

DIN 4108-3**DIN**

ICS 91.120.10; 91.120.30

Mit DIN EN ISO 13788:2013-05
Ersatz für
DIN 4108-3:2001-07;
Ersatz für
DIN 4108-3
Berichtigung 1:2002-04

**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 and directions for design and construction

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

Gesamtumfang 77 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

DIN 4108-3:2014-11

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	9
3.1 Begriffe zur Wasserdampfdiffusion	9
3.2 Begriffe zur kapillaren Wasseraufnahme	9
3.3 Begriffe zur Wasserdampfkonzektion und Belüftung	10
4 Symbole, Einheiten und Indizes	11
4.1 Symbole und Einheiten	11
4.2 Indizes	12
5 Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen und von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen	12
5.1 Kritische Luftfeuchte an Bauteiloberflächen	12
5.1.1 Allgemeine Anforderungen, Berechnungs- und Ausführungshinweise	12
5.1.2 Anforderungen, Berechnungs- und Ausführungshinweise für Wärmebrücken	13
5.1.3 Hinweise für Fenster und Fenstertüren	13
5.2 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen	13
5.2.1 Anforderungen	13
5.2.2 Angaben zur Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse	14
5.2.3 Angaben zur Bewertung des Bauteils	14
5.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwasser-Nachweis erforderlich ist	15
5.3.1 Allgemeines	15
5.3.2 Außenwände und Bodenplatten	15
5.3.3 Dächer	16
6 Schlagregenschutz von Wänden	27
6.1 Allgemeines	27
6.2 Beanspruchungsgruppen	27
6.2.1 Allgemeines	27
6.2.2 Beanspruchungsgruppe I — geringe Schlagregenbeanspruchung	27
6.2.3 Beanspruchungsgruppe II — mittlere Schlagregenbeanspruchung	27
6.2.4 Beanspruchungsgruppe III — starke Schlagregenbeanspruchung	27
6.3 Putze und Beschichtungen	29
6.4 Beispiele und Hinweise zur Erfüllung des Schlagregenschutzes	29
6.4.1 Außenwände	29
6.4.2 Fugen und Anschlüsse	30
6.4.3 Fenster, Außentüren, Vorhangfassaden	32
7 Hinweise zur Luftdichtheit	32
Anhang A (normativ) Berechnungsverfahren zur Vermeidung kritischer Luftfeuchten an Bauteiloberflächen und zur Bestimmung von Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen	33
A.1 Kritische Luftfeuchte an Bauteiloberflächen	33
A.1.1 Berechnung für ebene, thermisch homogene Bauteile	36
A.1.2 Berechnung im Bereich von Wärmebrücken	36
A.2 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen	37
A.2.1 Allgemeine Angaben zur Berechnung	37
A.2.2 Randbedingungen	37
A.2.3 Hinweise zu Stoffeigenschaften	38
A.2.4 Vorgehensweise	39

A.2.5	Tauwasserbildung und Berechnung der Tauwassermasse.....	40
A.2.6	Verdunstung und Berechnung der Verdunstungsmasse	43
Anhang B (informativ) Berechnungsbeispiele		48
B.1	Allgemeines	48
B.2	Beispiel 1: Leichte Außenwand mit hinterlüfteter Vorsatzschale	48
B.2.1	Allgemeines	48
B.2.2	Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten.....	49
B.2.3	Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt	50
B.2.4	Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode	51
B.2.5	Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen.....	52
B.2.6	Bewertung	52
B.3	Beispiel 2: Nicht belüftetes Flachdach mit Dachabdichtung.....	53
B.3.1	Allgemeines	53
B.3.2	Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten.....	54
B.3.3	Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt	55
B.3.4	Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode	56
B.3.5	Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen.....	57
B.3.6	Bewertung	57
B.4	Beispiel 3: Außenwand mit WDVS und nachträglicher Innendämmung	58
B.4.1	Allgemeines	58
B.4.2	Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten.....	59
B.4.3	Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt	60
B.4.4	Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode	61
B.4.5	Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen.....	62
B.4.6	Bewertung	63
Anhang C (informativ) Grundlagen für wärme- und feuchteschutztechnische Berechnungen.....		64
C.1	Wärmeschutztechnische Größen und Temperaturverteilung.....	64
C.1.1	Allgemeines	64
C.1.2	Wärmedurchlasswiderstand	64
C.1.3	Wärmedurchgangswiderstand.....	64
C.1.4	Wärmedurchgangskoeffizient	64
C.1.5	Wärmestromdichte	64
C.1.6	Temperaturverteilung.....	64
C.2	Feuchteschutztechnische Größen und Dampfdruckverteilungen	66
C.2.1	Allgemeines	66
C.2.2	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	66
C.2.3	Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand	66
C.2.4	Wasserdampf-Diffusionsstromdichte	67
C.2.5	Dampfdruckverteilungen	68
C.3	Wasserdampfteildruck und Luftfeuchte.....	71
C.4	Sättigungsdampfdruck und Taupunkttemperatur	71
Anhang D (informativ) Genauere Berechnungsverfahren		76
Literaturhinweise.....		77

DIN 4108-3:2014-11

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. Das 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 4108-3:2001-07 und DIN 4108-3 Berichtigung 1:2002-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich klarer abgegrenzt;
- b) Hinweise zu Anforderungen an die kritische Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche aufgenommen;
- c) Kellerwände aus einschaligem, wärmedämmenden Mauerwerk sowie Bodenplatten unter bestimmten Bedingungen in die Liste der Bauteile aufgenommen, für die kein rechnerischer Tauwasser-Nachweis erforderlich ist;
- d) Außenwände in Holzbauart aufgenommen, für die kein rechnerischer Nachweis erforderlich ist;
- e) Dachkonstruktionen aufgenommen, für die kein rechnerischer Nachweis erforderlich ist;
- f) Anhang A „Berechnungsverfahren“ komplett überarbeitet;
- g) Anhang B „Berechnungsbeispiele“ aktualisiert;
- h) Hinweis auf Wärme- und feuchteschutztechnische Simulationen in einem neuen Anhang D aufgenommen.

Frühere Ausgaben

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

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

DIN 4108-5: 1981-08

DIN 4108-3 Berichtigung 1: 2002-04

DIN 4108-3:2014-11**1 Anwendungsbereich**

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

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

Diese Norm gilt für nicht klimatisierte Wohn- oder wohnähnlich genutzte Räume.

Das hier zugrunde liegende stationäre Verfahren zur Berechnung von Diffusionsvorgängen nach Glaser ist nicht anwendbar bei klimatisierten Wohn- oder wohnähnlich genutzten Räumen und erdberührten Bauteilen, begrünten Dachkonstruktionen sowie zur Berechnung des natürlichen Austrocknungsverhaltens, wie z. B. im Fall der Abgabe von Rohbaufeuchte oder der Aufnahme von Niederschlagswasser. Ferner ist es nicht anwendbar für eine nachträgliche Innendämmung mit $R > 1,0 \text{ m}^2\text{-KW}$ auf einschaligen Außenwänden mit ausgeprägten sorptiven und kapillaren Eigenschaften. Es ist weiterhin nicht anwendbar für Konstruktionen, die an klimatisierte oder deutlich anders beaufschlagte Räume angrenzen, z. B. Schwimmbäder. Für die oben genannten Fälle wird auf Anhang D verwiesen.

Soll ein anderes Verfahren als das "Glaser"-Verfahren zum Einsatz kommen, wird auf Anhang D verwiesen.

Das "Glaser"-Verfahren 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.

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

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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 1045-1, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 1: Bemessung und Konstruktion*

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

DIN 1053-1, *Mauerwerk — Teil 1: Berechnung und Ausführung*

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 4223-1, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton — Teil 1: Herstellung, Eigenschaften, Übereinstimmungsnachweis*

- DIN 4223-2, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton — Teil 2: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung; Entwurf und Bemessung*
- DIN 4223-3, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton — Teil 3: Wände aus Bauteilen mit statisch nicht anrechenbarer Bewehrung; Entwurf und Bemessung*
- DIN 4223-4, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton — Teil 4: Bauteile mit statisch anrechenbarer Bewehrung; Anwendung in Bauwerken*
- DIN 4223-5, *Vorgefertigte bewehrte Bauteile aus dampfgehärtetem Porenbeton — Teil 5: Sicherheitskonzept*
- DIN 18515-1, *Außenwandbekleidungen — Teil 1: Angemörtelte Fliesen oder Platten; Grundsätze für Planung und Ausführung*
- DIN 18195-4, *Bauwerksabdichtungen — Teil 4: Abdichtungen gegen Bodenfeuchte (Kapillarwasser, Haftwasser) und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Bemessung und Ausführung*
- DIN 18195-5, *Bauwerksabdichtungen — Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen, Bemessung und Ausführung*
- DIN 18195-6, *Bauwerksabdichtungen — Teil 6: Abdichtungen gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser, Bemessung und Ausführung*
- DIN 18515-2, *Außenwandbekleidungen — Teil 2: Anmauerung auf Aufstandsflächen; Grundsätze für Planung und Ausführung*
- 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 68800-2:2012-02, *Holzschutz — Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau*
- DIN EN 206-1, *Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*
- DIN EN 992, *Bestimmung der Trockenrohddichte von haufwerksporigem Leichtbeton*
- DIN EN 1520, *Vorgefertigte Bauteile aus haufwerksporigem Leichtbeton und mit statisch anrechenbarer oder nicht anrechenbarer Bewehrung*
- DIN EN 12154, *Vorhangfassaden — Schlagregendichtheit — Leistungsanforderungen und Klassifizierung*
- DIN EN 12208, *Fenster und Türen — Schlagregendichtheit — Klassifizierung*
- DIN EN 13162, *Wärmedämmstoffe für Gebäude — Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) — 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 4108-3:2014-11

DIN EN 13984, *Abdichtungsbahnen — Kunststoff- und Elastomer-Dampfsperrbahnen — Definitionen und Eigenschaften*

DIN EN 15026, *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen — Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation*

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

DIN EN ISO 7345, *Wärmeschutz — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 9229, *Wärmedämmung — Begriffe; Dreisprachige Fassung*

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

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 12572, *Wärme- und feuchteschutztechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten — Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit*

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 1053-1, DIN 18516-1, 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 Dampfteildruckunterschieden

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

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

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

diffusionshemmende Schicht

Bauteilschicht mit $0,5$ m $< s_d < 1$ 500 m

3.1.6

diffusionsdichte Schicht

Bauteilschicht mit $s_d \geq 1$ 500 m

3.1.7

diffusionshemmende Schicht mit variablem s_d -Wert

nach DIN EN 13984 genormte oder zugelassene Bauteilschicht, die ihren s_d -Wert in Abhängigkeit von der umgebenden Luftfeuchte von diffusionshemmend nach diffusionsoffen verändert

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

DIN 4108-3:2014-11

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 in einem strömenden Gasgemisch, z. B. feuchte Luft, aufgrund eines Gesamtdruckgefälles

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]

4 Symbole, Einheiten und Indizes

4.1 Symbole und Einheiten

Tabelle 1 — Zeichen, Größen und Einheiten

Symbol	Größe	Einheit
G	Feuchteproduktion im Raum	kg/h
M_c	Flächenbezogene Tauwassermasse	kg/m ²
M_{ev}	Flächenbezogene Verdunstungsmasse	kg/m ²
u	Massebezogener Feuchtegehalt	kg/kg
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 Dampfteildruck	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	Wasserdampfteildruck	Pa
q	Wärmestromdichte	W/m ²
s_d	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	m
t	Zeit	s bzw. h
w	Volumenbezogener Feuchtegehalt	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 Wasserdampfteildruckes gegenüber außen	Pa
ϕ	Relative Luftfeuchte	–

DIN 4108-3:2014-11**Tabelle 1 (fortgesetzt)**

Symbol	Größe	Einheit
λ	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
μ	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	–
θ	Celsius-Temperatur	°C

4.2 Indizes**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
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 (r. F.) an Oberflächen gelten:

- a) für Tauwasserbildung: $\phi_{si,cr} = 1$ (entspricht 100 % r. F.);
- b) für Schimmelpilzbildung: $\phi_{si,cr} = 0,8$ (entspricht 80 % r. F.);
- c) für Baustoffkorrosion: $\phi_{si,cr}$ je nach Material.

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

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

$\theta_{\text{si,min}}$ 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 Klimarandbedingungen 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

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 stationäre Verfahren und können nicht auf Modelle, die das reale Temperatur- und Feuchteverhalten von Bauteilen abbilden (siehe Anhang D), übertragen werden.

5.2.1 Anforderungen

Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen, die durch Erhöhung der Stoff-Feuchte 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 dem 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. $M_c \leq M_{ev}$;

DIN 4108-3:2014-11

- 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. Festlegungen für Holzbauteile siehe DIN 68800-2;

ANMERKUNG Kapillar nicht wasseraufnahmefähige Schichten sind z. B. Metalle, Folien und Normalbeton nach DIN 1045-2, die überwiegende Zahl der Dämmstoffe aus Schaumkunststoffen oder Mineralwolle oder Stoffe mit $W_w < 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$.

