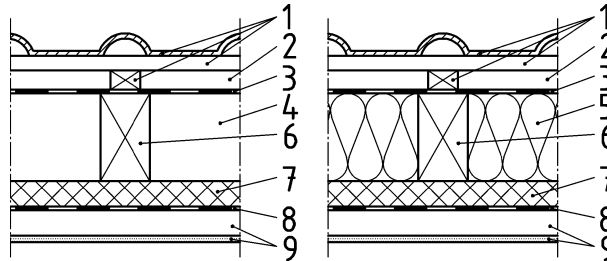
- 1 belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Trag- und Konterlattung) oder nicht belüftete Dachdeckung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachdeckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung) oder Dachabdichtung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachabdichtung auf Konterlattung und Schalung)
- 2 belüftete Luftschicht nach 5.3.3.1
- 3 Unterdeckung $s_d \leq 0,5$ m
- 4 Vollholz-Brettschalung, Nenndicke ≤ 24 mm
- 5 Aufsparrendämmung
Holzfaser nach DIN EN 13171,
Mineralwolle nach DIN EN 13162,
PU mineralvlieskaschiert nach DIN EN 13165 mit einer Mindestdicke von 50 mm
Phenolharz-Hartschaumdämmung nach DIN EN 13166 mit einer Mindestdicke von 50 mm
- 6 Mineralwolle-Zwischensparrendämmung, $12 \text{ cm} \leq \text{Dämmschichtdicke} \leq 20 \text{ cm}$
- 7 Holzsparren, $12 \text{ cm} \leq \text{Sparrenhöhe} \leq 20 \text{ cm}$
- 8 durchgehende lineare Anpressung
- 9 Schicht mit variablem s_d -Wert nach Tabelle 5
- 10 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 6 — Nicht belüftete, bestehende Dächer mit von außen in das Gefach eingelegter und über den Sparren geführter Schicht mit variablem s_d -WertTabelle 5 — Anforderungen an Schichten mit variablem s_d -Wert für Dächer nach Bild 6

Zeile	Art der diffusionshemmenden Schicht	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke m
1	Schichten mit variablem Wasserdampfdiffusionswiderstand	$s_{d,feucht} \leq 0,5$ m (gemessen bei einer mittleren Umgebungsluftfeuchte von $90 \% \pm 2 \%$)
2		$2,0 \text{ m} \leq s_{d,trocken} \leq 10,0$ m (gemessen bei einer mittleren Umgebungsluftfeuchte von $25 \% \pm 2 \%$)

d) nicht belüftete Dächer nach Bild 7

- Der Wert $s_{d,i}$ muss mindestens 10 m betragen.
- Der Wert $s_{d,e}$ darf maximal 0,5 m betragen.

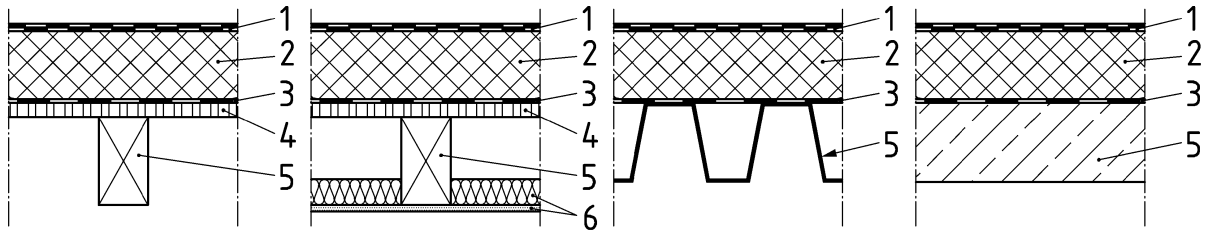
**Legende**

- 1 belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Trag- und Konterlattung) oder nicht belüftete Dachdeckung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachdeckung auf Konterlattung, Schalung und Vordeckung) oder Dachabdichtung mit darunterliegender belüfteter Luftschicht (Dachabdichtung auf Konterlattung und Schalung)
- 2 belüftete Luftschicht nach 5.3.3.1
- 3 $s_{d,e}$ (Unterdeckung)
- 4 Luftschicht
- 5 Zwischensparrendämmung
- 6 Sparren
- 7 Untersparrendämmung (diffusionsdicht)
- 8 $s_{d,i}$
- 9 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 7 — Nicht belüftete Dächer mit diffusionsdichter Untersparrendämmung, ggf. in Kombination mit Zwischensparrendämmung

DIN 4108-3:2018-10**e) nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung nach Bild 8**

- Der Wert $s_{d,i}$ muss mindestens 100 m betragen. Bei diffusionssperrenden oder diffusionsdichten Dämmstoffen auf Massivdecken kann ggf. auf eine zusätzliche diffusionshemmende Schicht verzichtet werden.
- Zwischen der Schicht $s_{d,i}$ und der Dachabdichtung dürfen sich weder Holz noch Holzwerkstoffe befinden.

**Legende**

- 1 Dachabdichtung
- 2 Aufdach-/Aufsparrendämmung
- 3 $s_{d,i}$
- 4 Schalung
- 5 Tragkonstruktion (z. B. Holzbalken, Stahltrapezblech, Stahlbeton)
- 6 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 8 — Nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung

- f) nicht belüftete Dächer aus Porenbeton nach DIN EN 12602, mit Dachabdichtung und ohne diffusionshemmende Schicht an der Unterseite und ohne zusätzliche Wärmedämmung
- g) nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung und Wärmedämmung oberhalb der Dachabdichtung, so genannte „Umkehrdächer“ nach DIN 4108-2 und DIN 4108-10

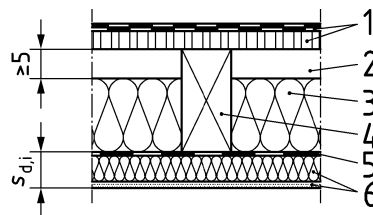
5.3.3.3 Belüftete Dächer

Folgende belüftete Dächer bedürfen keines rechnerischen Nachweises:

a) **belüftete Dächer mit einer Dachneigung $< 5^\circ$ und einer Luftraumlänge (Sparrenlänge) von maximal 10 m nach Bild 9**

- Der Wert $s_{d,i}$ muss mindestens 100 mm betragen.
- Der Wärmedurchlasswiderstand raumseitig der Schicht 5 nach Bild 9 darf maximal 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes betragen.

Maße in Zentimeter



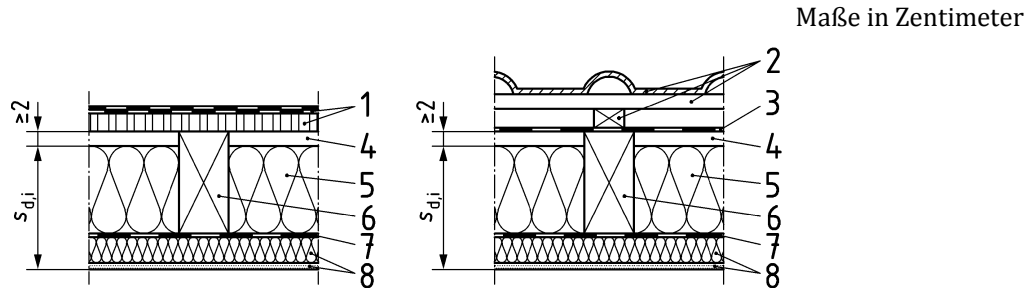
Legende

- 1 Dachabdichtung auf Schalung
- 2 belüftete Luftschicht nach 5.3.3.1
- 3 Zwischensparrendämmung
- 4 Sparren
- 5 Schicht zur Begrenzung des Diffusionsstroms
- 6 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 9 — Belüftete Dächer mit einer Dachneigung $< 5^\circ$

DIN 4108-3:2018-10**b) belüftete Dächer mit einer Dachneigung $\geq 5^\circ$ nach Bild 10**

— Der Wert $s_{d,i}$ muss mindestens 2 m betragen.

**Legende**

- 1 nicht belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Schalung und Vordeckung) oder Dachabdichtung (Dachabdichtung auf Schalung)
- 2 belüftete Dachdeckung (Dachdeckung auf Trag- und Konterlattung)
- 3 Unterspannung
- 4 Belüftungsebene
- 5 Zwischensparrendämmung
- 6 Sparren
- 7 Schicht zur Begrenzung des Diffusionsstroms
- 8 raumseitige Bekleidung mit Unterkonstruktion, ggf. inkl. Dämmung

Bild 10 — Belüftete Dächer mit einer Dachneigung $\geq 5^\circ$

6 Schlagregenschutz von Wänden**6.1 Allgemeines**

Schlagregenbeanspruchungen von Wänden entstehen bei Regen und gleichzeitiger Windanströmung auf die Fassade. Das auftreffende Regenwasser kann durch kapillare Saugwirkung der Oberfläche in die Wand aufgenommen werden oder infolge des Staudrucks z. B. über Risse, Spalten oder fehlerhafte Abdichtungen in die Konstruktion eindringen. Die erforderliche Abgabe des aufgenommenen Wassers durch Verdunstung, z. B. über die Außenoberfläche, darf nicht unzulässig beeinträchtigt werden.

Der Schlagregenschutz einer Wand zur Begrenzung der kapillaren Wasseraufnahme und zur Sicherstellung der Verdunstungsmöglichkeiten kann durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Außenwandbekleidung, Verblendmauerwerk, Schutzschichten im Inneren der Konstruktion) oder durch Putze bzw. Beschichtungen erzielt werden. Die zu treffenden Maßnahmen richten sich nach der Intensität der Schlagregenbeanspruchung, die durch Wind und Niederschlag sowie durch die örtliche Lage und die Gebäudeart bestimmt wird (siehe dazu Festlegungen zu den Beanspruchungsgruppen in 6.2 sowie Beispiele für die Zuordnung konstruktiver Ausführungen in 6.4).

6.2 Beanspruchungsgruppen**6.2.1 Allgemeines**

Zur überschlägigen Ermittlung der Beanspruchungsgruppen ist die Übersichtskarte zur Schlagregenbeanspruchung nach Bild 11 zu verwenden. Lokale Abweichungen sind möglich und müssen im Einzelfall berücksichtigt werden. Wenn die Beanspruchungsgruppe aus Bild 11 nicht klar hervorgeht, ist immer der höhere Wert anzunehmen.

6.2.2 Beanspruchungsgruppe I — geringe Schlagregenbeanspruchung

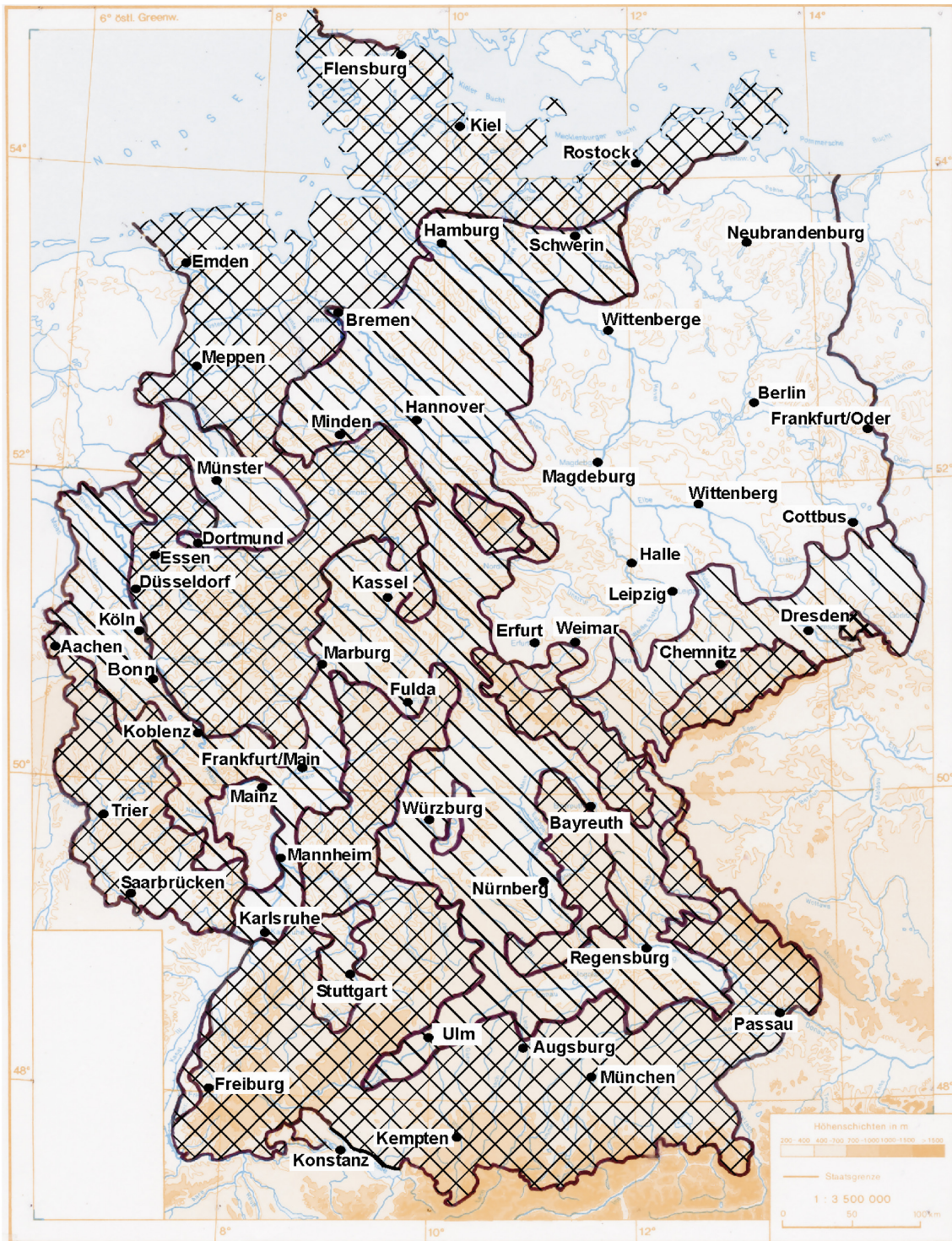
In der Regel gilt diese Beanspruchungsgruppe für Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen unter 600 mm sowie für besonders windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen.

6.2.3 Beanspruchungsgruppe II — mittlere Schlagregenbeanspruchung

In der Regel gilt diese Beanspruchungsgruppe für Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen von 600 mm bis 800 mm oder für windgeschützte Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen sowie für Hochhäuser oder für Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die aufgrund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer geringen Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären.

6.2.4 Beanspruchungsgruppe III — starke Schlagregenbeanspruchung

In der Regel gilt diese Beanspruchungsgruppe für Gebiete mit Jahresniederschlagsmengen über 800 mm oder für windreiche Gebiete auch mit geringeren Niederschlagsmengen (z. B. Küstengebiete, Mittel- und Hochgebirgslagen, Alpenvorland) sowie für Hochhäuser oder für Häuser in exponierter Lage in Gebieten, die aufgrund der regionalen Regen- und Windverhältnisse einer mittleren Schlagregenbeanspruchung zuzuordnen wären.



Beanspruchungsgruppe I



Beanspruchungsgruppe II



Beanspruchungsgruppe III



Bild 11 — Übersichtskarte zur Schlagregenbeanspruchung in der Bundesrepublik Deutschland
(Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst)

6.3 Putze und Beschichtungen

Die Regenschutzwirkung von Putzen und Beschichtungen an Fassaden wird durch deren Wasseraufnahmekoeffizienten W_w , zu bestimmen nach DIN EN ISO 15148, deren wasserdampfdiffusions-äquivalente Luftschichtdicke s_d , zu bestimmen nach DIN EN ISO 12572, und durch das Produkt aus beiden Größen ($W_w \cdot s_d$) nach Tabelle 6 definiert.

Tabelle 6 — Kriterien für den Regenschutz von Putzen und Beschichtungen¹⁾

Kriterien für den Regenschutz	Wasseraufnahmekoeffizient	Wasserdampfdiffusions-äquivalente Luftschichtdicke	Produkt
	W_w kg/(m ² ·h ^{0,5})	s_d m	$W_w \cdot s_d$ kg/(m·h ^{0,5})
wasserabweisend	$W_w \leq 0,5$	$\leq 2,0$	$\leq 0,2$
Bei innengedämmten Wänden siehe auch [16] und [17].			

6.4 Beispiele und Hinweise zur Erfüllung des Schlagregenschutzes

6.4.1 Außenwände

Beispiele für die Anwendung von Wandbauarten in Abhängigkeit von der Schlagregenbeanspruchung sind in Tabelle 7 angegeben. Andere Bauausführungen entsprechend gesicherten praktischen Erfahrungen sind ebenso zulässig.

1) Siehe hierzu auch DIN 18550-1.