- 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.

5.2.2 Angaben zur Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse

Die Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmasse infolge von Diffusionsvorgängen ist nach Anhang A durchzuführen, sofern das Bauteil nicht die Bedingungen nach 5.3 erfüllt. 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 5.2.1 maßgebend.

5.2.3 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 5.2.1 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 5.2.1 eingehalten werden.

- d) Bei Tauwasserausfall in mehr als einem Bereich ist analog 5.2.3 b) zu verfahren.

Für die Bewertung der Ergebnisse gilt:

- tritt kein Tauwasser auf oder werden die Anforderungen nach 5.2.1 erfüllt, ist das Bauteil diffusionstechnisch zulässig;
- tritt Tauwasser auf und werden die Anforderungen nach 5.2.1 auch teilweise nicht erfüllt, ist das Bauteil diffusionstechnisch nicht zulässig.

5.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwasser-Nachweis 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 Verfahren 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 Ein- und zweischaliges Mauerwerk nach DIN 1053-1

Ein- und zweischaliges Mauerwerk nach DIN 1053-1, Wände aus Normalbeton nach DIN EN 206-1 bzw. DIN 1045-2, Wände aus gefügedichtem Leichtbeton nach DIN 1045-2, DIN EN 206-1 und DIN 1045-1, Wände aus haufwerksporigem Leichtbeton nach DIN 4213, DIN EN 992 und DIN EN 1520, jeweils mit Innenputz und folgenden Außenschichten:

- wasserabweisender Außenputz nach Tabelle 4;
- angemörtelte oder angemauerte Bekleidungen nach DIN 18515-1 und DIN 18515-2, bei einem Fuganteil von mindestens 5 %;
- hinterlüftete Außenwandbekleidungen nach DIN 18516-1 mit und ohne Wärmedämmung;
- einseitig belüftete Außenwandbekleidungen mit einer Lüftungsöffnung von 100 cm²/m;
- kleinformatische luftdurchlässige Außenwandbekleidungen mit und ohne Belüftung;
- Außendämmungen nach DIN 4108-10 oder wasserabweisender Wärmedämmputz nach Tabelle 4 bzw. nach bauaufsichtlicher Zulassung oder durch ein nach DIN EN 13499 oder DIN EN 13500 genormtes bzw. bauaufsichtlich zugelassenes Wärmedämmverbundsystem.

5.3.2.2 Wände mit Innendämmung

Wände ohne Schlagregenbeanspruchung, wie unter 5.3.2.1, mit einem Wärmedurchlasswiderstand der Innendämmung von $R \leq 0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht von $0,5 < R \leq 1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ 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;

DIN 4108-3:2014-11

- b) raumseitig bekleidete oder beplankte Wände in Holzbauart mit raumseitiger diffusionshemmender Schicht $s_{d,i} \geq 2,0$ m und mit Wärmedämmverbundsystemen aus mineralischem Faserdämmstoff nach DIN EN 13162 oder Holzfaserdämmplatten nach DIN EN 13171 und einem wasserabweisenden Putzsystem mit $s_d \leq 0,7$ m;
- c) beidseitig bekleidete oder beplankte Wände in Holzbauart mit raumseitiger diffusionshemmender Schicht $s_{d,i} \geq 2,0$ m sowie mit einer äußeren Beplankung $s_d \leq 0,3$ m in Verbindung mit einem Wärmedämmverbundsystem aus mineralischem Faserdämmstoff nach DIN EN 13162 oder Holzfaserdämmplatten nach DIN EN 13171 sowie einem wasserabweisenden Putzsystem mit $s_d \leq 0,7$ m;
- d) beidseitig bekleidete oder beplankte Elemente mit Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol oder Mauerwerk-Vorsatzschalen nach DIN 68800-2:2012-02 Anhang A;
- e) Massivholzbauart mit vorgehängten Außenwandbekleidungen oder Wärmedämmverbundsystemen nach DIN 68800-2:2012-02 Anhang A.

5.3.2.4 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) mit einem Wärmedurchlasswiderstand $R \leq 0,5 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht von $0,5 < R \leq 1,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ 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 zugelassenes bzw. genormtes Wärmedämmverbundsystem 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 Abdichtungen nach DIN 18195, Teile 4 bis 6, aus

einschaligem Mauerwerk oder Beton, jeweils mit Perimeterdämmung nach DIN 4108-10 oder Zulassung;

5.3.2.6 Bodenplatten mit Perimeterdämmung und Abdichtungen nach DIN 18195-4,

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**

Folgende Dach-Konstruktionen werden grundsätzlich unterschieden:

- a) nicht belüftete Dächer: Bei nicht belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung keine Luftschicht angeordnet. Zu nicht belüfteten Dächern gehören auch solche, die außenseitig im weiteren Dachaufbau zusätzlich belüftete Luftschichten haben;
- b) belüftete Dächer: Bei belüfteten Dächern ist direkt über der Wärmedämmung eine belüftete Luftschicht angeordnet.

Bezüglich Deckungen bzw. Abdichtungen gelten folgende Kennzeichnungen:

a) Dachdeckungen:

Dachdeckungen müssen regensicher sein. Kennzeichnend dafür sind die sich überlappenden Deckwerkstoffe, z. B. Dachziegel, Dachsteine, Schiefer, Metallbleche und die Einhaltung der Regeldachneigung.

Es werden unterschieden:

- 1) belüftete Dachdeckungen: Dachdeckungen auf linienförmiger Unterlage, z. B. Lattung und Konterlattung;
- 2) nicht belüftete Dachdeckungen: Dachdeckungen auf flächiger Unterlage, z. B. Schalung.

Bei Dächern mit Wärmedämmung zwischen, unter und/oder über den Sparren müssen in der Regel zusätzliche regensichernde Maßnahmen, z. B. Unterdächer, Unterdeckungen, Unterspannungen, geplant und ausgeführt werden (siehe 5.3.3.2 a).

Anforderungen an die zusätzliche belüftete Luftschicht und die belüftete Dachdeckung siehe 5.3.3.3.

b) Dachabdichtungen:

Dachabdichtungen müssen wasserdicht sein. Kennzeichnend für Dachabdichtungen sind die wasserdicht verbundenen Dachabdichtungswerkstoffe, z. B. Bitumenbahnen, Kunststoffbahnen, Elastomerbahnen, Flüssigdachabdichtungen. Dachabdichtungen müssen bis zur Oberkante der An- und Abschlüsse wasserdicht sein. Dies erfordert auch wasserdichte Anschlüsse an Dachdurchdringungen sowie die Einhaltung bestimmter Anschlusshöhen (siehe [11]).

ANMERKUNG 1 Die Ausführung von belüfteten und nicht belüfteten Dächern ist in [3] geregelt.

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.

DIN 4108-3:2014-11**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).

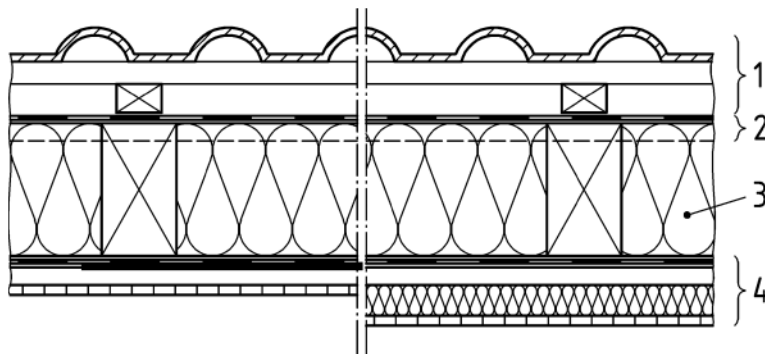
Folgende nicht belüftete Dächer bedürfen keines rechnerischen Nachweises:

a) nicht belüftete Dächer mit Dachdeckungen:

1) nicht belüftete Dächer

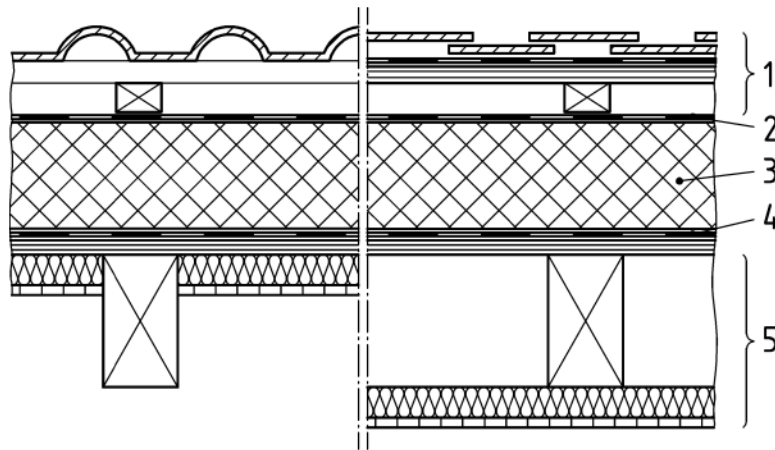
- mit belüfteter Dachdeckung,
- oder mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht unter nicht belüfteter Dachdeckung,
- und einer nicht diffusionsdichten Wärmedämmung,
- und zusätzlicher regensichernder Schicht bei einer Zuordnung der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken $s_{d,i}$ nach Tabelle 3.

In den Bildern 1 – 3 sind Dachaufbauten nach Tabelle 3 beispielhaft dargestellt. Die Lage der Schichten $s_{d,i}$ und $s_{d,e}$ ist gekennzeichnet.

**Legende**

- 1 belüftete Dachdeckung
Konterlattung/Belüftungsebene
- 2 $s_{d,e}$ regensichernde Zusatzmaßnahme, ggf. auf Schalung
- 3 Sparren/Zwischensparrendämmung
- 4 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht
Bekleidung, ggf. auf Unterkonstruktion mit/ohne Dämmung

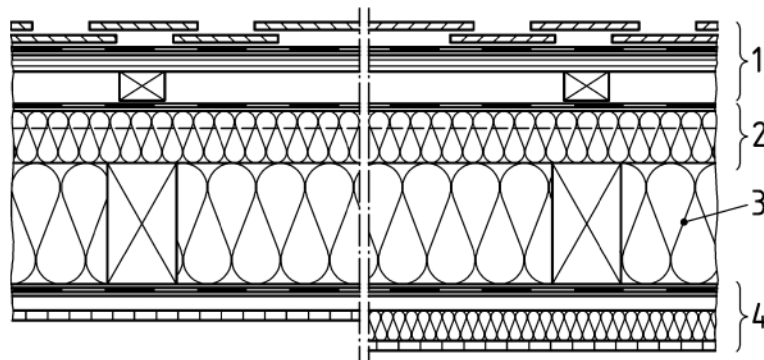
Bild 1 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit belüfteter Dachdeckung, Zwischensparrendämmung, ggf. in Kombination mit geringfügiger Untersparrendämmung



Legende

- 1 belüftete Dachdeckung/nicht belüftete Dachdeckung
Konterlattung/zusätzliche belüftete Luftschicht
- 2 $s_{d,e}$ regensichernde Zusatzmaßnahme
- 3 Aufsparrendämmung
- 4 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht, ggf. auf Schalung
- 5 Sparren, ggf. mit Zwischen-/Untersparrendämmung und Bekleidung

Bild 2 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit belüfteter Dachdeckung bzw. nicht belüfteter Dachdeckung und zusätzlicher belüfteter Luftschicht, nicht diffusionsdichte Aufsparrendämmung und ggf. geringfügige Zwischen- oder Untersparrendämmung



Legende

- 1 nicht belüftete Dachdeckung
zusätzliche belüftete Luftschicht
- 2 $s_{d,e}$ regensichernde Zusatzmaßnahme, Aufsparrendämmung*, ggf. auf Schalung
- 3 Sparren/Zwischensparrendämmung
- 4 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht/Bekleidung, ggf. auf Unterkonstruktion mit/ohne Dämmung

*Aufsparrendämmung mit $s_d > 0,5$ m wird zum $s_{d,e}$ -Wert hinzugerechnet

Bild 3 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit nicht belüfteter Dachdeckung und zusätzlicher belüfteter Luftschicht, Zwischensparrendämmung in Kombination mit Aufsparrendämmung und ggf. Untersparrendämmung

DIN 4108-3:2014-11

Tabelle 3 — Zuordnung für Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der außen- und raumseitig zur Wärmedämmschicht liegenden Schichten

Zeile	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke in Metern	
	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	$0,3 < s_{d,e} \leq 2,0$	$\geq 6 \cdot s_{d,e}$
4	$> 2,0^c$	$\geq 6 \cdot s_{d,e}^c$

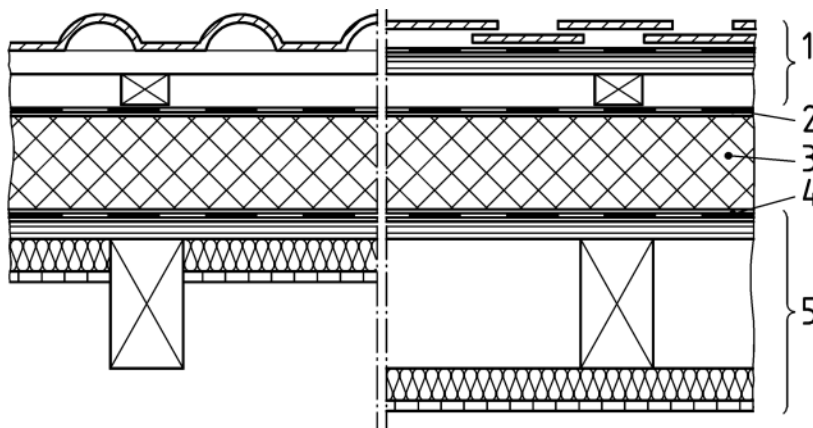
^a $s_{d,e}$ ist die Summe der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten, die sich oberhalb der Wärmedämmschicht befinden bis zur ersten belüfteten Luftschicht.