DIN 4108-3:2018-10

Tabelle 7 — Beispiele für die Zuordnung von Wandbauarten und Beanspruchungsgruppen

Zeile	Beanspruchungsgruppe I	Beanspruchungsgruppe II	Beanspruchungsgruppe III
	Schlagregenbeanspruchung		
	geringe	mittlere	starke
1	Außenputz ohne besondere Anforderungen an den Schlagregenschutz auf	Wasserabweisender Außenputz nach Tabelle 6 auf	
	<ul style="list-style-type: none"> — Außenwänden aus Mauerwerk, Wandbauplatten, Beton u. ä. — sowie verputzten außenseitigen Wärmebrückendämmungen 		
2	Einschaliges Sichtmauerwerk mit einer Dicke von 31 cm (mit Innenputz)	Einschaliges Sichtmauerwerk mit einer Dicke von 37,5 cm (mit Innenputz)	Zweischaliges Verblendmauerwerk mit Luftschicht und Wärmedämmung oder mit Kerndämmung (mit Innenputz)
3	Außenwände mit im Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten	Außenwände mit im Dickbett oder Dünnbett angemörtelten Fliesen oder Platten nach DIN 18515-1 mit wasserabweisendem Ansetzmörtel	
4	Außenwände mit gefügedichter Betonaußenschicht		
5	Wände mit hinterlüfteten Außenwandbekleidungen ^a		
6	Wände mit Außendämmung, z. B. Wärmedämmputz-, Wärmedämm-Verbundsystem		
7	Außenwände in Holzbauart mit Wetterschutz nach DIN 68800-2		
^a Offene Fugen zwischen den Bekleidungsplatten beeinträchtigen den Regenschutz nicht.			

6.4.2 Fugen und Anschlüsse

Der Schlagregenschutz eines Gebäudes muss auch im Bereich der Fugen und Anschlüsse sichergestellt sein. Zur Erfüllung dieser Anforderungen können Fugen und Anschlüsse entweder durch Fugendichtstoffe (siehe auch DIN 18540), Dichtbänder, Folien oder durch konstruktive Maßnahmen gegen Schlagregen abgedichtet werden. Beispiele für die Anwendung von Fugenabdichtungen sind in Abhängigkeit von der Schlagregenbeanspruchung in Tabelle 8 angegeben.

Die Möglichkeit der Wartung von Fugen, einschließlich der Fugen von Anschlüssen, ist vorzusehen.

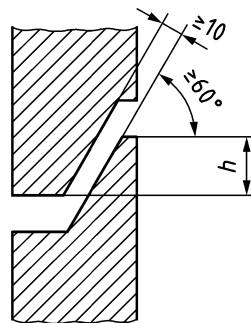
Bei Außenwandbekleidungen ist nach DIN 18515-1, DIN 18516-1 und DIN 18516-3 zu verfahren.

Tabelle 8 — Beispiele für die Zuordnung von Fugenabdichtungsarten und Beanspruchungsgruppen

Zeile	Fugenart	Beanspruchungsgruppe I	Beanspruchungsgruppe II	Beanspruchungsgruppe III
		Schlagregenbeanspruchung		
		geringe	mittlere	starke
1	Vertikal-fugen	Konstruktive Fugenausbildung ^a		
2		Fugen nach DIN 18540 ^a		
3	Hori-zontal-fugen	Offene, schwellenförmige Fugen, Schwellenhöhe $h \geq 60$ mm (siehe Bild 12)	Offene, schwellenförmige Fugen, Schwellenhöhe $h \geq 80$ mm (siehe Bild 12)	Offene, schwellenförmige Fugen, Schwellenhöhe $h \geq 100$ mm (siehe Bild 12)
4		Fugen nach DIN 18540 mit zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen, z. B. mit Schwellenhöhe $h \geq 50$ mm		

^a Fugen nach DIN 18540 dürfen nicht bei Bauten in einem Bergsenkungsgebiet verwendet werden. Bei Setzungsfugen ist die Verwendung nur dann zulässig, wenn die Verformungen bei der Bemessung der Fugenmaße berücksichtigt werden.

Maße in Millimeter

**Legende** h Schwellenhöhe,

unterer Schwellenbereich (links) nach außen, oberer Schwellenbereich (rechts) nach innen

Bild 12 — Schematische Darstellung offener, schwellenförmiger Fugen**6.4.3 Fenster, Außentüren, Vorhangfassaden**

Die Schlagregendichtheit wird geregelt:

- für Fenster und Außentüren nach DIN EN 12208;
- für Vorhangfassaden nach DIN EN 12154.

DIN 4108-3:2018-10

7 Hinweise zur Luftdichtheit

Wände und Dächer müssen luftdicht sein, um eine Durchströmung und Mitführung von Raumluftfeuchte, die zu Tauwasserbildung in der Konstruktion führen kann, zu unterbinden. Dies gilt auch für Anschlüsse und Durchdringungen (z. B. Wand/Dach, Schornstein/Dach) sowie bei Installationen (z. B. Steckdosen) und Einbauteilen.

Querströmungen in Belüftungsschichten innerhalb einer Konstruktion zwischen unterschiedlich beheizten Räumen oder unterschiedlich besonnten Flächen (z. B. Attikabereiche) sind zu vermeiden, z. B. durch Abschottung, da sie zu einer Umlagerung von Feuchte führen können. Zur Luftdichtheit von Bauteilen im Sinne dieser Norm wird auf DIN 4108-7 verwiesen.

Anhang A (normativ)

Berechnungsverfahren zur Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen und zur Bestimmung von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen

A.1 Kritische Luftfeuchte an Bauteiloberflächen

A.1.1 Allgemeines

Um kritische Werte der Luftfeuchte an Oberflächen nach 5.1.1 zu vermeiden, ist dafür zu sorgen, dass ausreichende Wärmedurchlasswiderstände der Konstruktion eingehalten werden. Der erforderliche Wärmeschutz ergibt sich aus dem resultierenden kritischen Mindestwert für die Temperatur der raumseitigen Oberfläche, welche durch die Temperatur und die relative Luftfeuchte der Raumluft sowie durch den kritischen Wert der relativen Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche bestimmt wird.

Der erforderliche Mindestwert der Temperatur auf der raumseitigen Bauteiloberfläche kann grundsätzlich nach Gleichung (A.1) berechnet werden:

$$\theta_{\text{si,min}} = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{p_{\text{sat,si}}}{610,5}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_{\text{sat,si}}}{610,5}\right)} \quad (\text{A.1})$$

mit

$$p_{\text{sat,si}} = \frac{\varphi_i}{\varphi_{\text{si,cr}}} p_{\text{sat,i}} = \frac{p_i}{\varphi_{\text{si,cr}}}$$

Dabei ist

$\theta_{\text{si,min}}$ der Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur, in °C;

$p_{\text{sat,si}}$ der Sättigungsdampfdruck für den kritischen Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur, in Pa;

$p_{\text{sat,i}}$ der Sättigungsdampfdruck für die Raumlufttemperatur, in Pa;

φ_i die relative Raumluftfeuchte, in %;

p_i der Wasserdampfdruck der Raumluft, in Pa;

$\varphi_{\text{si,cr}}$ der kritische Wert der relativen Luftfeuchte an der raumseitigen Oberfläche, in %.

ANMERKUNG Gleichung (A.1) gilt für Raum- und Oberflächentemperaturen über 0 °C und für Wasserdampfdrücke über 610,5 Pa.

Der erforderliche Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur zur Einhaltung eines bestimmten kritischen Höchstwertes der relativen Luftfeuchte an der raumseitigen Oberfläche kann näherungsweise auch mit Hilfe der folgenden Tabellen A.1 und A.2 in Abhängigkeit von den Raumklimabedingungen bzw.

DIN 4108-3:2018-10

vom Wasserdampfteildruck der Raumluft und der kritischen relativen Luftfeuchte an der Oberfläche bestimmt werden.

Tabelle A.1 — Teildruck für Wasserdampf in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte

Temperatur °C	Wasserdampfteildruck Pa bei einer relativen Luftfeuchte %													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
30	1272	1484	1696	1908	2120	2332	2544	2756	2968	3180	3392	3604	3816	4028
29	1201	1401	1601	1801	2002	2202	2402	2602	2802	3002	3203	3403	3603	3803
28	1133	1322	1511	1700	1889	2078	2267	2455	2644	2833	3022	3211	3400	3589
27	1069	1247	1425	1603	1782	1960	2138	2316	2494	2672	2851	3029	3207	3385
26	1008	1176	1344	1512	1680	1848	2016	2184	2352	2520	2688	2856	3024	3191
25	950	1108	1266	1425	1583	1741	1900	2058	2216	2374	2533	2691	2849	3008
24	895	1044	1193	1342	1491	1640	1789	1938	2088	2237	2386	2535	2684	2833
23	842	983	1123	1264	1404	1544	1685	1825	1965	2106	2246	2387	2527	2667
22	793	925	1057	1189	1321	1453	1585	1718	1850	1982	2114	2246	2378	2510
21	746	870	994	1119	1243	1367	1491	1616	1740	1864	1988	2113	2237	2361
20	701	818	935	1052	1168	1285	1402	1519	1636	1753	1870	1986	2103	2220
19	659	769	878	988	1098	1208	1318	1427	1537	1647	1757	1867	1977	2086
18	619	722	825	928	1031	1135	1238	1341	1444	1547	1650	1753	1857	1960
17	581	678	775	871	968	1065	1162	1259	1356	1452	1549	1646	1743	1840
16	545	636	727	818	909	1000	1090	1181	1272	1363	1454	1545	1636	1726
15	511	597	682	767	852	937	1023	1108	1193	1278	1364	1449	1534	1619
14	479	559	639	719	799	879	959	1039	1118	1198	1278	1358	1438	1518
13	449	524	599	674	748	823	898	973	1048	1123	1198	1272	1347	1422
12	421	491	561	631	701	771	841	911	981	1051	1121	1192	1262	1332
11	394	459	525	590	656	722	787	853	918	984	1050	1115	1181	1246
10	368	430	491	552	614	675	736	798	859	920	982	1043	1105	1166

Tabelle A.2 — Mindestwerte der raumseitigen Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit vom Wasserdampfdruck der Raumluft und vom kritischen Höchstwert der relativen Luftfeuchte an der Oberfläche

Dampfdruck Pa	Mindestwert der Oberflächentemperatur °C für eine kritische relative Luftfeuchte an der Oberfläche %					
	50	60	70	80	90	100
3000	36,2	32,9	30,2	27,9	25,9	24,1
2900	35,6	32,3	29,6	27,3	25,3	23,5
2800	34,9	31,7	29,0	26,7	24,7	23,0
2700	34,3	31,0	28,4	26,1	24,1	22,4
2600	33,6	30,4	27,7	25,4	23,5	21,7
2500	32,9	29,7	27,0	24,8	22,8	21,1
2400	32,2	29,0	26,3	24,1	22,2	20,4
2300	31,4	28,3	25,6	23,4	21,5	19,7
2200	30,6	27,5	24,9	22,7	20,7	19,0
2100	29,8	26,7	24,1	21,9	20,0	18,3
2000	29,0	25,9	23,3	21,1	19,2	17,5
1900	28,1	25,0	22,4	20,3	18,4	16,7
1800	27,2	24,1	21,6	19,4	17,5	15,9
1700	26,2	23,1	20,6	18,5	16,6	15,0
1600	25,2	22,2	19,6	17,5	15,7	14,0
1500	24,1	21,1	18,6	16,5	14,7	13,0
1400	23,0	20,0	17,5	15,4	13,6	12,0
1300	21,7	18,8	16,3	14,3	12,5	10,9
1200	20,4	17,5	15,1	13,0	11,2	9,7
1100	19,0	16,1	13,7	11,7	9,9	8,4
1000	17,5	14,7	12,3	10,3	8,5	7,0
900	15,9	13,0	10,7	8,7	7,0	5,5
800	14,0	11,2	8,9	7,0	5,3	3,8
700	12,0	9,2	7,0	5,1	3,4	1,9

Bezüglich des Berechnungsverfahrens für die Bemessung des erforderlichen Wärmeschutzes ist zu unterscheiden zwischen ebenen, thermisch homogenen Bauteilen und Bauteilen mit geometrischen oder konstruktionsbedingten Wärmebrücken.

DIN 4108-3:2018-10

A.1.2 Berechnung für ebene, thermisch homogene Bauteile

Tauwasser- und Schimmelpilzbildung auf der Innenoberfläche ebener, thermisch homogener Bauteile wird im Falle üblich genutzter Räume vermieden, wenn die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz für massive bzw. leichte Bauteile nach DIN 4108-2 eingehalten werden.

Abweichend von den dabei zugrunde liegenden standardisierten Raumklimabedingungen sind die Mindestwerte für raumseitige Oberflächentemperaturen nach A.1.1 zu ermitteln. Als kritische Werte für die relative Luftfeuchte an raumseitigen Oberflächen zur Vermeidung von Tauwasser- bzw. von Schimmelpilzbildung oder anderer Effekte können dazu die Werte nach 5.1.1 $\varphi_{si,cr} = 1$ bzw. $\varphi_{si,cr} = 0,8$ oder nach anderen Bedingungen herangezogen werden.

Der mindestens erforderliche Wärmedurchlasswiderstand R_{min} eines ebenen, thermisch homogenen Bauteils ohne Wärmebrücken zur Vermeidung von kritischen Luftfeuchten an der Innenoberfläche wird nach Gleichung (A.2) ermittelt.

$$R_{min} = \frac{R_{si}}{1 - f_{Rsi,min}} - (R_{si} + R_{se}) \quad (A.2)$$

mit

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Dabei ist

- $\theta_{si,min}$ der Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur;
- $f_{Rsi,min}$ der Bemessungs-Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche;
- R_{si}, R_{se} der raumseitige und außenseitige Wärmeübergangswiderstand.

Unter Annahme der standardisierten Klimarandbedingungen, wie sie in DIN 4108-2 für den Nachweis zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung im Bereich von Wärmebrücken zugrunde gelegt werden, ergeben sich folgende Bemessungs-Temperaturfaktoren als Grenzwerte für die raumseitige Oberfläche zur Vermeidung verschiedener kritischer Luftfeuchtezustände an raumseitigen Bauteiloberflächen:

$f_{Rsi,min} = 0,57$	zur Vermeidung von Tauwasserbildung	(mit $\varphi_{si,cr} = 1$;	entspricht 100 % relative Luftfeuchte)
$= 0,70$	zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung	(mit $\varphi_{si,cr} = 0,8$;	entspricht 80 % relative Luftfeuchte)
$= 0,88$	als Beispiel zur Vermeidung von material-spezifischen Korrosionsvorgängen	(für das Beispiel mit $\varphi_{si,cr} = 0,6$;	entspricht 60 % relative Luftfeuchte)

A.1.3 Berechnung im Bereich von Wärmebrücken

Für den rechnerischen Nachweis des erforderlichen Mindestwertes der raumseitigen Oberflächentemperatur in Bezug auf Schimmelpilzbildung im Bereich von Wärmebrücken sind die dafür maßgebenden Randbedingungen in DIN 4108-2 angegeben. Für die Berechnung von anderen kritischen Oberflächentemperaturen, z. B. bezüglich Tauwasser oder Korrosion, ist analog zu verfahren. Im Gegensatz zu thermisch homogenen Bauteilen ist hier nach speziellen Verfahren zur thermischen Wärmebrückenberechnung (siehe

auch DIN EN ISO 10211) die raumseitige Oberflächentemperatur für die ungünstigste Stelle des Wärmebrückenbereiches mit den in DIN 4108-2 dafür angegebenen Randbedingungen zu ermitteln, damit der Temperaturfaktor f_{Rsi} zu bilden und dieser mit den Bemessungs-Temperaturfaktoren $f_{Rsi,min}$ je nach zu betrachtendem kritischen Fall, z. B. $f_{Rsi,min} = 0,7$ zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung nach DIN 4108-2, abzugleichen. Gegebenenfalls ist die Konstruktion im Bereich der Wärmebrücke so zu verbessern, dass der Bemessungs-Temperaturfaktor eingehalten wird.

A.2 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen

A.2.1 Allgemeine Angaben zur Berechnung

Zur Berechnung diffusionsbedingter Tauwasser- und Verdunstungswassermassen in ebenen Bauteilquerschnitten wird in DIN EN ISO 13788 ein Monatsbilanzverfahren für eindimensionale Diffusionsströme angegeben. Dieses Verfahren erfordert die Vorgabe von realitätsnahen Monatsmittelwerten für einen Jahresgang der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte als Klimarandbedingung am Standort und ermittelt gegebenenfalls dadurch bedingte Tauwasserakkumulationen im Bauteil nach einem Jahreszyklus. In dieser Norm erfolgt die Umsetzung der DIN EN ISO 13788 durch das Periodenbilanzverfahren, das nachfolgend beschrieben wird.