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

^c Gilt nur für den Fall, dass sich weder Holz noch Holzwerkstoffe zwischen $s_{d,e}$ und $s_{d,i}$ befinden.

2) nicht belüftete Dächer wie in Bild 4

- mit belüfteter Dachdeckung,
- oder mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht unter nicht belüfteter Dachdeckung,
- und einer diffusionsdichten Wärmedämmschicht auf den Sparren,
- und zusätzlicher, diffusionshemmender regensichernder Schicht,
- und einer diffusionshemmenden Schicht $s_{d,i} \geq 10$ m unter der Wärmedämmung bei $s_{d,e} \leq 0,5$ m, andernfalls mit einer diffusionshemmenden Schicht $s_{d,i} \geq 100$ m. Dies gilt nur für den Fall, dass sich weder Holz noch Holzwerkstoffe zwischen $s_{d,e}$ und $s_{d,i}$ befinden.



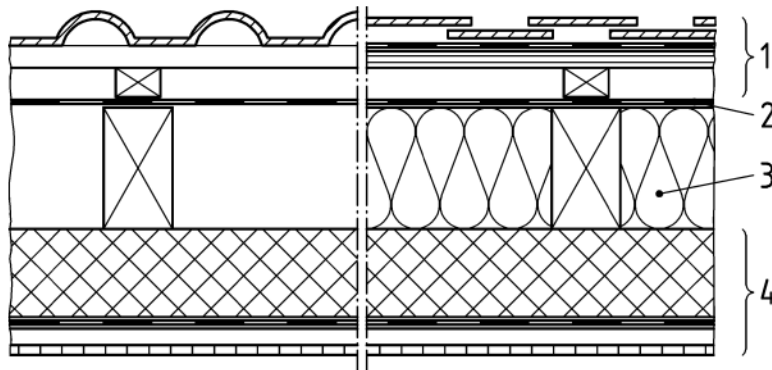
Legende

- 1 belüftete Dachdeckung/nicht belüftete Dachdeckung
Konterlattung/zusätzliche belüftete Luftschicht
- 2 $s_{d,e}$ regensichernde Zusatzmaßnahme
- 3 Aufsparrendämmung diffusionsdicht
- 4 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht, ggf. auf Schalung
- 5 Sparren, ggf. mit Zwischen-/Untersparrendämmung und Bekleidung

Bild 4 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit belüfteter Dachdeckung bzw. nicht belüfteter Dachdeckung und zusätzlicher belüfteter Luftschicht, diffusionsdichte Aufsparrendämmung und ggf. geringfügige Zwischen- oder Untersparrendämmung

DIN 4108-3:2014-11**3) nicht belüftete Dächer wie in Bild 5**

- mit belüfteter Dachdeckung,
- oder mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht unter nicht belüfteter Dachdeckung,
- und einer diffusionsdichten Wärmedämmschicht unter den Sparren,
- und zusätzlicher, diffusionshemmender regensichernder Schicht,
- und einer diffusionshemmenden Schicht $s_{d,i} \geq 10$ m unter der Wärmedämmung bei $s_{d,e} \leq 0,5$ m.

**Legende**

- 1 belüftete Dachdeckung/nicht belüftete Dachdeckung
Konterlattung/zusätzliche belüftete Luftschicht
- 2 $s_{d,e}$ regensichernde Zusatzmaßnahme
- 3 Sparren, ggf. mit Zwischensparrendämmung
- 4 $s_{d,i}$ Untersparrendämmung, diffusionshemmende Schicht, Bekleidung, ggf. auf Unterkonstruktion

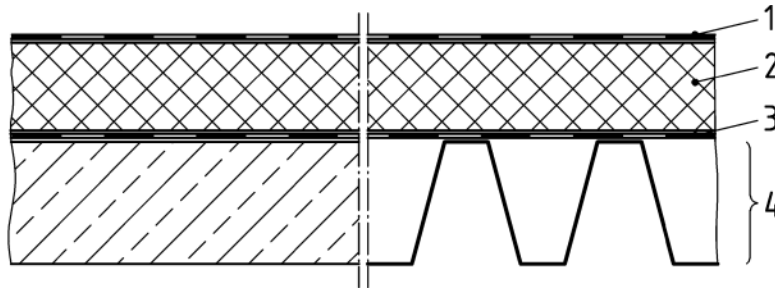
Bild 5 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit belüfteter Dachdeckung bzw. nicht belüfteter Dachdeckung und zusätzlicher belüfteter Luftschicht, Untersparrendämmung, ggf. in Kombination mit Zwischensparrendämmung

b) nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung:

1) nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung wie in Bildern 6 und 7

- und einer diffusionshemmenden Schicht mit $s_{d,i} \geq 100$ m unterhalb der Wärmedämmschicht, wenn sich weder Holz noch Holzwerkstoffe zwischen Dachabdichtung und $s_{d,i}$ befinden. Bei diffusionshemmenden Dämmstoffen mit s_d -Werten ≥ 100 m bzw. bei diffusionsdichten Dämmstoffen auf Massivdecken kann ggf. auf eine zusätzliche diffusionshemmende Schicht verzichtet werden.

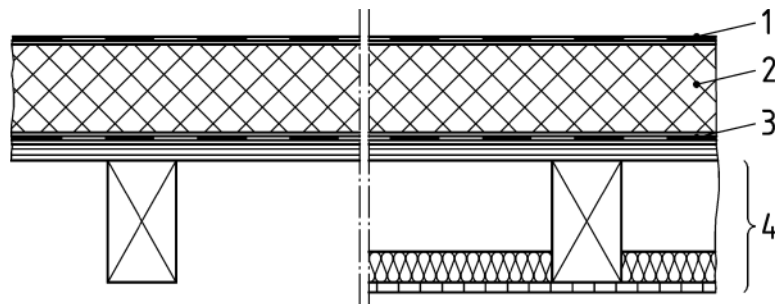
Für Dächer in Holzbauweise, bei denen sich Holz oder Holzwerkstoffe oberhalb einer diffusionshemmenden Schicht $s_{d,i} \geq 100$ m befinden, gilt dies nicht.



Legende

- 1 $s_{d,e}$ Dachabdichtung
- 2 Aufdachdämmung
- 3 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht
- 4 Massivdecke/Stahlkonstruktion

Bild 6 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit Dachabdichtung auf Massivdecke oder Stahlkonstruktion



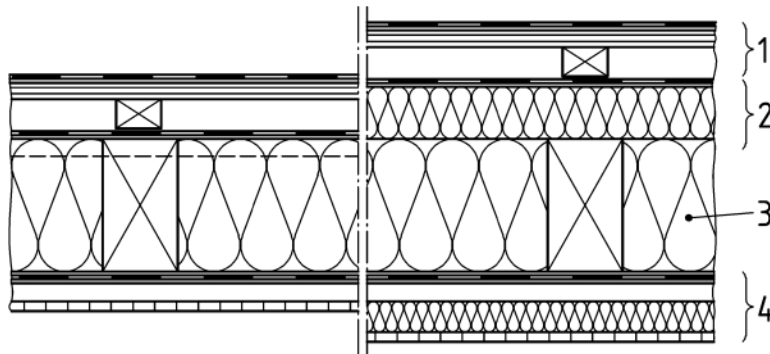
Legende

- 1 $s_{d,e}$ Dachabdichtung
- 2 Aufdachdämmung
- 3 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht, auf Schalung
- 4 Sparren/Dachbalken, ggf. mit Zwischen-/Untersparrendämmung und Bekleidung

Bild 7 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit Dachabdichtung, Aufsparrendämmung, ggf. in Kombination mit geringfügiger Zwischen- oder Untersparrendämmung

DIN 4108-3:2014-11

- nicht belüftete Dächer aus Porenbeton nach DIN 4223, Teile 1 bis 5, mit Dachabdichtung und ohne diffusionshemmende Schicht an der Unterseite und ohne zusätzliche Wärmedämmung,
- nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung und Wärmedämmung oberhalb der Dachabdichtung, so genannte „Umkehrdächer“ nach DIN 4108-2 und DIN 4108-10 bzw. nach Zulassung,
- nicht belüftete Dächer mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht unter Abdichtung, wie in Bild 8, bei einer Zuordnung der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken s_d nach Tabelle 3; Anforderungen an die zusätzliche belüftete Luftschicht siehe 5.3.3.3 a) bzw. 5.3.3.3 b).

**Legende**

- 1 Dachabdichtung auf Schalung
Konterlattung/Belüftungsebene
- 2 $s_{d,e}$ regensichernde Zusatzmaßnahme,
ggf. Aufsparrendämmung*
- 3 Sparren/Zwischensparrendämmung
- 4 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht
Bekleidung, ggf. auf Unterkonstruktion mit/ohne Dämmung

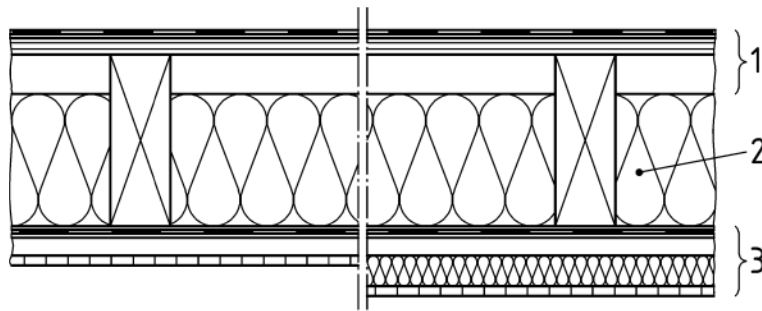
*Aufsparrendämmung mit $s_d > 0,5$ m wird zum $s_{d,e}$ -Wert hinzugerechnet

Bild 8 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit zusätzlicher belüfteter Luftschicht unter Abdichtung, Zwischensparrendämmung, ggf. in Kombination mit Auf- oder geringfügiger Untersparrendämmung

5.3.3.3 Belüftete Dächer

Folgende belüftete Dächer bedürfen keines rechnerischen Nachweises:

- a) belüftete Dächer wie in Bild 9 mit einer Dachneigung $< 5^\circ$ und einer diffusionshemmenden Schicht mit $s_{d,i} \geq 100$ m unterhalb der Wärmedämmschicht, wobei der Wärmedurchlasswiderstand der Bauteilschichten unterhalb der diffusionshemmenden oder diffusionsdichten Schicht höchstens 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes betragen darf. Die belüftete Luftschicht muss dabei folgende Bedingungen einhalten:
 - 1) maximale Länge des Lüftungsraumes von 10 m;
 - 2) die Höhe des freien Lüftungsquerschnittes innerhalb des Dachbereiches über der Wärmedämmschicht muss mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche betragen, mindestens jedoch 5 cm;
 - 3) die Mindestlüftungsquerschnitte an mindestens zwei gegenüberliegenden Dachrändern müssen jeweils mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche betragen, mindestens jedoch $200 \text{ cm}^2/\text{m}$.



Legende

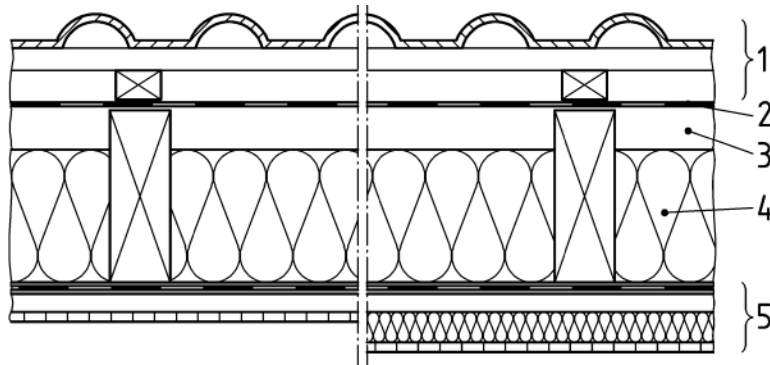
- 1 Dachabdichtung auf Schalung
Belüftungsebene
- 2 Sparren/Zwischensparrendämmung
- 3 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht
Bekleidung, ggf. auf Unterkonstruktion mit/ohne Dämmung

Bild 9 — Konstruktionsbeispiel: belüftete Dachkonstruktion mit Dachabdichtung, Zwischensparrendämmung, ggf. in Kombination mit geringfügiger Untersparrendämmung

DIN 4108-3:2014-11

b) belüftete Dächer wie in Bild 10 mit einer Dachneigung $\geq 5^\circ$ unter folgenden Bedingungen:

- 1) die Höhe des freien Lüftungsquerschnittes innerhalb des Dachbereiches über der Wärmedämmschicht muss mindestens 2 cm betragen. 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;
- 2) der freie Lüftungsquerschnitt an den Traufen bzw. an Traufe und Pultdachabschluss muss mindestens 2 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche betragen, mindestens jedoch 200 cm²/m;
- 3) an Firsten und Graten sind Mindestlüftungsquerschnitte von 0,5 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche erforderlich, mindestens jedoch 50 cm²/m;
- 4) der $s_{d,i}$ -Wert der unterhalb der Belüftungsschicht angeordneten Bauteilschichten muss insgesamt mindestens 2 m betragen.