Dieses Periodenbilanzverfahren führt zu einer Berechnung der diffusionsbedingten Tauwasser- und Verdunstungsmassen in ebenen Bauteilquerschnitten. Dieses Verfahren geht von der vereinfachten Vorgabe so genannter Blockklima-Randbedingungen als Prüfbedingung für je eine idealisierte Tauwasserperiode (Winterfall, konstant) und eine idealisierte Verdunstungsperiode (Sommerfall, konstant) aus.

Bei inhomogenen Konstruktionen, wie Skelett-, Ständer- oder Rahmenbauweisen sowie bei Holzbalken-, Sparren- oder Fachwerkkonstruktionen o. ä. sind die eindimensionalen Diffusionsberechnungen nur für den Gefachbereich nachzuweisen.

Ausnahmefälle sind Konstruktionen, bei denen z. B. die diffusionshemmende Schicht auch abschnittsweise über den Außenbereich verlegt wird oder Bauteile mit einer stärkeren Innendämmung ($R_{ID}/R_{ges} > 0,3$) über der inhomogenen Konstruktion. In diesen Fällen wird auf Anhang D verwiesen.

Das Verfahren in dieser Norm geht davon aus, dass das an Schichtgrenzen auftretende Tauwasser in diesen Tauwasserebenen verbleibt. In der Praxis kann das Tauwasser in die Schichten zu beiden Seiten der Schichtgrenze eindringen.

A.2.2 Randbedingungen

Im Rahmen der erforderlichen nationalen Festlegung von Klimarandbedingungen für die Verfahren sind die Klimawerte für das Periodenbilanzverfahren in dieser Norm nach Tabelle A.3 zu verwenden.

Bei der Anwendung des Monatsbilanzverfahrens gelten für die Wärmeübergangswiderstände zur Berechnung der Temperaturverteilungen die Festlegungen nach DIN EN ISO 6946.

Bei der Anwendung des Periodenbilanzverfahrens sind in allen vier Fällen der Tauwasserberechnung nach A.2.5 zur Bestimmung der Temperaturverteilungen die folgenden Wärmeübergangswiderstände anzusetzen:

— $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

— $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

DIN 4108-3:2018-10

Tabelle A.3 — Klimabedingungen für die Beurteilung der Tauwasserbildung und Verdunstung im Inneren von Bauteilen

Klima	Temperatur	Relative Luftfeuchte	Wasserdampf- teildruck	Dauer		
	θ °C	φ %	p Pa	d	t h	s
Tauperiode von Dezember bis Februar						
Innenklima	20	50	1 168	90	2 160	$7\,776 \cdot 10^3$
Außenklima	-5	80	321			
Verdunstungsperiode von Juni bis August^a						
Wasserdampfdruck Innenklima			1 200	90	2 160	$7\,776 \cdot 10^3$
Wasserdampfdruck Außenklima			1 200			
Sättigungsdampfdruck im Tauwasserbereich:			1 700			
— Wände, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen; Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen						
— Dächer, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen			2 000			
^a In der Verdunstungsperiode werden im Rahmen des Periodenbilanzverfahrens nicht die Temperaturen und Luftfeuchten, sondern nur die gerundeten Wasserdampfdrücke als Klimarandbedingung vorgegeben.						

A.2.3 Hinweise zu Stoffeigenschaften

Die in DIN 4108-4, DIN EN ISO 10456 aufgeführte Angabe von zwei μ -Werten deckt Streubreiten bzw. praktisch auftretende unterschiedliche Feuchtezustände ab. Im Rechenverfahren ist der für die jeweilige Schichtposition in der Tauperiode ungünstigere μ -Wert anzuwenden, welcher dann auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten ist.

Für außenseitig auf Bauteilen bzw. außenseitig von Wärmedämmungen vorhandene Schichten mit nach DIN EN ISO 12572 ermittelten wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken $s_d < 0,1$ m ist in der Berechnung $s_d = 0,1$ m anzusetzen. Bei dazwischen liegenden Schichten mit $s_d < 0,1$ m ist die Konstruktion mit $s_d = 0$ und $s_d = 0,1$ m zu untersuchen und der kritischere Fall zu bewerten.

ANMERKUNG Die nach DIN EN ISO 12572 ermittelten s_d -Werte $< 0,1$ m beinhalten eine hohe Messunsicherheit.

Der Wärmedurchlasswiderstand R für Luftschichten ist aus DIN EN ISO 6946 zu entnehmen. Der s_d -Wert für ruhende bzw. als ruhend anzunehmende Luftschichten ist konstant mit $0,01$ m anzusetzen, unabhängig von Neigung und Dicke der Luftschicht.

A.2.4 Vorgehensweise

Für den Nachweis der Tauwasserfreiheit bzw. der Zulässigkeit rechnerisch festgestellter Tauwassermassen in einem Bauteil infolge der zugrunde zu legenden Klimabedingungen darf

- nach dem Monatsbilanzverfahren nach DIN EN ISO 13788
- oder alternativ, im Regelfall bei Außenbauteilen normal genutzter, nicht klimatisierter Räume, nach dem nachfolgend beschriebenen Periodenbilanzverfahren

vorgegangen werden.

ANMERKUNG Bis zur nationalen Festlegung von Außenklima-Randbedingungen für das Monatsbilanzverfahren nach DIN EN ISO 13788 sollte für den Nachweis das nachfolgend beschriebene Periodenbilanzverfahren oder ein Verfahren nach Anhang D verwendet werden.

Für die Klimabedingungen der Tauperiode werden zunächst die Temperatur- und die Sättigungsdampfdruckverteilungen nach DIN EN ISO 13788 berechnet bzw. graphisch ermittelt (siehe hierzu auch die Beispielrechnungen im Anhang B). Um festzustellen, ob eine Tauwasserbildung auftritt oder nicht, ist die Wasserdampfdruckverteilung im Bauteil ebenfalls rechnerisch oder graphisch zu bestimmen und aus dem Abgleich mit der Sättigungsdampfdruckverteilung ggf. die Ebene mit Tauwasserbildung zu ermitteln. Im Falle eines Tauwasserausfalles im Querschnitt ist eine physikalisch korrekte rechnerische Bestimmung der realen Dampfdruckverteilung auf einfachem Wege nicht mehr möglich, weshalb sich dann auch eine graphische Bestimmung anbietet.

Unter der vereinfachenden Annahme, dass der Verlauf der Sättigungsdampfdruckkurve in Einzelschichten oder Teilschichten von Einzelschichten mit genügend kleinem thermischen Widerstand (R -Wert) als Gerade zwischen den Sättigungsdampfdruckwerten an den Schichtgrenzen dargestellt werden kann, ist eine rein rechnerische Vorgehensweise mit praktisch ausreichender Genauigkeit möglich und zulässig. Wie beim graphischen Verfahren darf schrittweise rechnerisch die Dampfdruckverteilung im s_d -Diagramm von einer Oberfläche aus, als tangierender Polygonzug, an die Sättigungsdampfdruckwerte an den Schichtgrenzen gelegt werden, sofern eine Überschneidung mit der Sättigungsdampfdruckkurve beim Versuch der geradlinigen Verbindung zwischen den Dampfdruck-Randbedingungswerten an beiden Oberflächen überhaupt auftreten würde.

Dazu ist vorab die Berechnung der Temperaturen an den Oberflächen und an den Schichtgrenzen erforderlich, um die Werte der Sättigungsdampfdrücke an diesen Stellen bestimmen zu können (siehe Anhang C). Mit den geradlinigen Verbindungen dieser Werte ist die Sättigungsdampfdruckverteilung darzustellen. Für die Ermittlung der Dampfdruckverteilung, die sich im Falle ohne Überschneidung mit dem Kurvenzug der Sättigungsdampfdruckverteilung im s_d -Maßstab als Gerade über den Gesamtquerschnitt und im Fall des Tangierens der Sättigungsdampfdruckverteilung als Polygonzug darstellt, sind die Dampfdruckwerte der Klimarandbedingungen nach Tabelle A.3 für die innere und äußere Oberfläche anzuwenden.

Die Sättigungsdampfdruckwerte werden aus den berechneten ungerundeten Temperaturwerten nach den entsprechenden Gleichungen in Anhang C bestimmt. Bei der Angabe von Temperaturwerten werden diese auf eine Nachkommastelle gerundet, Sättigungsdampfdruckwerte werden ohne Nachkommastelle angegeben.

Auf diese Weise lassen sich die eventuellen Stellen des Tauwasserausfalls lokalisieren. Mit Hilfe des Polygonzugs der Dampfdruckverteilung werden, je nachdem ob er sich an einer oder an zwei Schichtgrenzen oder über eine ganze Schicht an den Sättigungsdampfdruck anlegt, die Tauwassermassen an diesen Stellen oder in diesen Bereichen ermittelt.

DIN 4108-3:2018-10

Im Vorfeld der Bewertung einer Tauwasserberechnung nach dem Periodenbilanzverfahren ist Folgendes zu berücksichtigen:

- Wird für die Tauperiode Dezember bis Februar keine Tauwasserbildung festgestellt, dann ist das Bauteil als frei von Tauwasser und als diffusionstechnisch zulässig zu bezeichnen. Der Nachweis ist damit abgeschlossen;
- Wird für die Tauperiode Dezember bis Februar eine Tauwasserbildung festgestellt, ist die Tauwassermenge nach A.2.5 zu berechnen und zu überprüfen, ob die Anforderungen nach 5.2.2 eingehalten werden.

Für die Überprüfung, ob das in der Tauperiode ausgefallene Tauwasser in der anschließenden Verdunstungsperiode wieder vollständig abgegeben werden kann, ist die zur Berechnung der Tauwassermassen festgelegte Schichteinteilung des Bauteilquerschnittes im s_d -Maßstab mit den gleichen s_d -Werten sowie gegebenenfalls auch mit den vorgenommenen Unterteilungen einzelner Schichten bei größeren R -Werten auch für die Berechnung der Verdunstungsmassen beizubehalten.

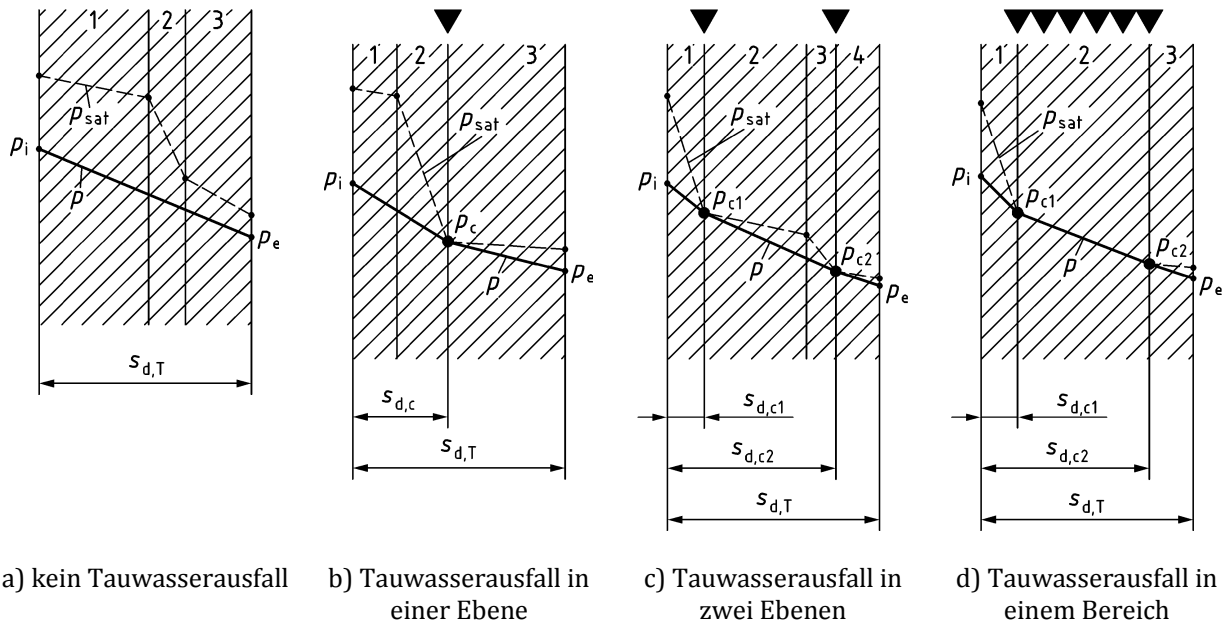
A.2.5 Tauwasserbildung und Berechnung der Tauwassermasse

A.2.5.1 Allgemeines

Tauwasserbildung kann im Inneren von Bauteilen nur dann auftreten, wenn Wasserdampfdiffusion infolge unterschiedlicher Dampfdrücke auf beiden Seiten des Bauteils stattfindet, ein Temperaturgefälle über den Bauteilquerschnitt vorhanden ist und der Wasserdampfdruck im Bauteilinneren den Sättigungszustand erreicht. Um festzustellen, ob und an welcher Stelle im Querschnitt Tauwasser ausfällt, ist die Verteilung des Wasserdampfdruckes, wie in A.2.4 erläutert, mit der Verteilung des Sättigungsdampfdruckes über den Querschnitt zu vergleichen. Für den Vergleich werden die beiden Dampfdruckverteilungen im so genannten Diffusionsdiagramm dargestellt, wobei auf der Abszisse die s_d -Werte der Einzelschichten nacheinander von Oberfläche zu Oberfläche und auf der Ordinate die Dampfdrücke aufgetragen werden.

Die möglicherweise in einem mehrschichtigen Außenbauteil während der Tauperiode auftretenden Varianten der Tauwasserbildung im Bauteilquerschnitt sind in vier systematischen Fällen a bis d anhand der entsprechenden Diffusionsdiagramme in Bild A.1 angegeben.

Tauperiode



Legende

p_i Dampfdruck an der raumseitigen Oberfläche nach Tabelle A.3, in Pa;

p_e Dampfdruck an der außenseitigen Oberfläche nach Tabelle A.3, in Pa;

p_c Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene, in Pa;

$s_{d,T}$ Summe der s_d -Werte aller Einzelschichten des Bauteils, in m;

$s_{d,c}$ Summe der s_d -Werte aller Einzelschichten von der Innenoberfläche bis zur Tauwasserebene, in m.

Bild A.1 — Diffusionsdiagramme für vier systematische Fälle a bis d der Tauwasserbildung im Querschnitt eines Außenbauteils

Zur Berechnung der in einer Tauwasserebene ausfallenden Tauwassermasse ist die Tauwasserrate g_c als Differenz der zu einer Schichtgrenze hin und der von dort weg diffundierenden Wasserdampfstromdichten zu ermitteln.

Die Tauwassermasse je Flächeneinheit M_c im Winter ergibt sich aus der Multiplikation der Tauwasserrate g_c mit der Dauer der Tauperiode t_c nach Tabelle A.3.

ANMERKUNG Die Lage der Sättigungsdampfdrücke p_c , p_{c1} und p_{c2} wird aus dem Diffusionsdiagramm entnommen, die zugehörigen Druck- und s_d -Werte werden zweckmäßigerweise in einem zugrunde gelegten tabellarischen Diffusionsschema für das zu untersuchende Bauteil vorab zusammengefasst (siehe Beispiele in Anhang B).

Die Bestimmung der Tauwassermassen ist nach A.2.5.2 bis A.2.5.5 durchzuführen.

A.2.5.2 Fall a — Kein Tauwasserausfall im Bauteilquerschnitt

Der vorhandene Wasserdampfdruck im Bauteilquerschnitt ist an jeder Stelle niedriger als der Sättigungsdampfdruck. Es fällt kein Tauwasser aus.

DIN 4108-3:2018-10**A.2.5.3 Fall b — Tauwasserausfall in einer Ebene**

In einem Bauteil mit Tauwasserbildung in einer Ebene (Schichtgrenze) ist die Tauwassermasse in dieser Tauwasserebene nach den Gleichungen (A.3) und (A.4) zu berechnen.

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \quad (\text{A.3})$$

$$M_c = g_c \cdot t_c \quad (\text{A.4})$$

A.2.5.4 Fall c — Tauwasserausfall in zwei Ebenen

In einem Bauteil mit Tauwasserbildung in zwei Ebenen (Schichtgrenzen) sind die Tauwassermassen in den beiden Tauwasserebenen nach den Gleichungen (A.5) bis (A.8) zu berechnen. Danach gilt für

— Tauwasserebene c_1 :

$$g_{c1} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c1}}{s_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_{c2}}{s_{d,c2} - s_{d,c1}} \right) \quad (\text{A.5})$$

$$M_{c1} = g_{c1} \cdot t_c \quad (\text{A.6})$$

— Tauwasserebene c_2 :

$$g_{c2} = \delta_0 \left(\frac{p_{c1} - p_{c2}}{s_{d,c2} - s_{d,c1}} - \frac{p_{c2} - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c2}} \right) \quad (\text{A.7})$$

$$M_{c2} = g_{c2} \cdot t_c \quad (\text{A.8})$$

Die für die Bewertung maßgebende gesamte flächenbezogene Tauwassermasse im Bauteil ergibt sich nach Gleichung (A.9).

$$M_c = M_{c1} + M_{c2} \quad (\text{A.9})$$

A.2.5.5 Fall d — Tauwasserausfall in einem Bereich

In einem Bauteil mit Tauwasserbildung in einem Bereich (zwischen zwei Schichtgrenzen) ist die Tauwassermasse im Bereich zwischen diesen Schichtgrenzen nach den Gleichungen (A.10) bis (A.11) zu berechnen.

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c1}}{s_{d,c1}} - \frac{p_{c2} - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c2}} \right) \quad (\text{A.10})$$

$$M_c = g_c \cdot t_c \quad (\text{A.11})$$

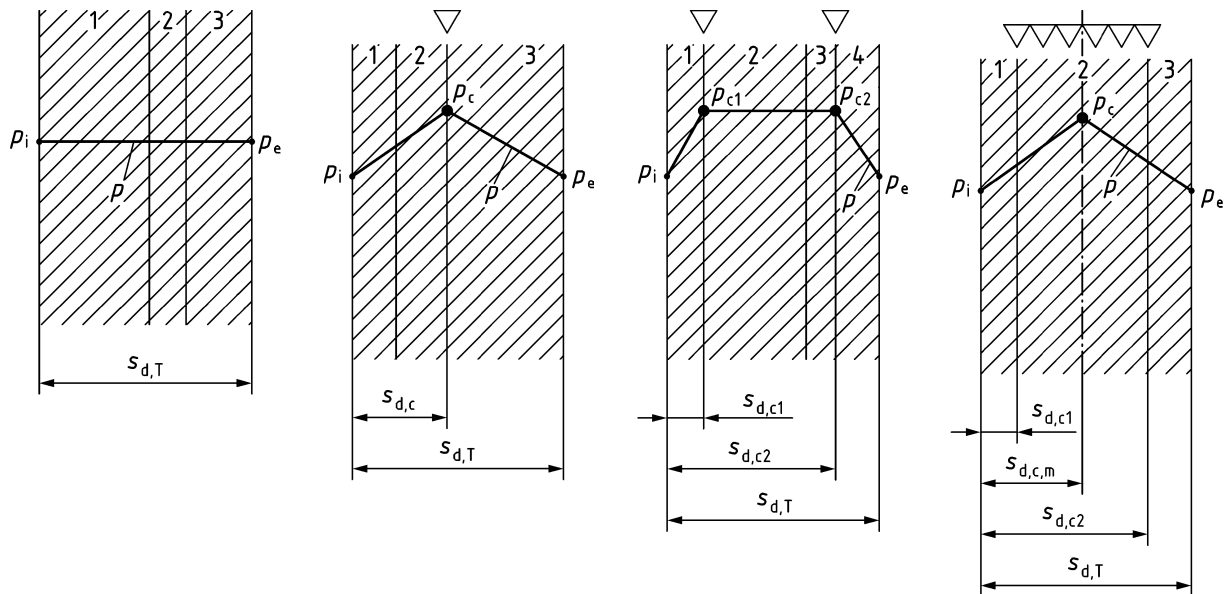
A.2.6 Verdunstung und Berechnung der Verdunstungsmasse**A.2.6.1 Allgemeines**

Hat sich während der Tauperiode Tauwasser an einer oder an mehreren Schichtgrenzen gebildet, so ist dort der Dampfdruck während der Verdunstungsperiode gleich dem Sättigungsdampfdruck im Tauwasserbereich für die Verdunstungsperiode zu setzen (siehe Tabelle A.1). Der Verlauf des Wasserdampfdruckes über den Querschnitt ergibt sich aus den Verbindungsgeraden zwischen den Werten des Wasserdampfdruckes an der raumseitigen Oberfläche, den Schichtgrenzen mit Tauwasser und des Wasserdampfdruckes an der außenseitigen Oberfläche, wobei die s_d -Werte für die Abszisseneinteilung des Diffusionsdiagrammes für die

Verdunstungsperiode wie in der vorhergehenden Tauperiode beibehalten werden. Zwischen zwei Tauwasserebenen sowie in einem Tauwasserbereich wird der Sättigungszustand angenommen.

Die möglicherweise in einem mehrschichtigen Außenbauteil während der Verdunstungsperiode nach erfolgter Tauwasserbildung auftretenden Varianten der Tauwasserverdunstung aus dem Bauteilquerschnitt heraus sind in analoger Weise in vier systematischen Fällen a bis d anhand der entsprechenden Diffusionsdiagramme in Bild A.2 angegeben.

Verdunstungsperiode



- a) keine Verdunstung, da kein Tauwasser b) Verdunstung aus einer Ebene c) Verdunstung aus zwei Ebenen d) Verdunstung aus einem Bereich

Legende

- p_i Dampfdruck an der raumseitigen Oberfläche nach Tabelle A.3, in Pa;
 p_e Dampfdruck an der außenseitigen Oberfläche nach Tabelle A.3, in Pa;
 p_c Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene, in Pa;
 $s_{d,T}$ Summe der s_d -Werte aller Einzelschichten des Bauteils, in m;
 $s_{d,c}$ Summe der s_d -Werte aller Einzelschichten von der Innenoberfläche bis zur Tauwasserebene, in m.

Bild A.2 — Diffusionsdiagramme für die analogen vier systematischen Fälle a bis d der Tauwasserverdunstung aus dem Querschnitt des Außenbauteils

Zur Berechnung der Verdunstungsmasse ist die Verdunstungsrate g_{ev} als Summe der aus den Tauwasserebenen bzw. Tauwasserbereichen zu beiden Oberflächen hin ausdiffundierenden Wasserdampfstromdichten zu ermitteln.

Die maximal mögliche Verdunstungsmasse je Bauteilfläche M_{ev} im Sommer ergibt sich aus der Multiplikation der Verdunstungsrate g_{ev} mit der Dauer der Verdunstungsperiode t_{ev} nach Tabelle A.3.

ANMERKUNG Die Lage der Sättigungsdampfdrücke p_c , p_{c1} und p_{c2} wird aus dem Diffusionsdiagramm der Tauperiode in das Diffusionsdiagramm der Verdunstungsperiode übertragen, die zugehörigen Dampfdruckwerte ergeben sich direkt nach Tabelle A.3 (siehe Beispiel in Anhang B).

DIN 4108-3:2018-10

Die Bestimmung der Verdunstungsmassen ist nach A.2.6.2 bis A.2.6.5 vorzunehmen.

A.2.6.2 Fall a — Kein Tauwasser, keine Verdunstung

Während der Tauperiode fand kein Tauwasserausfall statt, eine Bestimmung von Verdunstungsmassen ist gegenstandslos.

A.2.6.3 Fall b — Verdunstung nach Tauwasserausfall in einer Ebene

Nach Tauwasserausfall in einer Ebene (Schichtgrenze) eines Bauteils ist die maximal mögliche Verdunstungsmasse an dieser Tauwasserebene nach den Gleichungen (A.12) und (A.13) zu berechnen.

$$g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_i}{s_{d,c}} + \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \quad (\text{A.12})$$

$$M_{ev} = g_{ev} \cdot t_{ev} \quad (\text{A.13})$$

A.2.6.4 Fall c — Verdunstung nach Tauwasserausfall in zwei Ebenen

Nach Tauwasserausfall in zwei Ebenen (Schichtgrenzen) eines Bauteils ist die Verdunstungsmasse an diesen Schichtgrenzen unter der Voraussetzung $p_{c1} = p_{c2} = p_c$ (siehe Tabelle A.1) zu Beginn der Verdunstung wie folgt zu berechnen. Die Verdunstung erfolgt anfänglich von beiden Tauwasserebenen zur jeweils näher liegenden Oberfläche. Diffusionsströme zwischen beiden Tauwasserebenen treten wegen $p_{c1} = p_{c2}$ nicht auf. Die von den beiden Tauwasserebenen weg diffundierenden Diffusionsstromdichten werden nach den Gleichungen (A.14) und (A.15) berechnet.

Tauwasserebene c_1 :

$$g_{ev1} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_i}{s_{d,c1}} \right) \quad (\text{A.14})$$

Tauwasserebene c_2 :

$$g_{ev2} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c2}} \right) \quad (\text{A.15})$$

Für die Ermittlung der maximal möglichen Verdunstungsmasse ist zu überprüfen, welche Tauwassermasse in welcher Tauwasserebene unter den anfänglichen Bedingungen zuerst austrocknet und nach welchem Zeitraum dies geschieht.

Dafür sind zunächst die Verdunstungszeiten für die vorhandenen flächenbezogenen Tauwassermassen in beiden Ebenen aus M_{c1} und M_{c2} nach (A.6) und (A.8) und aus den Diffusionsstromdichten zu den jeweiligen Oberflächen nach (A.14), (A.15) und nach den folgenden Gleichungen (A.16) und (A.17) zu berechnen:

$$t_{ev1} = \frac{M_{c1}}{g_{ev1}} \quad (\text{A.16})$$

$$t_{ev2} = \frac{M_{c2}}{g_{ev2}} \quad (\text{A.17})$$

Folgende Austrocknungsfälle sind zu unterscheiden:

a) $t_{ev1} > t_{ev}$ und $t_{ev2} > t_{ev}$

Die Tauwassermassen in beiden Ebenen trocknen nicht vor Ende der Verdunstungsperiode aus. Die maximal mögliche Verdunstungsmasse für das Bauteil während der gesamten Verdunstungsperiode ergibt sich aus den Verdunstungsmassen je Tauwasserebene nach den Gleichungen (A.18) bis (A.20).

$$M_{ev1} = g_{ev1} \cdot t_{ev} \quad (A.18)$$

$$M_{ev2} = g_{ev2} \cdot t_{ev} \quad (A.19)$$

$$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} \quad (A.20)$$

b) $t_{ev1} < t_{ev}$ bzw. $t_{ev2} < t_{ev}$

Die Tauwassermasse in mindestens einer Ebene trocknet vor Ende der Verdunstungsperiode aus und je nachdem, welche Ebene zuerst austrocknet, erfolgt für die restliche Zeit der Verdunstungsperiode eine Verdunstung aus der anderen Ebene zu beiden Oberflächen hin. Die maximal mögliche Verdunstungsmasse für das Bauteil während der gesamten Verdunstungsperiode ergibt sich aus den Verdunstungsmassen je Tauwasserebene nach den Gleichungen (A.21) bis (A.23) bzw. (A.24) bis (A.26).

falls $t_{ev1} < t_{ev2}$

$$M_{ev1} = g_{ev1} \cdot t_{ev1} \quad (A.21)$$

$$M_{ev2} = g_{ev2} \cdot t_{ev1} + \left(\delta_0 \frac{p_{c2} - p_i}{s_{d,c2}} + g_{ev2} \right) \cdot (t_{ev} - t_{ev1}) \quad (A.22)$$

$$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} \quad (A.23)$$

falls $t_{ev2} < t_{ev1}$

$$M_{ev2} = g_{ev2} \cdot t_{ev2} \quad (A.24)$$

$$M_{ev1} = g_{ev1} \cdot t_{ev2} + \left(g_{ev1} + \delta_0 \frac{p_{c1} - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c1}} \right) \cdot (t_{ev} - t_{ev2}) \quad (A.25)$$

$$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} \quad (A.26)$$

DIN 4108-3:2018-10**A.2.6.5 Fall d — Verdunstung nach Tauwasserausfall in einem Bereich**

Nach Tauwasserausfall in einem Bereich (zwischen zwei Schichtgrenzen) eines Bauteils wird zur Berechnung der maximal möglichen Verdunstungsmasse die gesamte vorher bestimmte Tauwassermasse der Mitte des Bereiches im Diffusionsdiagramm zugeordnet. Die Verdunstung erfolgt aus der Mitte des Bereiches heraus zu beiden Oberflächen hin unter der Annahme, dass der Sättigungsdampfdruck p_c für die Verdunstung (siehe Tabelle A.1) nur in der Mitte des Bereiches vorliegt.

Die maximal mögliche Verdunstungsmasse für das Bauteil ist nach den Gleichungen (A.27) und (A.28) zu berechnen.

$$g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_i}{s_{d,c,m}} + \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c,m}} \right) \quad (\text{A.27})$$

mit

$$s_{d,c,m} = s_{d,c1} + 0,5 \times (s_{d,c2} - s_{d,c1})$$

$$M_{ev} = g_{ev} \cdot t_{ev} \quad (\text{A.28})$$

Anhang B (informativ)

Berechnungsbeispiel

B.1 Allgemeines

Nachfolgend wird an einer sanierten Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem und zusätzlicher Innendämmung gezeigt, wie die diffusionstechnische Bewertung von Außenbauteilen durch Untersuchung auf innere Tauwasserbildung und Verdunstung infolge von Wasserdampfdiffusion mit den hier angegebenen Blockklima-Randbedingungen vorgenommen werden kann.

Der Berechnungsablauf, wie in A.2.4 erläutert, darf schematisiert mit Hilfe von Tabellenblöcken dargestellt werden. Es liegen die Randbedingungen nach A.2.2 zugrunde. Für die Stoffeigenschaften sind die Hinweise in A.2.3 zu beachten. Feuchtetechnische Schutzschichten (z. B. diffusionshemmende Schichten, Dachhaut u. ä.) werden bei der Ermittlung der Temperaturverteilung nicht berücksichtigt. Allgemeine Grundlagen für die Berechnungen sind in Anhang C angegeben.

Die Sättigungsdampfdruckwerte werden dabei aus den berechneten ungerundeten Temperaturwerten nach den entsprechenden Gleichungen in Anhang C bestimmt. Bei der Angabe von Temperaturwerten werden diese auf eine Nachkommastelle gerundet, Sättigungsdampfdruckwerte werden ohne Nachkommastelle angegeben; siehe A.2.4.

Die Überprüfung des Konstruktionsbeispiels auf diffusionstechnische Zulässigkeit, d. h. auf Tauwasserfreiheit bzw. zulässige Tauwassermassen und Verdunstung, wird nachfolgend anhand der schematisierten Bearbeitungsblöcke (B.2 bis B.5) gezeigt.

DIN 4108-3:2018-10

B.2 Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten

Für Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten siehe Tabelle B.1.

Tabelle B.1 — Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten

1. Konstruktion: Außenwand mit vorhandenem WDVS und nachträglicher Innendämmung							
<p style="text-align: center;">Querschnittsskizze</p> <p style="text-align: center;">innen außen</p> <p style="text-align: center;">1 2 3 4 5</p>				<p>Legende</p> <p>1 Gipskarton-Platte 12,5 mm 2 diffusionsoffener Dämmstoff 80 mm 3 Vollziegel-Mauerwerk 300 mm 4 EPS-Dämmstoff (Altbestand) 60 mm 5 Kunstharz-Außenputz 8 mm</p> <p>Eine Außenwand mit vorhandenem Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS) wird nachträglich raumseitig mit einem diffusionsoffenen Wärmedämmstoff ohne zusätzliche diffusionshemmende Schicht gedämmt.</p>			
2. Schichtaufbau und Schichteigenschaften							
Nr.	Schicht	d m	μ -	s_d m	$\Sigma s_d/s_{d,T}$ -	λ W/(m·K)	R m ² ·K/W
	Innerer Wärmeübergangswiderstand R_{si}	-	-	-	-	-	0,25
1	Gipskarton-Platte	0,012 5	8	0,10	0,017	0,210	0,060
2	diffusionsoffener Dämmstoff	0,080 0	2	0,16	0,044	0,040	2,000
3	Vollziegel-Mauerwerk	0,300 0	10	3,00	0,547	0,790	0,380
4	EPS-Partikelschaum	0,060 0	25	1,50	0,799	0,035	1,714
5	Kunstharz-Außenputz	0,008 0	150	1,20	1,000	1,000	0,008
	Äußerer Wärmeübergangswiderstand R_{se}	-	-	-	-	-	0,04
	Summenwerte: $d_T =$	0,460 5	$s_{d,T} =$	5,96		$R_T =$	4,452
3. Bauteilkenngrößen							
Gesamtdicke des Bauteils $d_T = 0,460 5$ m							
Gesamt- s_d -Wert des Bauteils $s_{d,T} = 5,96$ m							
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = 4,452$ m ² ·K/W							
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T = 0,22$ W/(m ² ·K)							

B.3 Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

Für Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt siehe Tabelle B.2.