**Legende**

- 1 Dachabdeckung, ggf. auf Konterlattung
- 2 regensichernde Zusatzmaßnahme
- 3 Belüftungsebene
- 4 Sparren/Zwischensparrendämmung
- 5 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht
Bekleidung, ggf. auf Unterkonstruktion mit/ohne Dämmung

Bild 10 — Konstruktionsbeispiel: belüftete Dachkonstruktion mit Dachdeckung, Zwischensparrendämmung, ggf. in Kombination mit geringfügiger Untersparrendämmung

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.

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.

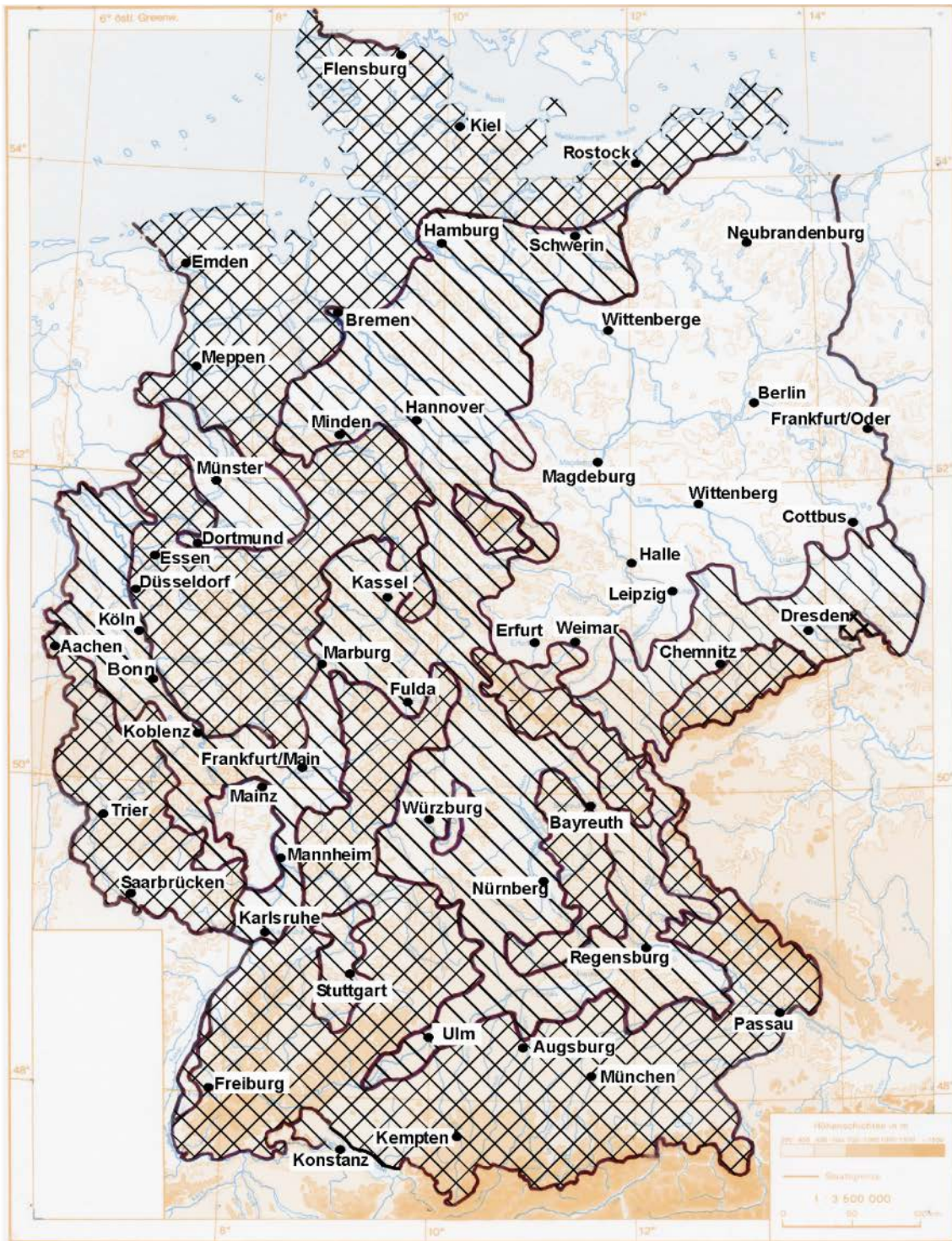
6.2.3 Beanspruchungsgruppe II — mittlere Schlagregenbeanspruchung

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.

DIN 4108-3:2014-11



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 wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d , zu bestimmen nach DIN EN ISO 12572, und durch das Produkt aus beiden Größen ($W_w \cdot s_d$) nach Tabelle 4 definiert.

Tabelle 4 — Kriterien für den Regenschutz von Putzen und Beschichtungen^a

Kriterien für den Regenschutz	Wasseraufnahmekoeffizient W_w kg/(m ² ·h ^{0,5})	Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d m	Produkt $W_w \cdot s_d$ kg/(m·h ^{0,5})
wasserabweisend	$W_w \leq 0,5$	$\leq 2,0$	$\leq 0,2$
ANMERKUNG Bei innengedämmten Wänden siehe auch [12] und [13].			
^a Siehe hierzu auch DIN 18550.			

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 5 angegeben. Andere Bauausführungen entsprechend gesicherten praktischen Erfahrungen sind ebenso zulässig.

DIN 4108-3:2014-11**Tabelle 5 — Beispiele für die Zuordnung von Wandbauarten und Beanspruchungsgruppen**

Zeile	Beanspruchungsgruppe I	Beanspruchungsgruppe II	Beanspruchungsgruppe III
	geringe Schlagregenbeanspruchung	mittlere Schlagregenbeanspruchung	starke Schlagregenbeanspruchung
1	Außenputz ohne besondere Anforderungen an den Schlagregenschutz auf	Wasserabweisender Außenputz nach Tabelle 4 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 durch ein Wärmedämmputzsystem oder durch ein bauaufsichtlich zugelassenes Wärmedämmverbundsystem		
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 6 angegeben.

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

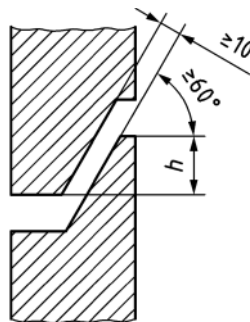
Bei Außenwandbekleidungen ist nach DIN 18515-1, DIN 18515-2, DIN 18516-1 und DIN 18516-3 zu verfahren.

Tabelle 6 — 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	Horizontal-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

ANMERKUNG Zum Bild 12 siehe auch DIN 18540.

Bild 12 — Schematische Darstellung offener, schwellenförmiger Fugen

DIN 4108-3:2014-11

6.4.3 Fenster, Außentüren, Vorhangfassaden

Die Schlagregendichtheit wird geregelt:

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

7 Hinweise zur Luftdichtheit

Wände und Dächer müssen luftdicht sein, um eine Durchströmung und Mitführung von Raumlufffeuchte, 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. Auch Querströmungen in Belüftungsschichten innerhalb einer Konstruktion zwischen unterschiedlich beheizten Räumen sind zu vermeiden, z. B. durch Abschottung. Zur Luftdichtheit von Bauteilen im Sinne dieser Norm wird auf DIN 4108-7 verwiesen.

Querströmungen in Belüftungsschichten innerhalb einer Konstruktion zwischen unterschiedlich beheizten Räumen oder unterschiedlich besonnten Flächen (z. B. Attikabereiche) sind zu vermeiden, da sie zu einer Umlagerung von Feuchte führen können.

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

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:

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

$$\text{mit } p_{\text{sat,si}} = \frac{\phi_i}{\phi_{\text{si,cr}}} p_{\text{sat,i}} = \frac{p_i}{\phi_{\text{si,cr}}}$$

Dabei ist

$\theta_{\text{si,min}}$	Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur, in °C;
$p_{\text{sat,si}}$	Sättigungsdampfdruck für den kritischen Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur, in Pa;
$p_{\text{sat,i}}$	Sättigungsdampfdruck für die Raumlufttemperatur, in Pa;
ϕ_i	relative Raumluftfeuchte, in %;
p_i	Wasserdampfdruck der Raumluft, in Pa;
$\phi_{\text{si,cr}}$	kritischer 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. vom Wasserdampfdruck der Raumluft und der kritischen relativen Luftfeuchte an der Oberfläche bestimmt werden.

DIN 4108-3:2014-11

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 % RF					
	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 4108-3:2014-11**A.1.1 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 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 $\phi_{si,cr} = 1$ bzw. $\phi_{si,cr} = 0,8$ 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

- $\theta_{si,min}$ Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur;
- $f_{Rsi,min}$ Bemessungs-Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche;
- R_{si}, R_{se} raumseitiger und außenseitiger 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 $\phi_{si,cr} = 1$; entspricht 100 % r. F.)
- $= 0,70$ zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung (mit $\phi_{si,cr} = 0,8$; entspricht 80 % r. F.)
- $= 0,88$ als Beispiel zur Vermeidung von materialspezifischen Korrosionsvorgängen (für das Beispiel mit $\phi_{si,cr} = 0,6$; entspricht 60 % r. F.)

A.1.2 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 $f_{R_{si,min}}$ je nach zu betrachtendem kritischen Fall, z. B. $f_{R_{si,min}} = 0,7$ 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 Monats-Bilanzverfahren 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 folgt die Umsetzung der DIN EN ISO 13788 durch das Perioden-Bilanzverfahren, das nachfolgend beschrieben wird.

Dieses Perioden-Bilanzverfahren 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 Fachwerk-Konstruktionen o. ä. sind die eindimensionalen Diffusionsberechnungen nur für den Gefachbereich nachzuweisen.

Ausnahmefälle sind Sonderkonstruktionen, bei denen z. B. die diffusionshemmende Schicht auch abschnittsweise über den Außenbereich verlegt wird. 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 Klima-Randbedingungen für die Verfahren sind die Klimawerte für das äquivalente Perioden-Bilanzverfahren in dieser Norm nach Tabelle A.3 in A.2.2 zu verwenden.

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

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

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

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

DIN 4108-3:2014-11

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

Klima	Temperatur	Relative Luftfeuchte	Wasserdampf- teildruck	Dauer		
	θ	ϕ	p	t		
	°C	%	Pa	d	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						
Wasserdampfteildruck Innenklima			1 200	90	2 160	$7\,776 \cdot 10^3$
Wasserdampfteildruck 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 Perioden-Bilanzverfahrens nicht die Temperaturen und Luftfeuchten, sondern nur die gerundeten Wasserdampfteildrücke als Klima-Randbedingung vorgegeben.						

A.2.3 Hinweise zu Stoffeigenschaften

Die in DIN 4108-4, DIN EN ISO 10456 und in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen 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 $s_d = 0$ 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 Monats-Bilanzverfahren nach DIN EN ISO 13788
- oder alternativ, im Regelfall bei Außenbauteilen normal genutzter, nicht klimatisierter Räume, nach dem nachfolgend beschriebenen Perioden-Bilanzverfahren

vorgegangen werden.

ANMERKUNG Bis zur nationalen Festlegung von Außenklima-Randbedingungen für das Monats-Bilanzverfahren nach DIN EN ISO 13788 sollte für den Nachweis das nachfolgend beschriebene Perioden-Bilanzverfahren 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 Beispielerrechnungen 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.

Im Vorfeld der Bewertung einer Tauwasserberechnung nach dem Perioden-Bilanzverfahren ist Folgendes zu berücksichtigen:

DIN 4108-3:2014-11

- 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 5.2.1 eingehalten werden.