Tabelle B.2 — Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

1. Randbedingungen			
Tauperiode:			
Innenklima im Winter $\theta_i = 20\text{ °C}$ $\varphi_i = 50\text{ % RF}$ $p_i = 1\,168\text{ Pa}$			
Außenklima im Winter $\theta_e = -5\text{ °C}$ $\varphi_e = 80\text{ % RF}$ $p_e = 321\text{ Pa}$			
2. Bestimmung der Temperatur- und der Sättigungsdampfdruckverteilung			
Wärmestromdichte	$q = (\theta_i - \theta_e)/R_T$	$q = 5,616\text{ W/m}^2$	
Innere Oberfläche	$\theta_{si} = \theta_i - q \cdot (R_{si})$	$\theta_{si} = 18,6\text{ °C}$	$p_{sat\,si} = 2\,141\text{ Pa}$
Schichtgrenze 1/2	$\theta_{12} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1)$	$\theta_{12} = 18,3\text{ °C}$	$p_{sat\,12} = 2\,097\text{ Pa}$
Schichtgrenze 2/3	$\theta_{23} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2)$	$\theta_{23} = 7,0\text{ °C}$	$p_{sat\,23} = 1\,003\text{ Pa}$
Schichtgrenze 3/4	$\theta_{34} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3)$	$\theta_{34} = 4,9\text{ °C}$	$p_{sat\,34} = 866\text{ Pa}$
Schichtgrenze 4/5	$\theta_{45} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$	$\theta_{45} = -4,7\text{ °C}$	$p_{sat\,45} = 411\text{ Pa}$
Äußere Oberfläche	$\theta_{se} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)$	$\theta_{se} = -4,8\text{ °C}$	$p_{sat\,se} = 409\text{ Pa}$
3. Bestimmung eventueller Tauwasserebenen			
Bestimmung der Dampfdruckverteilung und ggf. der Tauwasserebenen			
Diffusionsstromdichte	Erste Annahme: keine Tauwasserbildung: $g = \frac{\delta_0 \cdot (p_i - p_e)}{s_{d,T}} = \frac{2 \cdot 10^{-10} \cdot (1168 - 321)}{5,96}$ mit $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10}$	Dampfdruckverteilung: Tangentenbildung für Dampfdruckverteilung: Beginn an innerer Oberfläche $g = 2,844 \cdot 10^{-8}$ $\frac{g}{\delta_0} = \frac{(p_i - p_e)}{s_{d,T}} = \frac{2,842 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 10^{-10}} = \frac{(1168 - 321)}{5,96}$ $= 142,1$	
Innere Oberfläche	$p_{si} = p_i$	$p_{si} = 1168\text{ Pa}$	$p_{sat,si} = 2141\text{ Pa}$
Schichtgrenze 1/2	$p_{1/2} = p_{si} - \left(\frac{g}{\delta_0}\right) \cdot s_{d1}$	$p_{1/2} = 1153,8\text{ Pa}$	$p_{sat,1/2} = 2097\text{ Pa}$
	falls: $p_{1/2} > p_{sat\,1/2}$ dann: $p_{1/2} = p_{sat\,1/2}$ und: $\frac{g}{\delta_0} = \frac{(p_{1/2} - p_e)}{s_{d,T} - s_{d,1}} = \text{---}$		
Schichtgrenze 2/3	$p_{2/3} = p_{1/2} - \left(\frac{g}{\delta_0}\right) \cdot s_{d2}$	$p_{2/3} = 1131\text{ Pa}$. . . $p_{2/3} = 1003\text{ Pa}$	$> p_{sat,2/3} = 1003\text{ Pa}$
	falls: $p_{2/3} > p_{sat\,2/3}$ dann: $p_{2/3} = p_{sat\,2/3}$ und: $\frac{g}{\delta_0} = \frac{(p_{2/3} - p_e)}{s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2}} = 119,6$		

DIN 4108-3:2018-10

Schichtgrenze 3/4	$p_{3/4} = p_{2/3} - \left(\frac{g}{\delta_0}\right) \cdot s_{d3}$	$p_{3/4} = 644 \text{ Pa}$	$p_{\text{sat},3/4} = 866 \text{ Pa}$
	falls: $p_{3/4} > p_{\text{sat},3/4}$ dann: $p_{3/4} = p_{\text{sat},3/4}$ und: $\frac{g}{\delta_0} = \frac{(p_{3/4} - p_e)}{s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2} - s_{d,3}} = \text{---}$		
Schichtgrenze 4/5	$p_{4/5} = p_{3/4} - \left(\frac{g}{\delta_0}\right) \cdot s_{d4}$	$p_{4/5} = 464 \text{ Pa}$. . . $p_{4/5} = 411 \text{ Pa}$	$p_{\text{sat},4/5} = 411 \text{ Pa}$
	falls: $p_{4/5} > p_{\text{sat},4/5}$ dann: $p_{4/5} = p_{\text{sat},4/5}$ und: $\frac{g}{\delta_0} = \frac{(p_{4/5} - p_e)}{s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2} - s_{d,3} - s_{d,4}} = 75,0$		
Äußere Oberfläche	$p_{\text{se}} = p_{3/4} - \left(\frac{g}{\delta_0}\right) \cdot s_{d4} = p_e$	$p_{\text{se}} = 321 \text{ Pa}$	$p_{\text{sat},\text{se}} = 409 \text{ Pa}$

Würde kein Tauwasser auftreten, wäre der Nachweis an dieser Stelle beendet und die Konstruktion entsprechend dieser Norm als diffusionstechnisch zulässig zu bezeichnen.

Es tritt jedoch Tauwasserausfall in zwei Ebenen zwischen den Schichten 2 und 3 sowie zwischen den Schichten 4 und 5 auf. Der Nachweis ist fortzuführen.

B.4 Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode

Für Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode siehe Tabelle B.3.

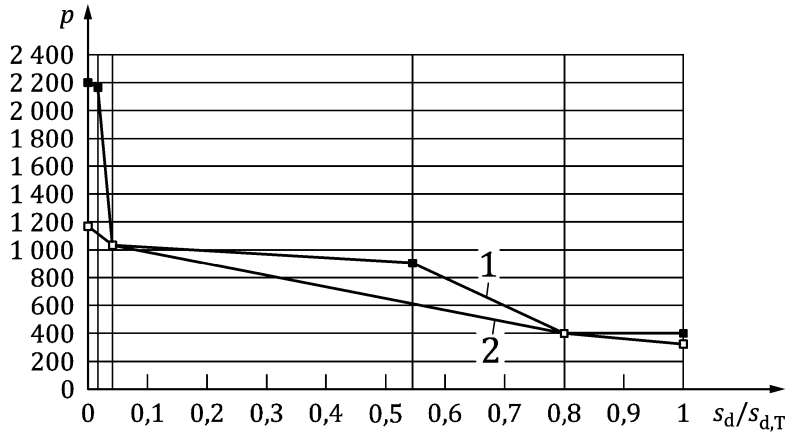
Tabelle B.3 — Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode

1. Diffusionsdiagramm für die Tauperiode (Dezember bis Februar)

Die s_d -Werte der Bauteilschichten sind in B.2, die Werte für die Verteilung des Sättigungsdampfdruckes in B.3 ermittelt worden.

Randbedingungen für die Tauperiode nach Tabelle A.3:

Wasserdampfdruck innen $p_i = 1\,168\text{ Pa}$
 Wasserdampfdruck außen $p_e = 321\text{ Pa}$



Legende

P Wasserdampfdruck Pa
 $s_d/s_{d,T}$ bezogene
 diffusionsäquivalente
 Luftschichtdicke
 1 p_{sat}
 2 p

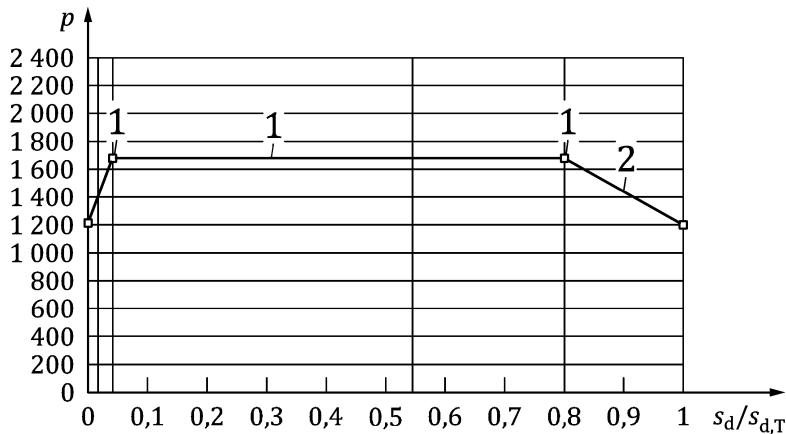
2. Diffusionsdiagramm für die Verdunstungsperiode (Juni bis August)

Die vorher ermittelten Tauwasserebenen liegen hier zugrunde.

Die s_d -Werte aus der Tauperiode werden beibehalten.

Randbedingungen für die Verdunstungsperiode nach Tabelle A.3:

Wasserdampfdruck innen $p_i = 1\,200\text{ Pa}$
 Wasserdampfdruck außen $p_e = 1\,200\text{ Pa}$
 Sättigungsdampfdruck in den Tauwasserebenen $p_c = 1\,700\text{ Pa}$ (Außenwand)



Legende

p Wasserdampfdruck
 $s_d/s_{d,T}$ bezogene
 diffusionsäquivalente
 Luftschichtdicke
 1 p_{sat}
 2 p

DIN 4108-3:2018-10

B.5 Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen

Für Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen siehe Tabelle B.4.

Tabelle B.4 — Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen

1. Tauwassermasse im Winter (Tauperiode Dezember bis Februar)	
Es findet Tauwasserausfall in zwei Ebenen statt, entsprechend Fall c nach A.2.5.4. Folgende Randbedingungen sind für die Berechnung erforderlich, siehe Tabelle A.3 bzw. B.2:	
Wasserdampfdruck innen, Wasserdampfdruck außen	$p_i = 1\,168\text{ Pa}, p_e = 321\text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene c_1	$p_{c1} = p_{\text{sat},23} = 1\,003\text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene c_2	$p_{c2} = p_{\text{sat},45} = 411\text{ Pa}$
Dauer der Tauperiode	$t_c = 7\,776 \cdot 10^3\text{ s}$
s_d -Werte für die Tauwasserberechnung (Fall c)	$s_{d,T} = s_{d,1} + s_{d,2} + s_{d,3} + s_{d,4} + s_{d,5} = 5,96\text{ m}$ $s_{d,c1} = s_{d,1} + s_{d,2} = 0,26\text{ m}$ $s_{d,c2} = s_{d,1} + s_{d,2} + s_{d,3} + s_{d,4} = 4,76\text{ m}$
Flächenbezogene Tauwassermasse in der Tauwasserebene c_1	$M_{c1} = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_i - p_{c1}}{s_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_{c2}}{s_{d,c2} - s_{d,c1}} \right) \cdot t_c = 0,783\text{ kg/m}^2$
Flächenbezogene Tauwassermasse in der Tauwasserebene c_2	$M_{c2} = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_{c1} - p_{c2}}{s_{d,c2} - s_{d,c1}} - \frac{p_{c2} - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c2}} \right) \cdot t_c = 0,089\text{ kg/m}^2$
sowie flächenbezogene Tauwassermasse insgesamt	$M_c = M_{c1} + M_{c2} = 0,872\text{ kg/m}^2$
2. Mögliche Verdunstungsmasse im Sommer (Verdunstungsperiode Juni bis August)	
Es findet Verdunstung aus zwei Ebenen statt, entsprechend Fall c nach A.2.6.4. Folgende Randbedingungen sind für die Berechnung erforderlich, siehe Tabelle A.3 bzw. B.4.2:	
Wasserdampfdruck innen, Wasserdampfdruck außen	$p_i = 1\,200\text{ Pa}, p_e = 1\,200\text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in den Tauwasserebenen c_1 und c_2	$p_{c1} = p_{c2} = p_c = 1\,700\text{ Pa}$
Dauer der Verdunstungsperiode	$t_{ev} = 7\,776 \cdot 10^3\text{ s}$
s_d -Werte für die Verdunstungsberechnung (Fall c), es werden die s_d -Werte aus der Tauperiode beibehalten	$s_{d,T} = s_{d,1} + s_{d,2} + s_{d,3} + s_{d,4} + s_{d,5} = 5,96\text{ m}$ $s_{d,c1} = s_{d,1} + s_{d,2} = 0,26\text{ m}$ $s_{d,c2} = s_{d,1} + s_{d,2} + s_{d,3} + s_{d,4} = 4,76\text{ m}$
Verdunstungszeit für Tauwasserebene c_1	$g_{ev1} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_i}{s_{d,c1}} \right)$
Verdunstungszeit für Tauwasserebene c_2	$t_{ev1} = M_{c1} / g_{ev1} = 2\,036 \cdot 10^3\text{ s}$ $g_{ev2} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c2}} \right)$ $t_{ev2} = \frac{M_{c2}}{g_{ev2}} = 1\,068 \cdot 10^3\text{ s}$
Für $t_{ev2} < t_{ev1}$:	$M_{ev1} = g_{ev1} \cdot t_{ev2} + \left(g_{ev1} + \delta_0 \frac{p_{c1} - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c1}} \right) \cdot (t_{ev} - t_{ev2}) = 3,108\text{ kg/m}^2$
Flächenbezogene Verdunstungsmassen für beide Tauwasserebenen c_1 und c_2	$M_{ev2} = g_{ev2} \cdot t_{ev2} = 0,089\text{ kg/m}^2$
sowie flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt	$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} = 3,197\text{ kg/m}^2$

B.6 Bewertung

Feststellungen und Anforderungen:

- Es findet Tauwasserausfall in zwei Ebenen statt (Fall c), und zwar in den Schichtgrenzen zwischen den Schichten 2 und 3 sowie zwischen den Schichten 4 und 5 statt.
- Von beiden an die jeweiligen Tauwasserebenen angrenzenden Schichten ist jeweils mindestens eine, nämlich Schicht 2 (diffusionsoffener Dämmstoff) und Schicht 4 (EPS-Hartschaum), als kapillar nicht wasseraufnahmefähig zu bezeichnen.

Die insgesamt zulässige flächenbezogene Tauwassermasse beträgt demnach $0,5 \text{ kg/m}^2$.

- Keine der an die Tauwasserebene angrenzenden Schichten besteht aus Holz bzw. Holzwerkstoffen.
- Die angefallene Tauwassermasse in beiden Tauwasserebenen muss in der Verdunstungsperiode wieder abgegeben werden können.

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse:

- ermittelte flächenbezogene Tauwassermassen

in der Tauwasserebene 1: $M_{c1} = 0,783 \text{ kg/m}^2$

in der Tauwasserebene 2: $M_{c2} = 0,089 \text{ kg/m}^2$

insgesamt: $M_c = 0,872 \text{ kg/m}^2$

- mögliche flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt: $M_{ev} = 3,197 \text{ kg/m}^2$

Prüfergebnisse und Bewertung:

- $M_c > 0,5 \text{ kg/m}^2$;

- $M_{ev} > M_c$.

Es sind nicht alle Anforderungen erfüllt.

Die Konstruktion ist diffusionstechnisch nicht zulässig.

Anhang C (normativ)

Grundlagen für wärme- und feuchteschutztechnische Berechnungen

C.1 Wärmeschutztechnische Größen und Temperaturverteilung

C.1.1 Allgemeines

Die in C.1.2 bis C.1.6 angegebenen Gleichungen und Hinweise auf Berechnungen beziehen sich auf plattenförmige, ein- oder mehrschichtige Bauteile mit planparallelen Oberflächen bzw. Schichtgrenzen und ein-dimensionale, zeitlich konstante Wärmeströme.

C.1.2 Wärmedurchlasswiderstand

Der Wärmedurchlasswiderstand R , in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, von homogenen Schichten und Luftschichten im Bauteil wird nach DIN EN ISO 6946 ermittelt.

C.1.3 Wärmedurchgangswiderstand

Der Wärmedurchgangswiderstand R_T , in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, wird nach DIN EN ISO 6946 berechnet.

C.1.4 Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient U , in $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, wird nach DIN EN ISO 6946 berechnet. Siehe auch DIN EN ISO 7345.

C.1.5 Wärmestromdichte

Die Wärmestromdichte q , in W/m^2 , wird nach Gleichung (C.1) berechnet.

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_e) \tag{C.1}$$

Dabei ist

U der Wärmedurchgangskoeffizient, in $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$;

θ_i die Innenlufttemperatur, in $^\circ\text{C}$;

θ_e die Außenlufttemperatur, in $^\circ\text{C}$.

C.1.6 Temperaturverteilung

Zur Ermittlung der Temperaturverteilung über den Querschnitt eines ein- bzw. mehrschichtigen Bauteils sind die Temperaturen der Innenoberfläche, der Außenoberfläche und, bei mehrschichtigen Bauteilen, der Schichtgrenzen nach den Gleichungen (C.2) bis (C.4) zu berechnen.

Die Temperatur der Bauteil-Innenoberfläche θ_{si} , in °C, wird nach Gleichung (C.2) berechnet.

$$\theta_{si} = \theta_i - q \cdot R_{si} \quad (C.2)$$

Dabei ist

θ_i die Innenlufttemperatur, in °C;

R_{si} der innere Wärmeübergangswiderstand, in $m^2 \cdot K/W$;

q die Wärmestromdichte, in W/m^2 .