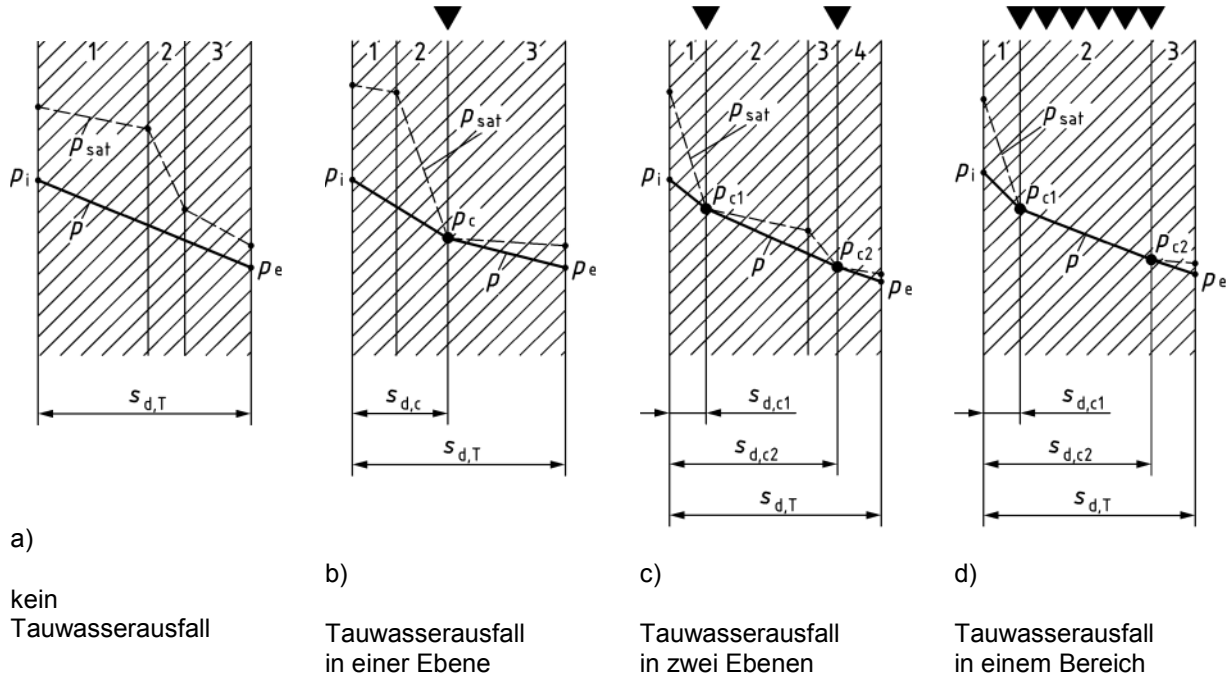
Für die Überprüfung, ob das in der Tauperiode ausgefallene Tauwasser in der anschließenden Verdunstungsperiode wieder vollständig abgegeben werden kann, ist die zur Berechnung der Tauwassermassen festgelegte Schichteinteilung des Bauteilquerschnittes im s_d -Maßstab mit den gleichen s_d -Werten sowie 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



Dabei ist

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} ist dem Diffusionsdiagramm zu entnehmen, die zugehörigen Druck- und s_d -Werte sollten zweckmäßigerweise in einem zugrunde gelegten tabellarischen Diffusionsschema für das zu untersuchende Bauteil vorab zusammengefasst werden (siehe Beispiele in Anhang B).

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

DIN 4108-3:2014-11**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.

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.

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

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

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 :

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

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

— Tauwasserebene c_2 :

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

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

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.

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

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

A.2.6 Verdunstung und Berechnung der Verdunstungsmasse

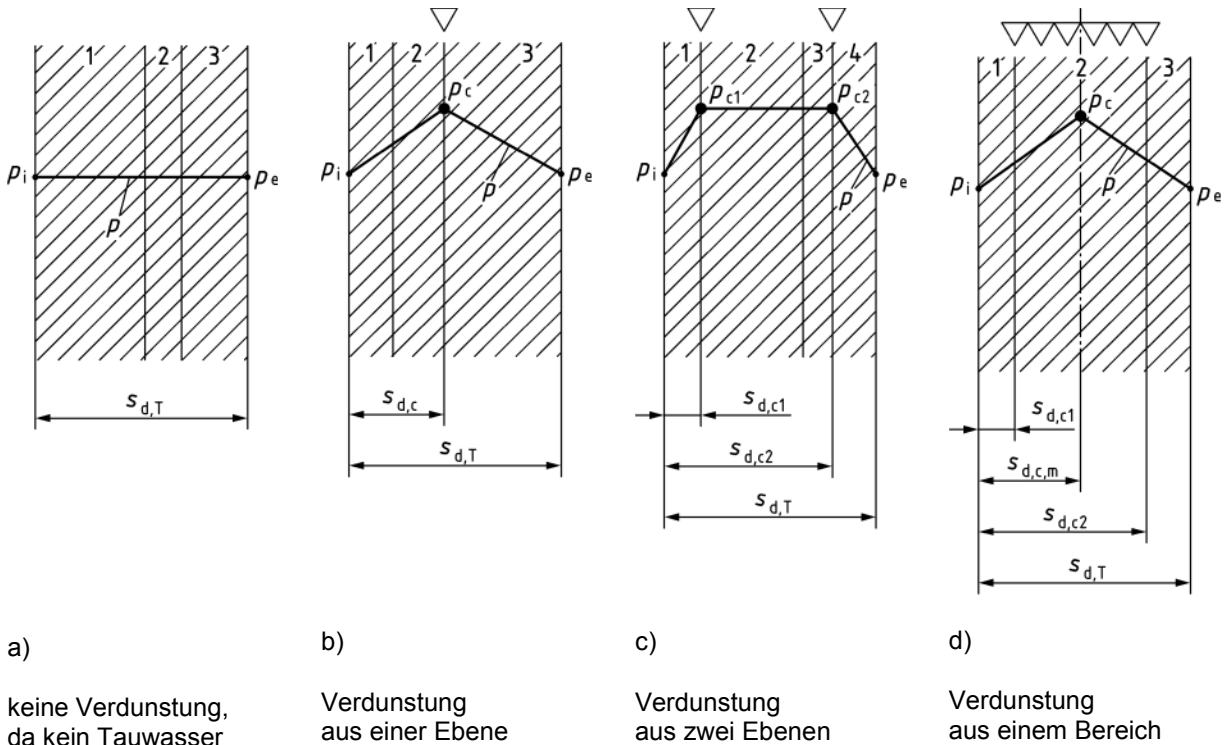
A.2.6.1 Allgemeines

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.

DIN 4108-3:2014-11

Verdunstungsperiode



Dabei ist

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 Beispiele in Anhang B).

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.

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

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

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).

DIN 4108-3:2014-11

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

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

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

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 $t_{ev1} < t_{ev2}$

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

$$M_{ev2} = g_{ev2} \times t_{ev1} + \left(\delta_0 \frac{p_{c2} - p_1}{s_{d,c2}} + g_{ev2} \right) \times (t_{ev} - t_{ev1}) \quad (A.22)$$

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

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

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

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

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

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

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

Anhang B (informativ)

Berechnungsbeispiele

B.1 Allgemeines

Nachfolgend wird anhand von Beispielen

- einer leichten Außenwand mit hinterlüfteter Vorsatzschale,
- eines nicht belüfteten Flachdaches mit Dachabdichtung,

ANMERKUNG Das nicht belüftete Flachdach mit Dachabdichtung wird an entsprechender Stelle vereinfachend auch mit dem Begriff „Flachdach“ bezeichnet.

- einer sanierten Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem 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.

B.2 Beispiel 1: Leichte Außenwand mit hinterlüfteter Vorsatzschale

B.2.1 Allgemeines

Die Überprüfung des Konstruktionsbeispiels auf diffusionstechnische Zulässigkeit, d. h. auf Tauwasserfreiheit bzw. zulässige Tauwassermassen und Verdunstung, wird nachfolgend anhand der schematisierten Bearbeitungsblöcke (B.2.2 bis B.2.5) gezeigt.

B.2.2 Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten

1. Konstruktion: Leichte Außenwand mit hinterlüfteter Vorsatzschale							
Querschnittsskizze							
				Legende 1 Spanplatte 19 mm 2 diffusionshemmende Schicht 0,05 mm 3 Mineralwolle 160 mm 4 Spanplatte 19 mm 5 Belüftete Luftschicht 30 mm 6 Vorgehängte Außenschale 6 mm bis 20 mm			
Belüftungsschicht und vorgehängte Schale bleiben für die Wärmedurchgangs- und Diffusionsberechnungen unberücksichtigt.							
2. Schichtaufbau und Schichteigenschaften							
Nr.	Schicht	d m	μ -	s_d m	$\Sigma s_d/s_{d,T}$ -	λ W/mK	R m ² K/W
	Innerer Wärmeübergangswiderstand R_{si}	-	-	-	-	-	0,25
1	Spanplatte	0,019	50	0,95	0,190	0,127	0,150
2	diffusionshemmende Schicht	0,000 05	40 000	2,00	0,589	-	-
3	Mineralwolle	0,160	1	0,16	0,621	0,040	4,000
4	Spanplatte	0,019	100	1,90	1,000	0,127	0,150
	Äußerer Wärmeübergangswiderstand R_{se}	-	-	-	-	-	0,04
	Summenwerte:	$d_T =$		$s_{d,T} =$		$R_T =$	
		0,198 1		5,01			4,589
3. Bauteilkenngrößen							
Gesamtdicke des Bauteils		$d_T =$	0,198 1 m				
Gesamt- s_d -Wert des Bauteils		$s_{d,T} =$	5,01 m				
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T =$	4,589 m ² K/W				
Wärmedurchgangskoeffizient		$U = 1/R_T =$	0,22 W/(m ² K)				

DIN 4108-3:2014-11

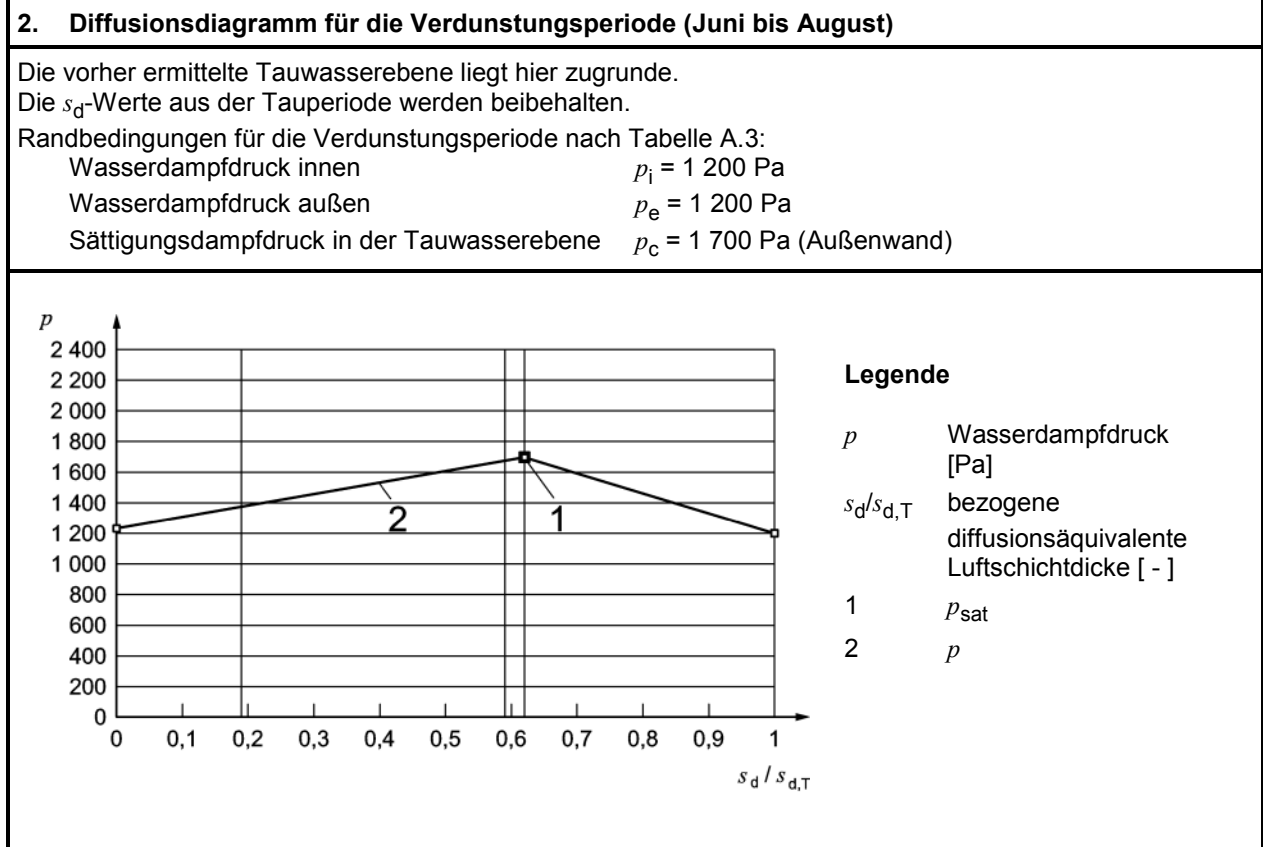
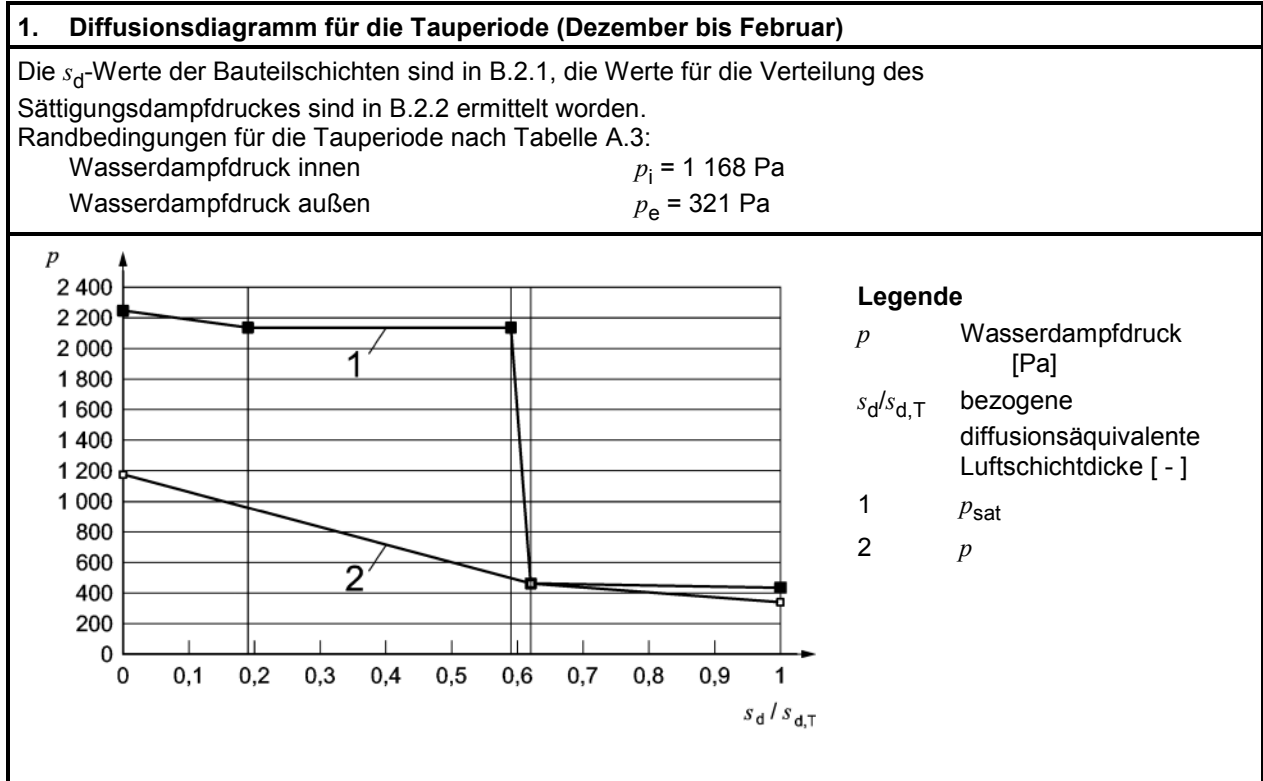
B.2.3 Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