Die Temperatur der Bauteil-Außenoberfläche θ_{se} , in °C, wird nach Gleichung (C.3) berechnet.

$$\theta_{se} = \theta_e + q \cdot R_{se} \quad (C.3)$$

Dabei ist

θ_e die Außenlufttemperatur, in °C;

R_{se} der äußere Wärmeübergangswiderstand, in $m^2 \cdot K/W$;

q die Wärmestromdichte, in W/m^2 .

Die Temperaturen in den Schichtgrenzen, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{n-1}$, in °C, nach jeweils der ersten, der zweiten bzw. der vorletzten Schicht eines mehrschichtigen Bauteils (in Richtung des Wärmestroms gezählt) dürfen nach dem Gleichungssystem (C.4) berechnet werden (siehe auch Bild C.1).

$$\theta_1 = \theta_{si} - q \cdot R_1 = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1) \quad (C.4)$$

$$\theta_2 = \theta_1 - q \cdot R_2 = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2)$$

$$\theta_{n-1} = \theta_{n-2} - q \cdot R_{n-1} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1})$$

Dabei ist

θ_{si} die Temperatur der Bauteil-Innenoberfläche, in °C;

R_1 der Wärmedurchlasswiderstand der ersten Schicht, in $m^2 \cdot K/W$;

R_2 der Wärmedurchlasswiderstand der zweiten Schicht, in $m^2 \cdot K/W$;

R_{n-1} der Wärmedurchlasswiderstand der vorletzten Schicht, in $m^2 \cdot K/W$;

θ_{n-1} die Temperatur in der Trennfläche zwischen vorletzter und letzter Schicht, in °C;

q die Wärmestromdichte, in W/m^2 ;

n die Anzahl der Einzelschichten.

Die Temperaturverteilung über den Querschnitt eines mehrschichtigen Bauteils in Abhängigkeit von den Schichtdicken und den Wärmeleitfähigkeiten der Einzelschichten veranschaulicht Bild C.1.

DIN 4108-3:2018-10

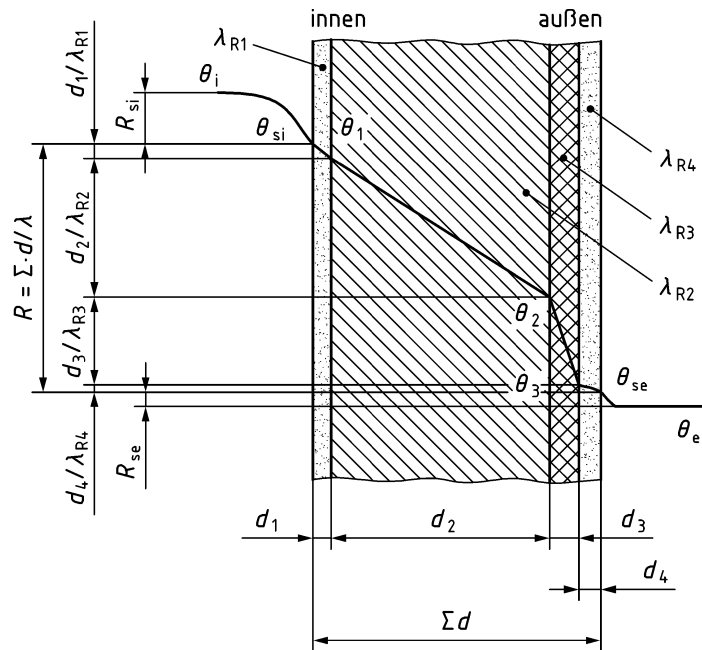


Bild C.1 — Temperaturverteilung über den Querschnitt eines mehrschichtigen Bauteils

C.2 Feuchteschutztechnische Größen und Dampfdruckverteilungen

C.2.1 Allgemeines

Die in C.2.2 bis C.2.4 angegebenen Gleichungen und Hinweise auf Berechnungen beziehen sich auf plattenförmige, ein- oder mehrschichtige Bauteile mit planparallelen Oberflächen bzw. Schichtgrenzen und ein-dimensionale, zeitlich konstante Wasserdampfdiffusionsströme.

C.2.2 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d , in m, einer homogenen Baustoffschicht wird nach Gleichung (C.5) berechnet.

$$s_d = \mu \cdot d \quad (\text{C.5})$$

Dabei ist

μ die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl;

d die Schichtdicke, in m.

C.2.3 Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand

Der dampfdruckbezogene Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand Z_p , in $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg}$, einer homogenen Baustoffschicht wird nach Gleichung (C.6) berechnet.

$$Z_p = 5 \cdot 10^9 \cdot \mu \cdot d = 5 \cdot 10^9 \cdot s_d \quad (\text{C.6})$$

Die Konstante $5 \cdot 10^9$ entspricht dem gerundeten Kehrwert des Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten in Luft δ_0 bei der Bezugstemperatur $10 \text{ }^\circ\text{C}$, in $\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg}$.

Der auf die absolute Luftfeuchte bezogene Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand Z_v , in s/m, einer homogenen Baustoffschicht wird nach Gleichung (C.7) berechnet.

$$Z_v = 4 \cdot 10^4 \cdot \mu \cdot d = 4 \cdot 10^4 \cdot s_d \quad (\text{C.7})$$

Die Konstante $4 \cdot 10^4$ entspricht dem gerundeten Kehrwert des Wasserdampf-Diffusionskoeffizienten in Luft nach Schirmer D_0 bei der Bezugstemperatur 10°C , in s/m^2 .

Bei mehrschichtigen Bauteilen ist zur Bestimmung des Gesamt-Diffusionsdurchlasswiderstandes des Bauteils der $s_{d,T}$ -Wert in die Gleichungen (C.6) bzw. (C.7) einzusetzen, der sich aus der Addition der s_d -Werte der Einzelschichten ergibt (siehe auch A.2.5.1).

C.2.4 Wasserdampf-Diffusionsstromdichte

Die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte g , in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, durch eine ebene Baustoffschicht unter stationären Bedingungen, im Folgenden nur noch als Diffusionsstromdichte bezeichnet, kann in Abhängigkeit vom Dampfdruckgefälle Δp oder in Abhängigkeit vom Gefälle der absoluten Luftfeuchte Δv ermittelt werden.

Die entsprechenden Zusammenhänge sind in den nachfolgenden Gleichungen (C.8), auf das Dampfdruckgefälle und (C.9), sowie auf die absolute Luftfeuchte bezogen, angegeben.

$$g = \frac{\delta_0 \Delta p}{\mu d} = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_d} = \frac{\Delta p}{Z_p} \quad (\text{C.8})$$

$$g = \frac{D_0 \Delta v}{\mu d} = D_0 \frac{\Delta v}{s_d} = \frac{\Delta v}{Z_v} \quad (\text{C.9})$$

Der Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in Luft δ_0 , in $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$, wird nach Gleichung (C.10) bestimmt.

$$\delta_0 = \frac{D_0}{R_v \cdot T} \quad (\text{C.10})$$

Dabei ist

T die thermodynamische (absolute) Temperatur, in K,

mit $T = 273 + \theta$;

R_v die spezifische Gaskonstante für Wasserdampf, in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,

mit $R_v = 462 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

Der Wasserdampf-Diffusionskoeffizient in Luft D_0 nach Schirmer, in m^2/s , ergibt sich aus Gleichung (C.11).

$$D_0 = 0,023 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81} \quad (\text{C.11})$$

Für praktische diffusionstechnische Belange darf das Verhältnis Norm-Luftdruck (= 1 013,25 hPa) zu tatsächlichem atmosphärischen Luftdruck $P_0/P \approx 1$ gesetzt werden.

DIN 4108-3:2018-10

Für eine Bezugstemperatur von 10 °C ergeben sich die folgenden gerundeten Werte, die unter praktischen Gesichtspunkten für die hier durchzuführenden Berechnungen verwendet werden:

$$\delta_0 = 1,89 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

$$D_0 = 2,47 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \approx 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

C.2.5 Dampfdruckverteilungen

Für diffusionstechnische Untersuchungen an Bauteilen werden üblicherweise der Wasserdampfteildruck als Potentialgröße für den Diffusionsstrom (Dampfdruckgefälle) und somit auch die dampfdruckbezogenen Transportkenngrößen (Diffusionsleitkoeffizient bzw. Diffusionsdurchlasswiderstand) verwendet.

Die rechnerische Bestimmung der tatsächlichen Dampfdruckverteilung über den gesamten Querschnitt eines ein- bzw. mehrschichtigen Bauteils — analog zur Ermittlung der Temperaturverteilung — ist bei nicht-isothermen Verhältnissen auf analoge einfache Weise nur dann möglich, wenn im Querschnitt, d. h. längs des Dampfdruckverlaufes keine Tauwasserbildung auftritt. Dies schließt sich jedoch bei der hier interessierenden Untersuchung auf Tauwasserbildung im Querschnitt unter nichtisothermen Prüfbedingungen von selbst aus.

Um eine relativ einfache rechnerische Bestimmung einer eventuellen Tauwasserbildung im Querschnitt und der dadurch veränderten Dampfdruckverteilung — unter Praxisgesichtspunkten wie auch im Hinblick auf eine vereinfachte Programmierung — zu ermöglichen, werden vereinfachende Annahmen bezüglich der Festlegung der Sättigungsdampfdruckverteilung getroffen, was ein schrittweises Vorgehen zur einfachen iterativen Ermittlung der tatsächlichen Dampfdruckverteilung erlaubt:

- Ausgehend von den an den Schichtgrenzen ermittelten Temperaturwerten (siehe C.1.6) werden die entsprechenden Sättigungsdampfdruckwerte bestimmt (siehe C.4) und über jede Schicht gradlinig verbunden. Dies ist bei ausreichend kleinen thermischen Widerständen oder ausreichend kleinen s_d -Werten der Einzelschichten mit guter Näherung zulässig. Gegebenenfalls sind Einzelschichten in Teilschichten zu unterteilen, um den eigentlich gekrümmten Kurvenverlauf des Sättigungsdampfdruckes möglichst wenig gekrümmt zwischen den Stützpunkten darzustellen, so dass kein nennenswertes Tangieren zwischen Sättigungsdampfdruck und tatsächlichem Dampfdruck innerhalb der Schicht auftreten kann.
- Unter einer ersten Annahme der Tauwasserfreiheit werden im Querschnitt die Diffusionsstromdichte nach C.2.4 und mittels der Z_p -Werte je Schicht — analog zur Bestimmung der Temperaturverteilung nach C.1.6 — die Dampfdruckwerte an allen Schichtgrenzen berechnet, was im s_d -Maßstab einen Geradenverlauf über den Querschnitt ergeben muss.
- Ausgehend von einer Oberfläche mit bekannter Dampfdruck-Randbedingung, z. B. von der Innenoberfläche aus, ist schrittweise je Schichtgrenze zu prüfen, ob der dort per Annahme errechnete Dampfdruckwert größer als der dort vorliegende Sättigungsdampfdruckwert ist.
- Ist dies nicht der Fall, wird das Überprüfen an der nächsten Schichtgrenze fortgesetzt usw.
- Ist dies der Fall, tritt dort Tauwasserbildung auf (erste Tauwasserebene) und es wird eine neue geradlinige Verbindung zwischen dem Oberflächendampfdruckwert und dem Sättigungsdampfdruckwert in dieser Schichtgrenze als erster Abschnitt einer veränderten Dampfdruckverteilung fixiert.
- Von dieser ersten Tauwasserebene ausgehend, d. h. von dem dortigen Sättigungsdampfdruckwert aus, werden unter erneuter Annahme von Tauwasserfreiheit zwischen dieser Stelle und der anderen Oberfläche die veränderte Diffusionsstromdichte und damit die neuen Dampfdruckwerte für die restlichen Schichtgrenzen ermittelt.

- Es folgt eine analoge Überprüfung für diese neuen Dampfdruckwerte bezüglich ihrer Relation zu den restlichen Sättigungsdampfdruckwerten wie vorher erläutert.
- Ist diese fortgesetzte Überprüfung für alle Schichtgrenzen durchgeführt und sind entweder keine oder eine oder mehrere Tauwasserebenen in den Schichtgrenzen festgestellt worden, so ergibt sich letztlich die tatsächliche stationäre Dampfdruckverteilung entsprechend den Randbedingungen als ungestörte Gerade über den Querschnitt im s_d -Maßstab (keine Tauwasserbildung) oder als Polygonzug mit geradlinigen Tangentensegmenten an die Stützstellen der Sättigungsdampfdruckverteilung in den Schichtgrenzen.

Die Vorgehensweise wird im Beispiel in Anhang B demonstriert. Bild C.2 zeigt exemplarisch eine schematische Darstellung der charakteristischen Temperatur-Dampfdruckverteilungen.

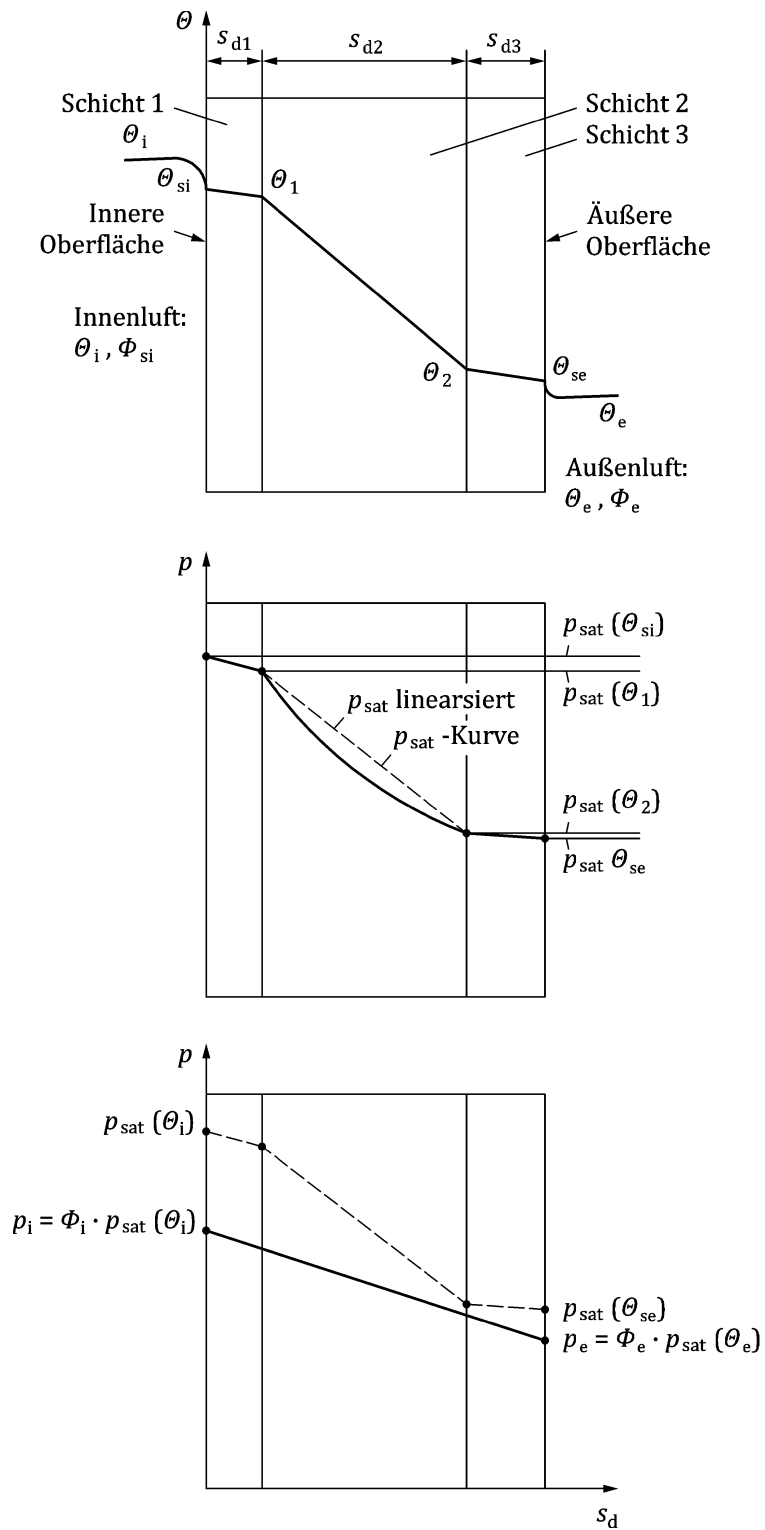


Bild C.2 — Schematische Darstellung der Temperatur- und Dampfdruckverteilungen über den Querschnitt eines mehrschichtigen Bauteils in Abhängigkeit von den diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der Einzelschichten zur Ermittlung eines eventuellen Tauwasserausfalls an Schichtgrenzen

C.3 Wasserdampfteildruck und Luftfeuchte

Die Beziehung zwischen Wasserdampfteildruck p , in Pa, und volumenbezogener (absoluter) Luftfeuchte v , in kg/m^3 , wird durch die so genannte Gasgleichung (siehe Gleichung C.12) ausgedrückt:

$$p = v \cdot R_v \cdot T \quad (\text{C.12})$$

Dabei ist

R_v die spezifische Gaskonstante für Wasserdampf, in $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ bzw. in $\text{Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{K})$,
mit $R_v = 462 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{kg}\cdot\text{K})$;

T die thermodynamische Temperatur, in K.