1. Randbedingungen			
Tauperiode:			
Innenklima im Winter	$\theta_i = 20 \text{ °C}$	$\phi_i = 50 \text{ % RF}$	$p_i = 1\,168 \text{ Pa}$
Außenklima im Winter	$\theta_e = -5 \text{ °C}$	$\phi_e = 80 \text{ % RF}$	$p_e = 321 \text{ Pa}$
2. Bestimmung der Temperatur- und der Sättigungsdampfdruckverteilung			
Wärmestromdichte	$q = (\theta_i - \theta_e)/R_T$	$q = 5,448 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	
Innere Oberfläche	$\theta_{si} = \theta_i - q \cdot (R_{si})$	$\theta_{si} = 18,6 \text{ °C}$	$p_{sat\ si} = 2\,147 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 1/2	$\theta_{12} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1)$	$\theta_{12} = 17,8 \text{ °C}$	$p_{sat\ 12} = 2\,040 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 2/3	$\theta_{23} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2)$	$\theta_{23} = 17,8 \text{ °C}$	$p_{sat\ 23} = 2\,040 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 3/4	$\theta_{34} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3)$	$\theta_{34} = -4,0 \text{ °C}$	$p_{sat\ 34} = 438 \text{ Pa}$
Äußere Oberfläche	$\theta_{se} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$	$\theta_{se} = -4,8 \text{ °C}$	$p_{sat\ se} = 409 \text{ Pa}$
3. Bestimmung der Dampfdruckverteilung und gegebenenfalls der Tauwasserebenen			
Diffusionsstromdichte	Erste Annahme: Kein Tauwasser $g = \delta_0 \cdot (p_i - p_e)/s_{d,T}$ mit $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	Beginn Tangentenbildung für Dampfdruckverteilung: innere Oberfläche; $g = 3,383 \cdot 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ $g/\delta_0 = (p_i - p_e)/s_{d,T} = 169,2 \text{ Pa/m}$	
Innere Oberfläche	$p_{si} = p_i$	$p_{si} = 1\,168 \text{ Pa}$	$p_{sat\ si} = 2\,147 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 1/2	$p_{12} = p_{si} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,1})$		$p_{sat\ 12} = 2\,040 \text{ Pa}$
	falls $p_{12} > p_{sat\ 12}$: $p_{12} = p_{sat\ 12}$ und $g/\delta_0 = (p_{12} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1})$		
Schichtgrenze 2/3	$p_{23} = p_{12} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,2})$		$p_{sat\ 23} = 2\,040 \text{ Pa}$
	falls $p_{23} > p_{sat\ 23}$: $p_{23} = p_{sat\ 23}$ und $g/\delta_0 = (p_{23} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2})$		
Schichtgrenze 3/4	$p_{34} = p_{23} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,3})$	$p_{34} = 438 \text{ Pa}$ Tauwasser	$p_{sat\ 34} = 438 \text{ Pa}$
	falls $p_{34} > p_{sat\ 34}$: $p_{34} = p_{sat\ 34}$ und $g/\delta_0 = (p_{34} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2} - s_{d,3})$		
Äußere Oberfläche	$p_{se} = p_{34} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,4}) = p_e$	$p_{se} = 321 \text{ Pa}$	$p_{sat\ se} = 409 \text{ Pa}$

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 einer Ebene zwischen den Schichten 3 und 4 auf. Der Nachweis ist fortzuführen.

B.2.4 Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode



DIN 4108-3:2014-11**B.2.5 Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen**

1. Tauwassermasse im Winter (Tauperiode Dezember bis Februar)	
Es findet Tauwasserausfall in einer Ebene statt, entsprechend Fall b nach A.2.5.3. Folgende Randbedingungen sind für die Berechnung erforderlich, vgl. Tabelle A.3 bzw. B.2.2:	
Wasserdampfdruck innen	$p_i = 1\,168\text{ Pa}$
Wasserdampfdruck außen	$p_e = 321\text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	$p_c = p_{\text{sat},34} = 438\text{ Pa}$
Dauer der Tauperiode	$t_c = 7\,776 \cdot 10^3\text{ s}$
s_d -Werte für die Tauwasserberechnung (Fall b)	$s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4} = 5,01\text{ m}$ $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} = 3,11\text{ m}$
Flächenbezogene Tauwassermasse	$M_c = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \cdot t_c$ $= 0,269\text{ kg/m}^2$
Unter der Annahme, dass sich M_c vollständig auf die Spanplatte verteilt, ergibt sich folgende Zunahme des massebezogenen Feuchtegehalts Δu in M.-% für die Spanplatte mit der Rohdichte $\rho_M = 700\text{ kg/m}^3$:	
$\Delta u = \frac{M_c}{\rho_M \cdot d_4} \cdot 100\% = 2,0\text{ M.-%}$	
2. Mögliche Verdunstungsmasse im Sommer (Verdunstungsperiode Juni bis August)	
Es findet Verdunstung aus einer Ebene statt, entsprechend Fall b nach A.2.6.3. Folgende Randbedingungen sind für die Berechnung erforderlich, vgl. Tabelle A.3 bzw. B.2.2:	
Wasserdampfdruck innen	$p_i = 1\,200\text{ Pa}$
Wasserdampfdruck außen	$p_e = 1\,200\text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	$p_c = p_{\text{sat},34} = 1\,700\text{ Pa}$
Dauer der Verdunstungsperiode	$t_{ev} = 7\,776 \cdot 10^3\text{ s}$
s_d -Werte für die Verdunstungsberechnung (Fall b), es werden die s_d -Werte aus der Tauperiode beibehalten	$s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4} = 5,01\text{ m}$ $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} = 3,11\text{ m}$
Flächenbezogene Verdunstungsmasse	$M_{ev} = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_c - p_i}{s_{d,c}} + \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \cdot t_{ev}$ $= 0,659\text{ kg/m}^2$

B.2.6 Bewertung

Feststellungen und Anforderungen:

- Es findet Tauwasserausfall in einer Ebene statt (Fall b), und zwar in der Schichtgrenze zwischen den Schichten 3 und 4.
- Von beiden an die Tauwasserebene angrenzenden Schichten ist mindestens eine, nämlich Schicht 3 (Mineralwolle), als kapillar nicht wasseraufnahmefähig zu bezeichnen.

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

- Eine der an die Tauwasserebene angrenzenden Schichten besteht aus Holzwerkstoff-Material, nämlich Schicht 4 (Spanplatte V100).

Die anfallende flächenbezogene Tauwassermasse wird dieser Schicht zugeschlagen. Die zulässige Erhöhung des massebezogenen Feuchtegehalts dieser Schicht infolge der Tauwassermasse darf 3 M.-% nicht überschreiten.

- Die angefallene Tauwassermasse muss in der Verdunstungsperiode wieder abgegeben werden können.

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse:

- ermittelte flächenbezogene Tauwassermasse insgesamt: $M_C = 0,269 \text{ kg/m}^2$;
- Zunahme des massebezogenen Feuchtegehalts der Spanplatte: $\Delta u = 2,0 \text{ M.-%}$;
- mögliche flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt: $M_{ev} = 0,659 \text{ kg/m}^2$.

Prüfergebnisse und Bewertung:

- eine Schädigung der vom Tauwasser berührten Schichten ist nicht zu erwarten;
- $M_C < 0,5 \text{ kg/m}^2$;
- $\Delta u < 3 \text{ M.-%}$;
- $M_{ev} > M_C$.

Es sind alle Anforderungen erfüllt.

Die Konstruktion ist diffusionstechnisch zulässig.

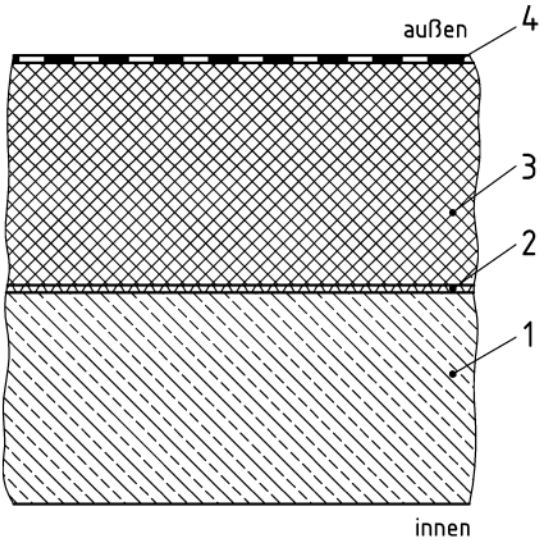
B.3 Beispiel 2: Nicht belüftetes Flachdach mit Dachabdichtung

B.3.1 Allgemeines

Die Überprüfung des Konstruktionsbeispiels auf diffusionstechnische Zulässigkeit, d. h. auf Tauwasserfreiheit bzw. zulässige Tauwassermassen und Verdunstung, wird nachfolgend anhand der schematisierten Bearbeitungsblöcke (B.3.2 bis B.3.5) gezeigt.

DIN 4108-3:2014-11

B.3.2 Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten

1. Konstruktion: Nicht belüftetes Flachdach mit Dachabdichtung							
<p>Querschnittsskizze</p>  <p>Legende</p> <p>1 Stahlbetondecke mit Ausgleichsschicht 180 mm 2 diffusionshemmende Schicht 2 mm 3 Polystyrol-Partikelschaum WD 140 mm 4 Dachabdichtung auf Ausgleichsschicht 6 mm (auch mit zusätzlicher Bekiesung)</p> <p>Zur Erzeugung eines leichten Gefälles kann die Dämmschicht keilförmig sein. Dann sollte der hinsichtlich Tauwasserbildung ungünstigere Querschnitt für die Diffusionsuntersuchung gewählt werden.</p>							
2. Schichtaufbau und Schichteigenschaften							
Nr.	Schicht	d m	μ -	s_d m	$\Sigma s_d/s_{d,T}$ -	λ W/mK	R $m^2 K/W$
	Innerer Wärmeübergangswiderstand R_{si}	-	-	-	-	-	0,25
1	Stahlbeton	0,180	70	12,6	0,020	2,1	0,086
2	diffusionshemmende Schicht	0,002	10 000	20	0,051	-	-
3	Polystyrol-Partikelschaum	0,140	30	4,2	0,058	0,040	3,500
4	Dachabdichtung	0,006	100 000	600	1,000	-	-
	Äußerer Wärmeübergangswiderstand R_{se}	-	-	-	-	-	0,04
	Summenwerte:	$d_T =$ 0,328 0	$s_{d,T} =$	636,8		$R_T =$	3,876
3. Bauteilkenngrößen							
Gesamtdicke des Bauteils		$d_T = 0,328$ m					
Gesamt- s_d -Wert des Bauteils		$s_{d,T} = 636,8$ m					
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = 3,876$ $m^2 K/W$					
Wärmedurchgangskoeffizient		$U = 1/R_T = 0,26$ $W/(m^2 K)$					

B.3.3 Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

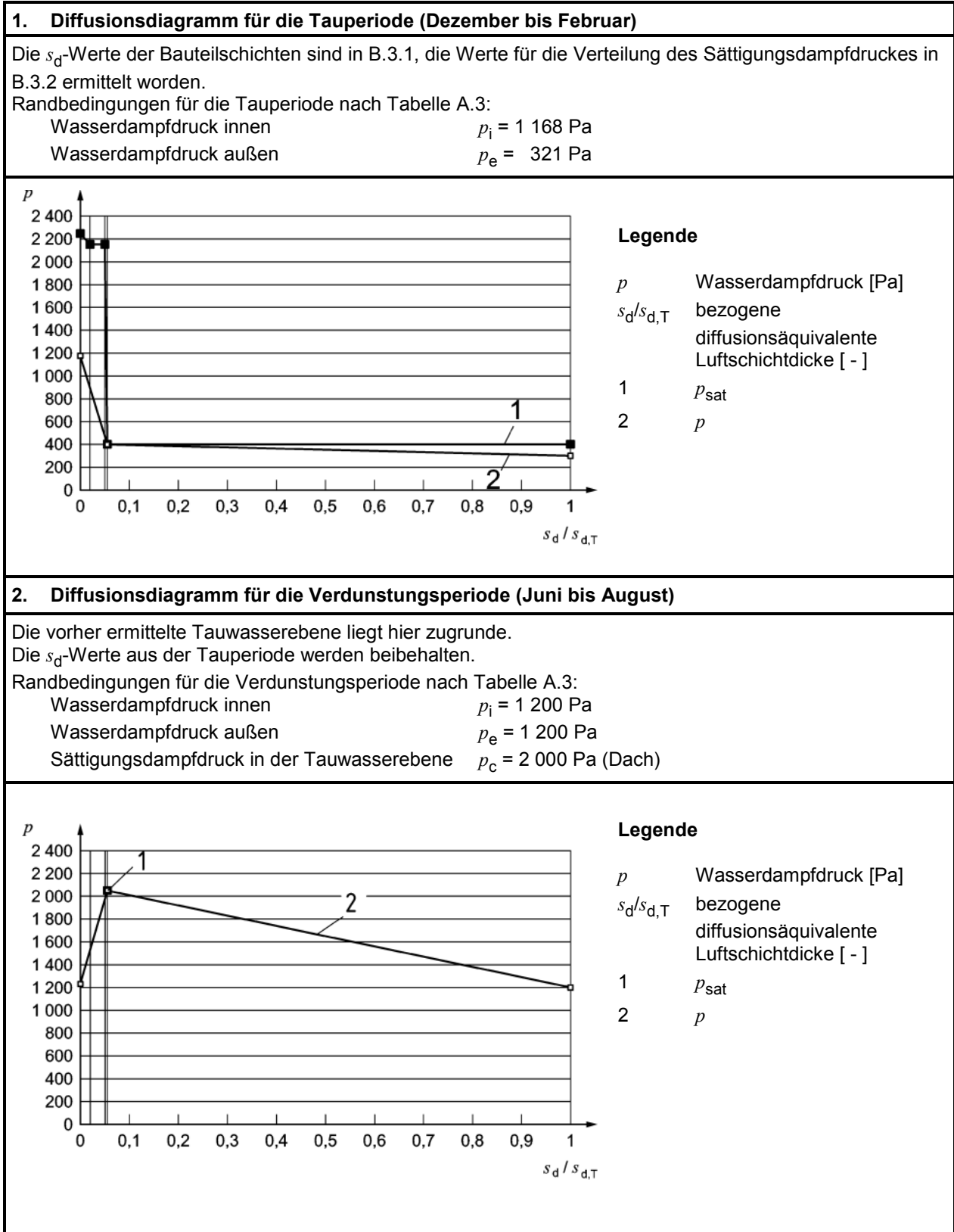
1. Randbedingungen			
Tauperiode:			
Innenklima im Winter	$\theta_i = 20 \text{ °C}$	$\phi_i = 50 \text{ % RF}$	$p_i = 1\,168 \text{ Pa}$
Außenklima im Winter	$\theta_e = -5 \text{ °C}$	$\phi_e = 80 \text{ % RF}$	$p_e = 321 \text{ Pa}$
2. Bestimmung der Temperatur- und der Sättigungsdampfdruckverteilung			
Wärmestromdichte	$q = (\theta_i - \theta_e)/R_T$	$q = 6,450 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$	
Innere Oberfläche	$\theta_{si} = \theta_i - q \cdot (R_{si})$	$\theta_{si} = 18,4 \text{ °C}$	$p_{sat\ si} = 2\,114 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 1/2	$\theta_{12} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1)$	$\theta_{12} = 17,8 \text{ °C}$	$p_{sat\ 12} = 2\,041 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 2/3	$\theta_{23} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2)$	$\theta_{23} = 17,8 \text{ °C}$	$p_{sat\ 23} = 2\,041 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 3/4	$\theta_{34} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3)$	$\theta_{34} = -4,7 \text{ °C}$	$p_{sat\ 34} = 410 \text{ Pa}$
Äußere Oberfläche	$\theta_{se} = \theta_i - q \cdot (R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$	$\theta_{se} = -4,7 \text{ °C}$	$p_{sat\ se} = 410 \text{ Pa}$
3. Bestimmung der Dampfdruckverteilung und gegebenenfalls der Tauwasserebenen			
Diffusionsstromdichte	Erste Annahme: Kein Tauwasser $g = \delta_0 \cdot (p_i - p_e)/s_{d,T}$ mit $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa)}$	Beginn Tangentenbildung für Dampfdruckverteilung: innere Oberfläche; $g = 2,662 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ $g/\delta_0 = (p_i - p_e)/s_{d,T} = 1,331 \text{ Pa/m}$	
Innere Oberfläche	$p_{si} = p_i$	$p_{si} = 1\,168 \text{ Pa}$	$p_{sat\ si} = 2\,114 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 1/2	$p_{12} = p_{si} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,1})$		$p_{sat\ 12} = 2\,041 \text{ Pa}$
	falls $p_{12} > p_{sat\ 12}$: $p_{12} = p_{sat\ 12}$ und $g/\delta_0 = (p_{12} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1})$		
Schichtgrenze 2/3	$p_{23} = p_{12} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,2})$		$p_{sat\ 23} = 2\,041 \text{ Pa}$
	falls $p_{23} > p_{sat\ 23}$: $p_{23} = p_{sat\ 23}$ und $g/\delta_0 = (p_{23} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2})$		
Schichtgrenze 3/4	$p_{34} = p_{23} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,3})$	$p_{34} = 410 \text{ Pa}$ Tauwasser	$p_{sat\ 34} = 410 \text{ Pa}$
	falls $p_{34} > p_{sat\ 34}$: $p_{34} = p_{sat\ 34}$ und $g/\delta_0 = (p_{34} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2} - s_{d,3})$		
Äußere Oberfläche	$p_{se} = p_{34} - (g/\delta_0) \cdot (s_{d,4}) = p_e$	$p_{se} = 321 \text{ Pa}$	$p_{sat\ se} = 410 \text{ Pa}$

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 einer Ebene zwischen den Schichten 3 und 4 auf. Der Nachweis ist fortzuführen.

DIN 4108-3:2014-11

B.3.4 Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode



B.3.5 Berechnung der Tauwasser- und Verdunstungsmassen

1. Tauwassermasse im Winter (Tauperiode Dezember bis Februar)	
Es findet Tauwasserausfall in einer Ebene statt, entsprechend Fall b nach A.2.5.3. Folgende Randbedingungen sind für die Berechnung erforderlich, vgl. Tabelle A.3 bzw. B.3.2:	
Wasserdampfdruck innen	$p_i = 1\,168\text{ Pa}$
Wasserdampfdruck außen	$p_e = 321\text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	$p_c = p_{\text{sat},34} = 410\text{ Pa}$
Dauer der Tauperiode	$t_c = 7\,776 \cdot 10^3\text{ s}$
s_d -Werte für die Tauwasserberechnung (Fall b)	$s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4} = 636,8\text{ m}$ $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} = 36,8\text{ m}$
Flächenbezogene Tauwassermasse	$M_c = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \cdot t_c$ $= 0,032\text{ kg/m}^2$
2. Mögliche Verdunstungsmasse im Sommer (Verdunstungsperiode Juni bis August)	
Es findet Verdunstung aus einer Ebene statt, entsprechend Fall b nach A.2.6.3. Folgende Randbedingungen sind für die Berechnung erforderlich, vgl. Tabelle A.3 bzw. B.3.2:	
Wasserdampfdruck innen	$p_i = 1\,200\text{ Pa}$
Wasserdampfdruck außen	$p_e = 1\,200\text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	$p_c = p_{\text{sat},34} = 2\,000\text{ Pa}$
Dauer der Verdunstungsperiode	$t_{ev} = 7\,776 \cdot 10^3\text{ s}$
s_d -Werte für die Verdunstungsberechnung (Fall b), es werden die s_d -Werte aus der Tauperiode beibehalten	$s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4} = 636,8\text{ m}$ $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} = 36,8\text{ m}$
Flächenbezogene Verdunstungsmasse	$M_{ev} = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_c - p_i}{s_{d,c}} + \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right) \cdot t_{ev}$ $= 0,036\text{ kg/m}^2$

B.3.6 Bewertung

Feststellungen und Anforderungen:

- Es findet Tauwasserausfall in einer Ebene statt (Fall b), und zwar in der Schichtgrenze zwischen den Schichten 3 und 4.
- Beide an die Tauwasserebene angrenzenden Schichten, Schicht 3 (PS-Hartschaum) und Schicht 4 (Dachabdichtung), sind kapillar nicht wasseraufnahmefähig.

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 muss in der Verdunstungsperiode wieder abgegeben werden können.

DIN 4108-3:2014-11

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse:

- ermittelte flächenbezogene Tauwassermasse insgesamt: $M_c = 0,032 \text{ kg/m}^2$;
- mögliche flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt: $M_{ev} = 0,036 \text{ kg/m}^2$.

Prüfergebnisse und Bewertung:

- eine Schädigung der vom Tauwasser berührten Schichten ist nicht zu erwarten;
- $M_c < 0,5 \text{ kg/m}^2$;
- $M_{ev} > M_c$.

Es sind alle Anforderungen erfüllt.

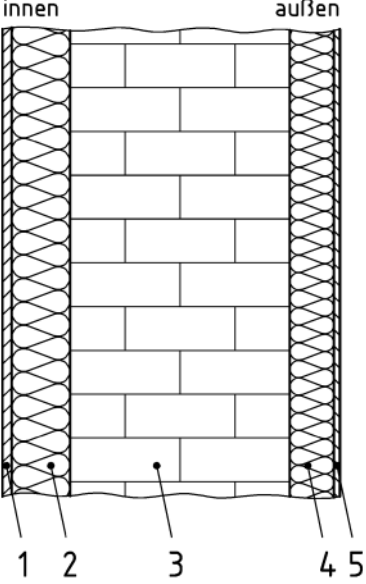
Die Konstruktion ist diffusionstechnisch zulässig.

B.4 Beispiel 3: Außenwand mit WDVS und nachträglicher Innendämmung

B.4.1 Allgemeines

Die Überprüfung des Konstruktionsbeispiels auf diffusionstechnische Zulässigkeit, d. h. auf Tauwasserfreiheit bzw. zulässige Tauwassermassen und Verdunstung, wird nachfolgend anhand der schematisierten Bearbeitungsblöcke (B.4.2 bis B.4.5) gezeigt.