Die Differenz zwischen raum- und außenseitigem Wasserdampfteildruck Δp wird aus der Differenz der absoluten Luftfeuchten bzw. als raumseitige Erhöhung der absoluten Luftfeuchte gegenüber Außen infolge einer Feuchteproduktion G im Raum mit dem Volumen V und einer Luftwechselrate n nach Gleichung (C.13) berechnet:

$$\Delta p = \Delta v \cdot R_v \cdot (T_i + T_e)/2 = \frac{G}{n \cdot V} \cdot R_v \cdot (T_i + T_e)/2 \quad (\text{C.13})$$

Die relative Luftfeuchte φ ergibt sich aus dem aktuellen Dampfdruck p in Relation zum Sättigungsdampfdruck p_{sat} bei der aktuell herrschenden Temperatur nach Gleichung (C.14):

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{sat}}} \quad (\text{C.14})$$

Die relative Luftfeuchte wird indirekt durch die Temperatur, d.h. über den temperaturabhängigen Sättigungsdampfdruck beeinflusst.

C.4 Sättigungsdampfdruck und Taupunkttemperatur

Der Sättigungsdampfdruck von Wasser wird in Abhängigkeit von der Temperatur für die Bereiche über Wasser bzw. über Eis nach folgenden empirischen Gleichungen (C.15) und (C.16) berechnet:

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot \exp\left(\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}\right) \text{ wenn } \theta \geq 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{C.15})$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5 \cdot \exp\left(\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}\right) \text{ wenn } \theta < 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{C.16})$$

Aus der Umkehrung der Gleichungen können die Temperaturen berechnet werden, die einem bestimmten Sättigungsdampfdruck entsprechen. Diese Temperaturen, berechnet nach den umgestellten Gleichungen (C.17) und (C.18), entsprechen den Taupunkttemperaturen für einen bestimmten aktuellen Dampfdruck, der anstelle des Sättigungsdampfdruckes einzusetzen ist.

$$\theta = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)}{17,269 - \ln\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)} \text{ wenn } p_{\text{sat}} \geq 610,5 \text{ Pa} \quad (\text{C.17})$$

DIN 4108-3:2018-10

$$\theta = \frac{265,6 \cdot \ln\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)}{21,875 - \ln\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)} \text{ wenn } p_{\text{sat}} < 610,5 \text{ Pa} \quad (\text{C.18})$$

Tabellierte Werte für den Sättigungsdampfdruck, die absolute Luftfeuchte (auch als Wasserdampfkonzentration bezeichnet) und für Taupunkttemperaturen sind in den folgenden Tabellen C.1 bis C.3 angegeben.

Tabelle C.1 — Sättigungsdampfdruck für Wasserdampf in Luft über flüssigem Wasser bzw. über Eis in Abhängigkeit von der Temperatur

Temperatur in °C	Sättigungsdampfdruck, in Pa, für Temperaturschritte in Zehntel °C									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
30	4241	4265	4289	4314	4339	4364	4389	4414	4439	4464
29	4003	4026	4050	4073	4097	4120	4144	4168	4192	4216
28	3778	3800	3822	3844	3867	3889	3912	3934	3957	3980
27	3563	3584	3605	3626	3648	3669	3691	3712	3734	3756
26	3359	3379	3399	3419	3440	3460	3480	3501	3522	3542
25	3166	3185	3204	3223	3242	3261	3281	3300	3320	3340
24	2982	3000	3018	3036	3055	3073	3091	3110	3128	3147
23	2808	2825	2842	2859	2876	2894	2911	2929	2947	2964
22	2642	2659	2675	2691	2708	2724	2741	2757	2774	2791
21	2486	2501	2516	2532	2547	2563	2579	2594	2610	2626
20	2337	2351	2366	2381	2395	2410	2425	2440	2455	2470
19	2196	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2308	2323
18	2063	2076	2089	2102	2115	2129	2142	2155	2169	2182
17	1937	1949	1961	1974	1986	1999	2012	2024	2037	2050
16	1817	1829	1841	1852	1864	1876	1888	1900	1912	1924
15	1704	1715	1726	1738	1749	1760	1771	1783	1794	1806
14	1598	1608	1619	1629	1640	1650	1661	1672	1683	1693
13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1567	1577	1587
12	1402	1411	1420	1430	1439	1449	1458	1468	1477	1487
11	1312	1321	1330	1338	1347	1356	1365	1374	1383	1393
10	1227	1236	1244	1252	1261	1269	1278	1286	1295	1303
9	1147	1155	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1219
8	1072	1080	1087	1094	1102	1109	1117	1124	1132	1140
7	1001	1008	1015	1022	1029	1036	1043	1050	1058	1065
6	935	941	948	954	961	967	974	981	988	994
5	872	878	884	890	897	903	909	915	922	928
4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866

Temperatur in °C	Sättigungsdampfdruck, in Pa, für Temperaturschritte in Zehntel °C									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
3	757	763	768	774	779	785	790	796	801	807
2	705	710	715	721	726	731	736	741	747	752
1	656	661	666	671	676	680	685	690	695	700
0	611	615	619	624	629	633	638	642	647	652
0	611	605	601	596	591	586	581	576	571	567
-1	562	557	553	548	544	539	535	530	526	521
-2	517	513	509	504	500	496	492	488	484	479
-3	475	471	468	464	460	456	452	448	444	441
-4	437	433	430	426	422	419	415	412	408	405
-5	401	398	394	391	388	384	381	378	375	371
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	344	341
-7	338	335	332	329	326	323	320	318	315	312
-8	309	307	304	301	299	296	294	291	288	286
-9	283	281	278	276	274	271	269	266	264	262
-10	259	257	255	252	250	248	246	244	241	239

ANMERKUNG Berechnung nach Formel und Tabellenwerte können geringfügig voneinander abweichen.

DIN 4108-3:2018-10

Tabelle C.2 — Sättigungsdampfkonzentration für Wasserdampf in Luft über flüssigem Wasser bzw. über Eis in Abhängigkeit von der Temperatur

Temperatur in °C	Sättigungsdampfkonzentration, in 10^{-3} kg/m ³ , für Temperaturschritte in Zehntel °C									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
30	30,3	30,5	30,6	30,8	31,0	31,2	31,4	31,5	31,7	31,9
29	28,7	28,9	29,0	29,2	29,4	29,5	29,7	29,9	30,0	30,2
28	27,2	27,3	27,5	27,6	27,8	28,0	28,1	28,3	28,5	28,6
27	25,7	25,9	26,0	26,2	26,3	26,5	26,6	26,8	26,9	27,1
26	24,3	24,5	24,6	24,8	24,9	25,0	25,2	25,3	25,5	25,6
25	23,0	23,1	23,3	23,4	23,5	23,7	23,8	24,0	24,1	24,3
24	21,7	21,9	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,7	22,8	22,9
23	20,5	20,7	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,5	21,7
22	19,4	19,5	19,6	19,7	19,9	20,0	20,1	20,2	20,4	20,5
21	18,3	18,4	18,5	18,6	18,8	18,9	19,0	19,1	19,2	19,3
20	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2
19	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	16,9	17,0	17,1	17,2
18	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9	16,0	16,1	16,2
17	14,5	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9	15,0	15,1	15,2	15,3
16	13,6	13,7	13,8	13,9	14,0	14,1	14,1	14,2	14,3	14,4
15	12,8	12,9	13,0	13,1	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6
14	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8
13	11,3	11,4	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	11,9	12,0
12	10,6	10,7	10,8	10,9	10,9	11,0	11,1	11,1	11,2	11,3
11	10,0	10,1	10,1	10,2	10,3	10,3	10,4	10,5	10,5	10,6
10	9,4	9,5	9,5	9,6	9,6	9,7	9,8	9,8	9,9	10,0
9	8,8	8,9	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3	9,4
8	8,3	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7	8,7	8,8
7	7,7	7,8	7,8	7,9	8,0	8,0	8,1	8,1	8,2	8,2
6	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5	7,6	7,6	7,7	7,7
5	6,8	6,8	6,9	6,9	7,0	7,0	7,1	7,1	7,2	7,2
4	6,4	6,4	6,4	6,5	6,5	6,6	6,6	6,7	6,7	6,8
3	5,9	6,0	6,0	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3
2	5,6	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,8	5,9	5,9
1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5
0	4,8	4,9	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1	5,2
0	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5
-1	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,2	4,2	4,1
-2	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8
-3	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6	3,5
-4	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,3	3,3
-5	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0

Temperatur in °C	Sättigungsdampfkonzentration, in 10^{-3} kg/m ³ , für Temperaturschritte in Zehntel °C									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
-6	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8
-7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5
-8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3
-9	2,3	2,3	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1
-10	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Tabelle C.3 — Taupunkttemperatur für Wasserdampf in Luft in Abhängigkeit von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte

Temperatur in °C	Taupunkttemperatur °C bei einer relativen Luftfeuchte %													
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
	30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,1	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,3	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,8	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,1	3,2	5,1	6,8	8,4	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,6	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,1	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,0	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1,1	0,6	2,3	3,8	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,8	-0,2	1,4	2,8	4,2	5,4	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,4	-2,6	-1,0	0,5	1,9	3,3	4,5	5,6	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,7	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

Anhang D **(normativ)**

Feuchteschutzbemessung durch hygrothermische Simulation

D.1 Allgemeines

Seit den 90er-Jahren sind eine Reihe von Computermodellen zur Durchführung hygrothermischer Berechnungen entwickelt worden. Derartige Modelle ermöglichen einen größeren Detaillierungsgrad und eine größere Anwendungsbreite als das vereinfachte Nachweisverfahren (Periodenbilanzverfahren). Geeignete Computermodelle erlauben die gekoppelte und zeitlich aufgelöste Berechnung von Temperatur- und Feuchteverteilungen innerhalb der Konstruktion. Sie beruhen auf finiten Volumen oder finiten Elementen mit Zeitschritten in der Größenordnung von Minuten oder Stunden und Gitterabständen in der Größenordnung von Millimetern bis Zentimetern. Sie erfassen den Feuchtetransport sowohl in der Flüssig- als auch in der Dampfphase und die Feuchtespeicherung poröser Baustoffe.

Als Eingabekenngrößen benötigen die Modelle die Vorgabe von hygrothermischen Stoffeigenschaften, zumeist als Funktion des Feuchtegehalts und/oder der Temperatur. Außen- und Raumklimadaten sind als Datensätze (zeitliche Auflösung als Stundenwerte oder feiner) oder als mathematische Funktionen vorgegeben. Die Auswahl der Eingabedaten und die Beurteilung der Berechnungsergebnisse erfordern eine ausreichende Fachkenntnis und Erfahrung. Deshalb ist die Anwendung dieser Verfahren jeweils als dritte Nachweisstufe empfohlen, wenn die einfachen Nachweisformen nicht anwendbar sind oder zu ungenügenden bzw. unwirtschaftlichen Ergebnissen führen.

Dieser Anhang legt die Randbedingungen für die Anwendung von Simulationsverfahren zur feuchte-technischen Bemessung von mehrschichtigen Bauteilen unter natürlichen Klimabedingungen fest. Die Auswahl der Materialparameter muss den Vorgaben von DIN EN 15026 entsprechen. Es können zudem die physikalischen Modellansätze und Lösungsverfahren der Simulationswerkzeuge nach WTA Merkblatt 6-2 [14] verwendet werden. Zur Sicherstellung ausreichender Sicherheitsreserven sind die nachfolgend beschriebenen Eingangsparameter und Ergebnisanalysen zu verwenden. In begründeten Fällen sind Abweichungen bei den Randbedingungen zulässig. Sie sind so zu dokumentieren, dass die Simulation von Fachleuten nachvollzogen werden kann.

D.2 Äußere Randbedingungen

D.2.1 Allgemeines

Die äußeren Klimawirkungen auf die Gebäudehülle werden durch Außenlufttemperatur, Strahlung (kurzwellig und langwellig), Außenluftfeuchte, Wind und Schlagregenbeanspruchung bestimmt. Die relevanten Klimarandbedingungen sind in einer zeitlichen Auflösung von Stundenwerten oder feiner zu verwenden.

D.2.2 Klimadatenätze

Die Beurteilung des langfristigen Bauteilverhaltens erfolgt mit repräsentativen meteorologischen Klimadatenätzen. Falls vorhanden, sind standortspezifische, repräsentative Messdaten zu verwenden. Beispielsweise erfüllen die hygrothermischen Referenzjahre nach IBP-Bericht HTB-021/2016 [19] diese Ansprüche. Die Verwendung anderer Datensätze ist nach DIN EN 15026 zulässig, wenn sie auf der Grundlage mehrjähriger Klimamessdaten erzeugt wurden.

Liegen für die Schlagregenbeanspruchung keine Messdaten vor, ist diese aus Wind- und Normalregendaten z. B. auf Grundlage von DIN EN ISO 15927-3 zu ermitteln.

D.2.3 Wärme- und Feuchteübertragung an der Außenoberfläche

Die Übergangskoeffizienten für Wärme und Wasserdampf hängen von den lokalen Strömungsverhältnissen ab. Für deutsche Klimaverhältnisse sind im Normalfall die Werte der Tabelle D.1 zu verwenden.

Tabelle D.1 — Übergangskoeffizienten für Wärme und Wasserdampf

Wärmeübergangskoeffizient durch Konvektion	Wärmeübergang (Konvektion und langwellige Strahlung)	Wasserdampfübergang
h_c	h	β_p
W/(m ² ·K)	W/(m ² ·K)	kg/(m ² ·s·Pa)
12	17	75 · 10 ⁻⁹

Die kurzwellige Strahlungsabsorption hängt in erster Linie von der Oberflächenfarbgebung ab. Liegen keine produktspezifischen Daten vor, sind die Werte nach Tabelle D.2 zu verwenden.

Tabelle D.2 — Kurzwellige Strahlungsabsorption

Bauteiloberfläche	Schwarz oder dunkler Farbton	Grau oder mittlerer Farbton	Weiß oder heller Farbton
Strahlungsabsorptionsgrad	0,8	0,6	0,4

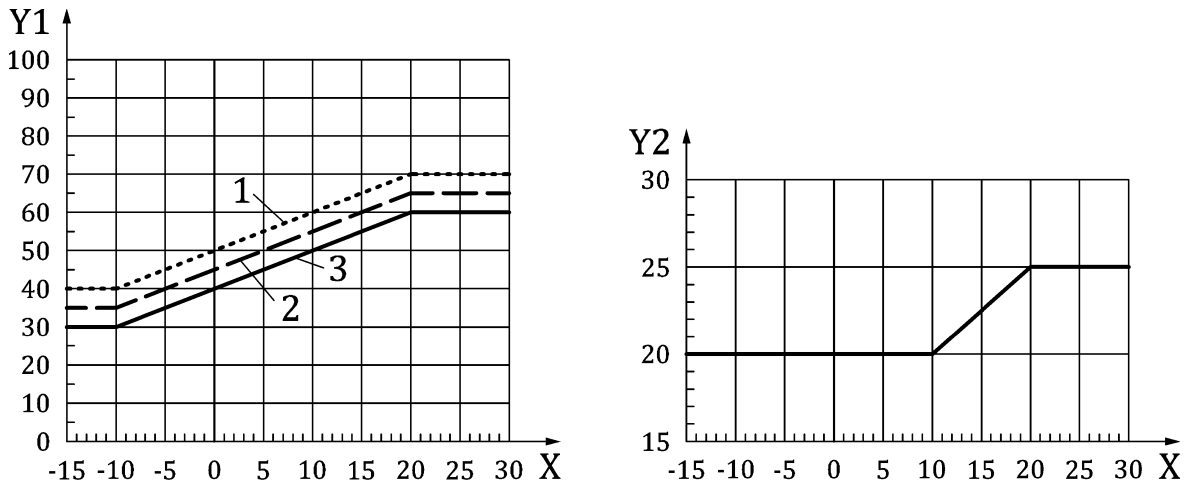
Als langwellige Emissionszahl ist unabhängig vom Material 0,9 zu verwenden. Geringere Werte, wie sie z. B. bei blanken Metalloberflächen auftreten, dürfen nur verwendet werden, wenn das Rechenergebnis dadurch feuchtetechnisch ungünstiger wird. Wird die langwellige Strahlungsbilanz berechnet, ist beim Wärmeübergangskoeffizienten nur der konvektive Anteil zu berücksichtigen.

Da ein Teil des auftreffenden Regenwassers bei schlagregenbeanspruchten Außenwänden wieder wegspritzt (etwa 30 %), ist bei senkrechten Bauteilen zusätzlich ein Abminderungsfaktor von 0,7 zu verwenden.

D.3 Raumseitige Randbedingungen

Im Gegensatz zum Außenklima wird das Raumklima stark durch das Nutzerverhalten und haustechnische Anlagen bestimmt (Feuchteproduktion, manuelle Lüftung, mechanische Lüftungsanlage mit/ohne Luftbefeuchtung). Die Wärme- und Feuchtespeicherfähigkeiten von Bauteilen und Einrichtungsgegenständen sorgen in der Regel für einen relativ gleichmäßigen Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchte.

DIN 4108-3:2018-10



Legende

- X Außenlufttemperatur in °C
- Y1 relative Raumluftfeuchte in %
- Y2 Innentemperatur in °C
- 1 Feuchtelast hohe Belegung
- 2 Feuchtelast normale Belegung + 5 % (Bemessung)
- 3 Feuchtelast normale Belegung

Bild D.1 — Raumlufttemperatur und -feuchte von Wohnräumen in Abhängigkeit von den Tagesmittelwerten der Außenlufttemperatur

Für die feuchtetechnische Bemessung der normalen Belegung in Bild D.1 ist die Kurve nach DIN EN 15026:2007-07 Bild C.1, erhöht um 5 Prozentpunkte relative Feuchte Sicherheitsreserve zu verwenden. Eine hohe Belegung liegt vor, wenn die Wohnfläche, bezogen auf die Wohneinheit, pro Person weniger als 15 m² beträgt (gilt nicht für Büroräume).

Für klimatisierte Gebäude sind die geplanten Sollwerte für das Raumklima zu verwenden. Für nicht klimatisierte Wohn- oder wohnähnlich genutzte Gebäude ist, sofern nichts Genaueres bekannt ist, das Raumklima aus den gleitenden Mittelwerten der letzten 24 h der Außenlufttemperatur nach Bild D.1 zu verwenden.

D.4 Wärme- und Feuchteübertragung an der raumseitigen Oberfläche

Die Übergangskoeffizienten für Wärme und Wasserdampf können für die hygrothermische Simulation überall als annähernd gleich angenommen werden. Ist nichts Genaueres bekannt, sind die Werte nach Tabelle D.3 zu verwenden.

Tabelle D.3 — Übergangskoeffizienten für Wärme und Wasserdampf in Räumen

Wärmeübergang (Konvektion und langwellige Strahlung)	Wasserdampfübergang
h	β_p
$W/(m^2 \cdot K)$	$kg/(m^2 \cdot s \cdot Pa)$
8	$25 \cdot 10^{-9}$

D.5 Anfangsbedingungen

Zu Beginn einer Berechnung sind die Anfangsbedingungen für die Feuchte- und Temperaturbedingungen über das gesamte Bauteil vorzugeben.

Anfangstemperatur: Als Anfangstemperatur sind 20 °C über die gesamte Dicke des Bauteils anzusetzen. Da sich die Temperaturverhältnisse sehr schnell den Randbedingungen anpassen, ist die Beeinflussung der Berechnungsergebnisse durch die Anfangstemperatur sehr begrenzt.

Anfangsfeuchte: Bei neuerstellten massiven Bauteilen kann vereinfachend die Einbaufeuchte (z. B. für vor Ort hergestellte Betonbauteile) bzw. der Feuchtegehalt nach Werksproduktion (Mauersteine, vorgefertigte Betonbauteile) verwendet werden. Die Standzeit des Gebäudes vor Übergabe zur Nutzung kann bei der Festlegung der Anfangsbedingungen der Simulation ebenfalls berücksichtigt werden. Im Trockenbau wird für alle Bauteilschichten die Sorptionsfeuchte bei 80 % angesetzt. Bei vorgetrockneten Bauteilschichten darf eine Sorptionsfeuchte von 50 % angesetzt werden.

Bei bestehenden Bauteilen ist, sofern nichts Genaueres bekannt ist, als Anfangsbedingung (Temperatur, Feuchte) der eingeschwungene Zustand (siehe D.7.2) unter den gegebenen Klimabedingungen zu verwenden.

D.6 Feuchtequellen aufgrund von Luftkonvektion oder Schlagregenpenetration durch unvermeidbare Leckagen

D.6.1 Allgemeines

Durch Luftkonvektion oder Schlagregenpenetration kann deutlich mehr Feuchtigkeit in ein Bauteil gelangen als durch Dampfdiffusion. Selbst in Bauteilen, die nach dem Stand der Technik luft- und regendicht ausgeführt werden, verbleiben i. d. R. kleine Leckagen, durch die ein Feuchteeintrag erfolgen kann.

Für ein ausreichendes Sicherheitsniveau ist es sinnvoll, die Konstruktionen so zu bemessen, dass sie tolerant gegenüber derartigen Feuchteinträgen sind. Können diese Effekte nicht über genauere Berechnungsverfahren (z. B. Strömungssimulationen) erfasst werden, wird die Anwendung der nachfolgenden Modellansätze empfohlen.

D.6.2 Feuchtequellen durch Dampfkonvektion

Bei Leichtbaukonstruktionen kann Raumluft im Bereich von Anschlüssen oder Durchdringungen durch Außenbauteile strömen und zu Kondensation auf der Kaltseite führen. Diese sog. Dampfkonvektion wird ausgelöst durch permanent oder saisonal auftretende anlagen- oder auftriebsbedingte Luftdruckdifferenzen zwischen dem Raum und der Außenluft. Deshalb sollten für Leichtbaukonstruktionen die Ansätze nach DIN 68800-2 bzw. Ziffer 5.2 in WTA Merkblatt 6-2-14/D(2014-12) [14] angewandt werden. Ohne Luftdichtheitsprüfung ist dafür ein Luftdurchlässigkeitskoeffizient von $1,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ $\{0,007 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})\}$ zu verwenden. Bei einem gemessenen q_{50} -Wert $\leq 3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ kann ein reduzierter Wert von $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ $\{0,004 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})\}$ angesetzt werden [10].

D.6.3 Feuchtequellen durch Schlagregenpenetration

Die Schlagregenpenetration von Außenbekleidungen auf Wänden kann zu erhöhten Wassergehalten in der Unterkonstruktion führen. Bei feuchteempfindlichen Unterkonstruktionen sollte daher untersucht werden, welche Auswirkungen die Deposition von Niederschlagswasser auf der Unterkonstruktion hat. Dazu ist 1 % des auf der Bauteiloberfläche auftreffenden Schlagregens als Feuchtequelle auf der Unterkonstruktion aufzubringen. Die Feuchtequelle muss in den außenseitigen 5 mm der feuchteempfindlichen Unterkonstruktion angewendet werden. Ist die entsprechende Materialschicht dünner, muss die Feuchtequelle auf die gesamte Materialschicht angewendet werden. Ist die erste Schicht der Unterkonstruktion eine Wind- und Bewitterungsschutzschicht, z. B. Folie/Unterspännbahn, ist keine Feuchtequelle anzusetzen. Führt diese

DIN 4108-3:2018-10

Feuchtemenge zu unzulässig hohen Wassergehalten sind alle Anschlussdetails so zu planen, dass eindringende Regenfeuchte wirksam abgeleitet werden kann.

D.7 Beurteilung der Simulationsergebnisse**D.7.1 Allgemeines**

Um die Feuchteschutzprüfung mittels hygrothermischer Simulation zu bestehen, dürfen weder im Jahresverlauf noch langfristig Feuchtezustände innerhalb der Konstruktion auftreten, welche deren Funktion beeinträchtigen oder sie schädigen können. Dafür werden zunächst die Feuchtebilanz des gesamten Bauteils und anschließend die Zustände innerhalb einzelner Materialschichten oder auch an einzelnen kritischen Positionen bewertet.

Für die Auswertung werden Ausgaben in stündlicher Auflösung verwendet/empfohlen. Für die Berechnung von physikalischen Größen an Oberflächen und Materialgrenzen sollten die Ergebnisse in einem Bereich von 1 mm gemittelt werden.

D.7.2 Eingeschwungener Zustand

Innerhalb der Konstruktion sollte sich binnen einiger Jahre ein dynamischer Gleichgewichtszustand einstellen. Die Berechnung erfolgt bei kontinuierlicher Verwendung eines sich jährlich wiederholenden Klimadatensatzes und der Gleichgewichtszustand gilt als erreicht, wenn sich der Wassergehalt des Bauteils am Ende eines Jahres jeweils um weniger als 1,0 % bezogen auf den Vorjahreswassergehalt verändert. Bei Konstruktionen mit stark wasserspeichernden Schichten (z. B. Gründächer, zweischaliges Mauerwerk mit Innendämmung) sind diese Schichten bei der Berechnung des Gesamtwassergehaltes nicht zu berücksichtigen.

Der Gleichgewichtszustand sollte im Regelfall spätestens nach 10 Jahren erreicht sein.

Für die Auswertung der nachfolgend aufgeführten Kriterien werden ausschließlich die Ergebnisse des letzten Simulationsjahres verwendet.

D.7.3 Bewertung der Feuchtezustände an den Oberflächen und innerhalb der Konstruktion

Stellt sich ein dynamischer Gleichgewichtszustand ein, sind anschließend die hygrothermischen Verhältnisse in den einzelnen Materialschichten sowie an den Oberflächen und Materialgrenzen zu betrachten. Zur Beurteilung der Wassergehalte in den einzelnen Schichten ist ein Vergleich mit den kritischen Feuchtezuständen für die einzelnen Baustoffe durchzuführen. Für die Beurteilung werden die jeweils höchsten Wassergehalte der einzelnen Schichten verwendet, welche jedoch nicht zeitgleich auftreten müssen.

D.7.4 Vermeidung von Holzzerstörung

Es sind DIN 68800-1 und DIN 68800-2 zu beachten.

Die Holzfeuchte darf 20 % (angegeben als Massenanteil) nicht übersteigen. In der Anfangsphase (im ersten Jahr nach Einbau) ist eine Überschreitung maximal über einen Zeitraum von drei Monaten zulässig. Alternativ kann eine detaillierte Beurteilung erfolgen (siehe z. B. WTA Merkblatt 6-8 [18]). Zur Auswertung müssen die kritischen 10 mm der betroffenen Materialschicht im Tagesmittel untersucht werden.

Die Holzwerkstofffeuchte hat je nach Feuchtebeständigkeitsbereichen nach DIN EN 13986 unterschiedliche Grenzwerte. Eine vorübergehende Auffeuchtung kann toleriert werden, sofern diese innerhalb von 3 Monaten rücktrocknen kann und die Anforderungen der Gebrauchstauglichkeit erfüllt werden, siehe DIN 68800-2. Zur Auswertung muss die gesamte betroffene Materialschicht untersucht werden (siehe z. B. WTA Merkblatt 6-8 [18]).

Zulässige Holzfeuchtwerte sind DIN 68800-2:2012-02, Tabelle 2 zu entnehmen.

D.7.5 Vermeidung von Frostschäden

Sind für die eingesetzten Materialien die kritischen Grenzwerte zur Vermeidung von Frostschäden bekannt, sind diese anzusetzen. Anderenfalls sollten die Wassergehalte von Materialschichten, in denen Frost auftreten kann, einen Sättigungsgrad von 30 % (Sättigungsgrad = Quotient aus Masse des Wassers in einem porösen Körper und der maximal möglichen Masse des Wassers (Sättigung)) nicht überschreiten. Höhere Sättigungsgrade sind zulässig, sofern die Ausgleichsfeuchtegehalte bei 95 % nicht überschritten werden (siehe z. B. WTA Merkblatt 6-5 [17]). Die Überschreitung der kritischen Grenzfeuchte kann zur Eisbildung führen, wenn gleichzeitig die Temperatur von -5 °C erreicht oder unterschritten wird. Zur Auswertung müssen die kritischen 10 mm der betroffenen Materialschicht untersucht werden. Bei Materialschichten, die insgesamt dünner als 10 mm sind, wird die komplette Schicht bewertet.

Bei geprüft frostbeständigen Materialien sind keine Grenzwerte einzuhalten.

D.8 Wahl geeigneter Simulationsverfahren

Um verlässliche Ergebnisse zu erhalten, muss das verwendete Simulationsmodell in der Lage sein, die relevanten Prozesse des Wärme- und Feuchtetransports ausreichend genau wiedergeben zu können.

Die Eignung einer Simulationssoftware wird durch das Nachrechnen von Prüffällen (Benchmarks) nachgewiesen, welche vom Anwender der Software herstellerunabhängig durchführbar sein müssen. Mit der Software müssen mindestens die Prüffälle nach DIN EN 15026 nachvollzogen werden können.

D.9 Fehlerkontrolle

Numerische Berechnungsverfahren basieren auf Näherungslösungen, deren Qualität von den gewählten numerischen Methoden und der Softwareumsetzung abhängt. Sowohl das Berechnungsgitter als auch die zeitliche Auflösung haben Einfluss auf die Ergebnisgenauigkeit. Daher sollten beide Einflussarten unabhängig geprüft werden (siehe z. B. WTA Merkblatt 6-2-14/D [14]).

D.10 Dokumentation

Die Regelungen zur Dokumentation von Berechnungsverfahren in DIN EN 15026:2007-07, 6.3 finden Anwendung.

DIN 4108-3:2018-10**Literaturhinweise**

- [1] DIN 18550-1, *Planung, Zubereitung und Ausführung von Außen- und Innenputzen — Teil 1: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 13914-1:2016-09 für Außenputze*
- [2] CAMMERER J. S.: *Bezeichnungen und Berechnungsverfahren für Diffusionsvorgänge im Bauwesen. Kältetechnik 8 (1956), S. 339-343.*
- [3] CAMMERER W. F., DÜRHAMMER W.: *Die Berechnung der Dampfdiffusionsvorgänge im baulichen Wärme- und Kälteschutz und die dafür zweckmäßigsten Meß- und Rechnungsgrößen. Gesundheitsingenieur 71 (1950) Nr. 19/20, S. 310-313.*
- [4] DIN Fachbericht 4108-8, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden*
- [5] ZVDH Flachdachrichtlinie, Fachregel für Abdichtungen — Flachdachrichtlinie²⁾
- [6] GLASER H.: *Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik 11 (1959) Nr. 10, S. 345-349.*
- [7] GLASER H.: *Wärmeleitung und Feuchtigkeitsdurchgang durch Kühlraumisolierungen. Kältetechnik 10 (1958) Heft 3, S. 86-91.*
- [8] KRUS, M., KÜNZEL, H. M., KIERL, K.: *Feuchttransportvorgänge in Stein und Mauerwerk — Messung und Berechnung. Bauforschung für die Praxis, Band 25, IRB-Verlag Stuttgart 1996.*
- [9] KÜNZEL, H. M.: *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchttransportes in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.*
- [10] KÜNZEL, H.M., Zirkelbach, D. & Schafaczek, B.: Berücksichtigung der Wasserdampfkonvektion bei der Feuchteschutzbeurteilung von Holzkonstruktionen. *wksb 55 (2010), H. 63, S. 25-33*
- [11] ZVDH Wärmeschutz, *Merkblatt - Wärmeschutz bei Dach und Wand*²⁾
- [12] WTA Merkblatt 6-1-01/D, *Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen. Herausgeber: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., 2002.*³⁾
- [13] WTA Merkblatt 6-2-01/D, *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Herausgeber: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., 2002.*³⁾
- [14] WTA Merkblatt 6-2-14/D, *Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., Dezember 2014.*³⁾
- [15] WTA Merkblatt 6-3-05/D, *Rechnerische Prognose des Schimmelwachstumsrisikos. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, 2005.*³⁾

2) Nachgewiesen in der DITR Datenbank der DIN Software GmbH, zu beziehen durch: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Stolberger Straße 84, 50933 Köln.

3) Nachgewiesen in der DITR Datenbank der DIN Software GmbH, zu beziehen durch: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

- [16] WTA Merkblatt 6-4, *Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden*³⁾
- [17] WTA Merkblatt 6-5-14/D, *Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren*³⁾
- [18] WTA Merkblatt 6-8-16/D, *Feuchtetechnische Bewertung von Holzbauteilen — Vereinfachte Nachweise und Simulation*. Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., August 2016 ³⁾
- [19] Zirkelbach et al.: Klima- und Oberflächenübergangsbedingungen für die hygrothermische Bauteilsimulation. IBP-Bericht HTB-021/2016, <https://wufi.de/literatur/Zirkelbach,%20Schöner%20et%20al.%20Juli%202016%20-%20Energieoptimiertes%20Bauen%20Klima-%20und%20Oberflächenübergangsbedingungen.pdf>