B.4.2 Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten

1. Konstruktion: Außenwand mit vorhandenem WDVS und nachträglicher Innendämmung																						
<p>Querschnittsskizze</p>  <p>Legende</p> <table border="0"> <tr> <td>1</td> <td>Gipskarton-Platte</td> <td>12,5 mm</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>diffusionsoffener Dämmstoff</td> <td>80 mm</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Vollziegel-Mauerwerk</td> <td>300 mm</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>EPS-Dämmstoff (Altbestand)</td> <td>60 mm</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kunstharz-Außenputz</td> <td>8 mm</td> </tr> </table> <p>Eine Außenwand mit vorhandenem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) wird nachträglich raumseitig mit einem diffusionsoffenen Wärmedämmstoff ohne zusätzliche diffusionshemmende Schicht gedämmt.</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
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																				
2. Schichtaufbau und Schichteigenschaften																						
Nr.	Schicht	d m	μ –	s_d m	$\Sigma s_d/s_{d,T}$ –	λ W/mK	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		$d_T = 0,460 5 \text{ m}$																				
Gesamt- s_d -Wert des Bauteils		$s_{d,T} = 5,96 \text{ m}$																				
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = 4,452 \text{ m}^2 \text{ K/W}$																				
Wärmedurchgangskoeffizient		$U = 1/R_T = 0,22 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$																				

DIN 4108-3:2014-11

B.4.3 Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

1. Randbedingungen			
Tauperiode:			
Innenklima im Winter	$\theta_i = 20 \text{ °C}$	$\phi_i = 50 \text{ \% RF}$	$p_i = 1\,168 \text{ Pa}$
Außenklima im Winter	$\theta_e = -5 \text{ °C}$	$\phi_e = 80 \text{ \% RF}$	$p_e = 321 \text{ Pa}$
2. Bestimmung der Temperatur- und der Sättigungsdampfdruckverteilung			
Wärmestromdichte	$q = (\theta_i - \theta_e)/R_T$	$q = 5,616 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$	
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			
Diffusionsstromdichte	Erste Annahme: Kein Tauwasser $g = \delta_0 \cdot (p_i - p_e)/s_{d,T}$ mit $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa)}$	Tangentenbildung für Dampfdruckverteilung: Beginn an innerer Oberfläche; $g = 2,844 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^2 \text{ s}$ $(g/\delta_0)_r = (p_i - p_e)/s_{d,T} = 142,2 \text{ Pa/m}$	
Innere Oberfläche	$p_{si} = p_i$	$p_{si} = 1\,168 \text{ Pa}$	$p_{sat\ si} = 2\,141 \text{ Pa}$
Schichtgrenze 1/2	$p_{12} = p_{si} - (g/\delta_0)_r \cdot (s_{d,1})$		$p_{sat\ 12} = 2\,097 \text{ Pa}$
	falls $p_{12} > p_{sat\ 12}$: $p_{12} = p_{sat\ 12}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{12} - p_e)/(s_{d,2} + s_{d,3} + s_{d,4} + s_{d,5})$		
Schichtgrenze 2/3	$p_{23} = p_{12} - (g/\delta_0)_r \cdot (s_{d,2})$	$p_{23} = 1\,003 \text{ Pa}$ Tauwasser 1	$p_{sat\ 23} = 1\,003 \text{ Pa}$
	falls $p_{23} > p_{sat\ 23}$: $p_{23} = p_{sat\ 23}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{23} - p_e)/(s_{d,3} + s_{d,4} + s_{d,5})$		
Schichtgrenze 3/4	$p_{34} = p_{23} - (g/\delta_0)_r \cdot (s_{d,3})$		$p_{sat\ 34} = 866 \text{ Pa}$
	falls $p_{34} > p_{sat\ 34}$: $p_{34} = p_{sat\ 34}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{34} - p_e)/(s_{d,4} + s_{d,5})$		
Schichtgrenze 4/5	$p_{45} = p_{34} - (g/\delta_0)_r \cdot (s_{d,4})$	$p_{45} = 411 \text{ Pa}$ Tauwasser 2	$p_{sat\ 45} = 411 \text{ Pa}$
	falls $p_{45} > p_{sat\ 45}$: $p_{45} = p_{sat\ 45}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{45} - p_e)/s_{d,5}$		
Äußere Oberfläche	$p_{se} = p_{45} - (g/\delta_0)_r \cdot (s_{d,5}) = p_e$	$p_{se} = 321 \text{ Pa}$	$p_{sat\ se} = 409 \text{ Pa}$

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.4.4 Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode

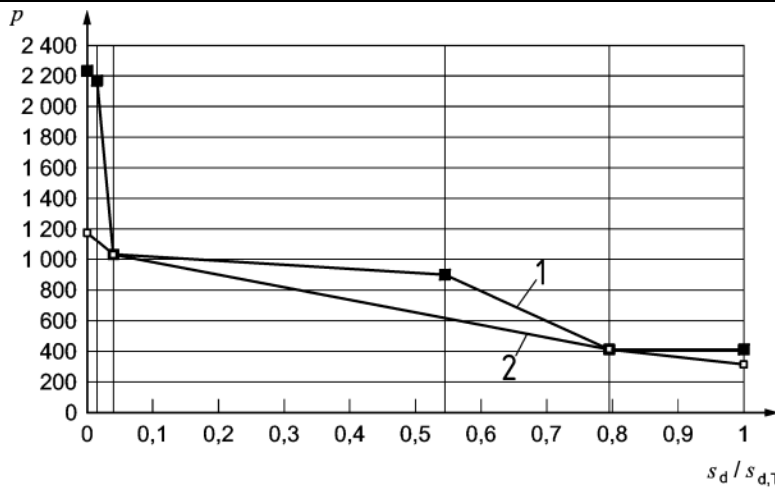
1. Diffusionsdiagramm für die Tauperiode (Dezember bis Februar)

Die s_d -Werte der Bauteilschichten sind in B.4.1, die Werte für die Verteilung des Sättigungsdampfdruckes in B.4.2 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.

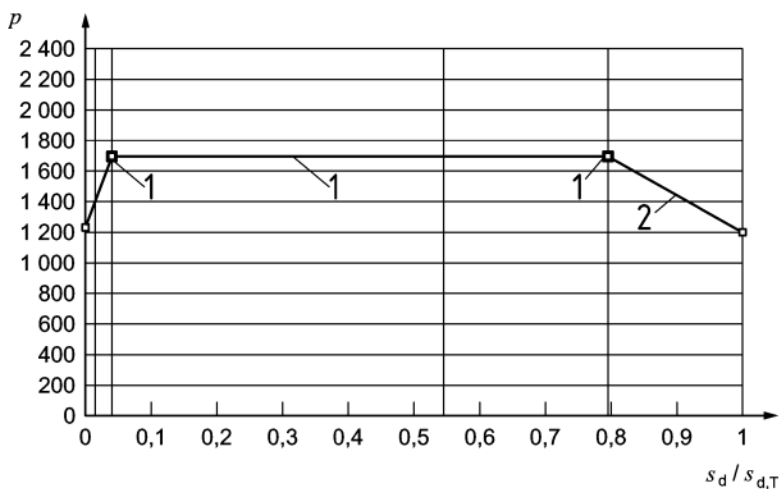
Die s_d -Werte aus der Tauperiode werden beibehalten.

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 [Pa]
- $s_d/s_{d,T}$ bezogene diffusionsäquivalente Luftschichtdicke [-]
- 1 p_{sat}
- 2 p

DIN 4108-3:2014-11

B.4.5 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, vgl. Tabelle A.3 bzw. B.4.2:	
Wasserdampfdruck innen, Wasserdampfdruck außen	$p_i = 1\,168\text{ Pa}, \quad p_e = 321\text{ Pa}$
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	
sowie flächenbezogene Tauwassermasse insgesamt	$M_{c2} = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_{c1} - p_{c2}}{s_{d,c2} - s_{d,c1}} - \frac{p_{c2} - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c2}} \right) \cdot t_c$ $= 0,089\text{ kg/m}^2$ $M_c = M_{c1} + M_{c2} = 0,872\text{ kg/m}^2$
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, vgl. Tabelle A.3 bzw. B.4.2:	
Wasserdampfdruck innen, Wasserdampfdruck außen	$p_i = 1\,200\text{ Pa}, \quad p_e = 1\,200\text{ Pa}$
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 $t_{ev2} < t_{ev1}$: Flächenbezogene Verdunstungsmassen für beide Tauwasserebenen c_1 und c_2	$M_{ev1} = g_{ev1} \cdot t_{ev2} + \left(g_{ev1} + \delta_0 \frac{p_{c1} - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c1}} \right) \cdot (t_{ev} - t_{ev2})$ $= 3,108\text{ kg/m}^2$ $M_{ev2} = g_{ev2} \cdot t_{ev2} = 0,089\text{ kg/m}^2$
sowie flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt	$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} = 3,197\text{ kg/m}^2$

B.4.6 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 kg/m².
- 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 (informativ)

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 Formeln und Hinweise auf Berechnungen beziehen sich auf plattenförmige, ein- oder mehrschichtige Bauteile mit planparallelen Oberflächen bzw. Schichtgrenzen und eindimensionale, zeitlich konstante Wärmeströme.

C.1.2 Wärmedurchlasswiderstand

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

C.1.3 Wärmedurchgangswiderstand

Der Wärmedurchgangswiderstand R_T , in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$, 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.

$$q = U (\theta_i - \theta_e) \quad (\text{C.1})$$

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 $^\circ\text{C}$, wird nach Gleichung (C.2) berechnet.

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

Dabei ist

- θ_i die Innenlufttemperatur, in °C;
- R_{si} der innere Wärmeübergangswiderstand, in m²·K/W;
- q die Wärmestromdichte, in W/m².

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

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

Dabei ist

- θ_e die Außenlufttemperatur, in °C;
- R_{se} der äußere Wärmeübergangswiderstand, in m²·K/W;
- q die Wärmestromdichte, in W/m².

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 (vergleiche auch Bild C.1).

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \theta_{si} - q \times R_1 = \theta_i - q \times (R_{si} + R_1) \\ \theta_2 &= \theta_1 - q \times R_2 = \theta_i - q \times (R_{si} + R_1 + R_2) \\ \theta_{n-1} &= \theta_{n-2} - q \times R_{n-1} = \theta_i - q \times (R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_{n-1}) \end{aligned} \quad (C.4)$$

Dabei ist

- θ_{si} die Temperatur der Bauteil-Innenoberfläche, in °C;
- R_1 der Wärmedurchlasswiderstand der ersten Schicht, in m²·K/W;
- R_2 der Wärmedurchlasswiderstand der zweiten Schicht, in m²·K/W;
- R_{n-1} der Wärmedurchlasswiderstand der vorletzten Schicht, in m²·K/W;
- θ_{n-1} die Temperatur in der Trennfläche zwischen vorletzter und letzter Schicht, in °C;
- q die Wärmestromdichte, in W/m²;
- 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 4108-3:2014-11

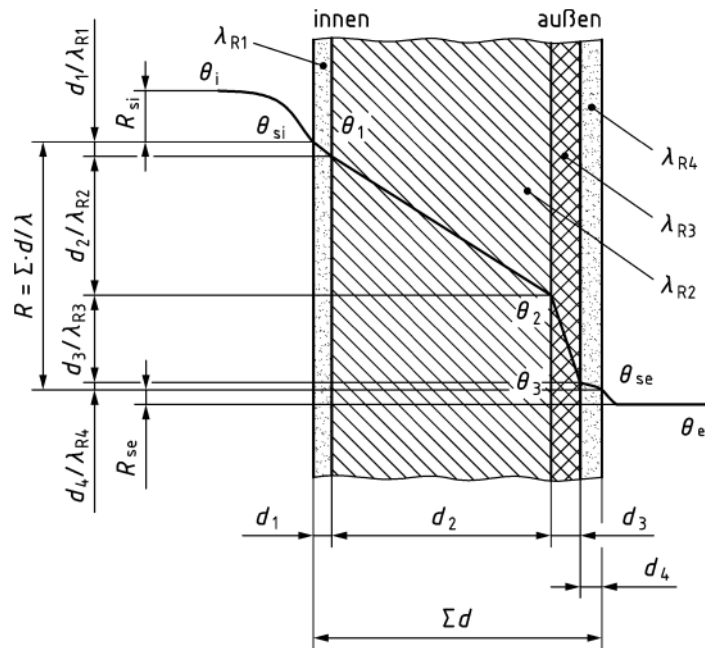


Bild C.1 — Temperaturverteilung über den Querschnitt eines mehrschichtigen Bauteils

C.2 Feuchteschutztechnische Größen und Dampfdruckverteilungen

C.2.1 Allgemeines

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

C.2.2 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

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

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

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.

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

Die Konstante 5×10^9 entspricht dem gerundeten Kehrwert des Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten in Luft δ_0 bei der Bezugstemperatur 10°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.

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

Die Konstante 4×10^4 entspricht dem gerundeten Kehrwert des Wasserdampf-Diffusionskoeffizienten in Luft nach Schirmer D_0 bei der Bezugstemperatur 10 °C, in s/m².

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 kg/(m²·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.

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

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

Der Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in Luft δ_0 , in kg/(m·s·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 J/(kg·K),
mit $R_v = 462$ J/(kg·K).

Der Wasserdampf-Diffusionskoeffizient in Luft D_0 nach Schirmer, in m²/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.

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

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

DIN 4108-3:2014-11

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

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 nicht-isothermen 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 geradlinig 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 in den Beispielen B.2 bis B.4 demonstriert. Bild C.2 zeigt exemplarisch eine schematische Darstellung der charakteristischen Temperatur-Dampfdruckverteilungen.

DIN 4108-3:2014-11

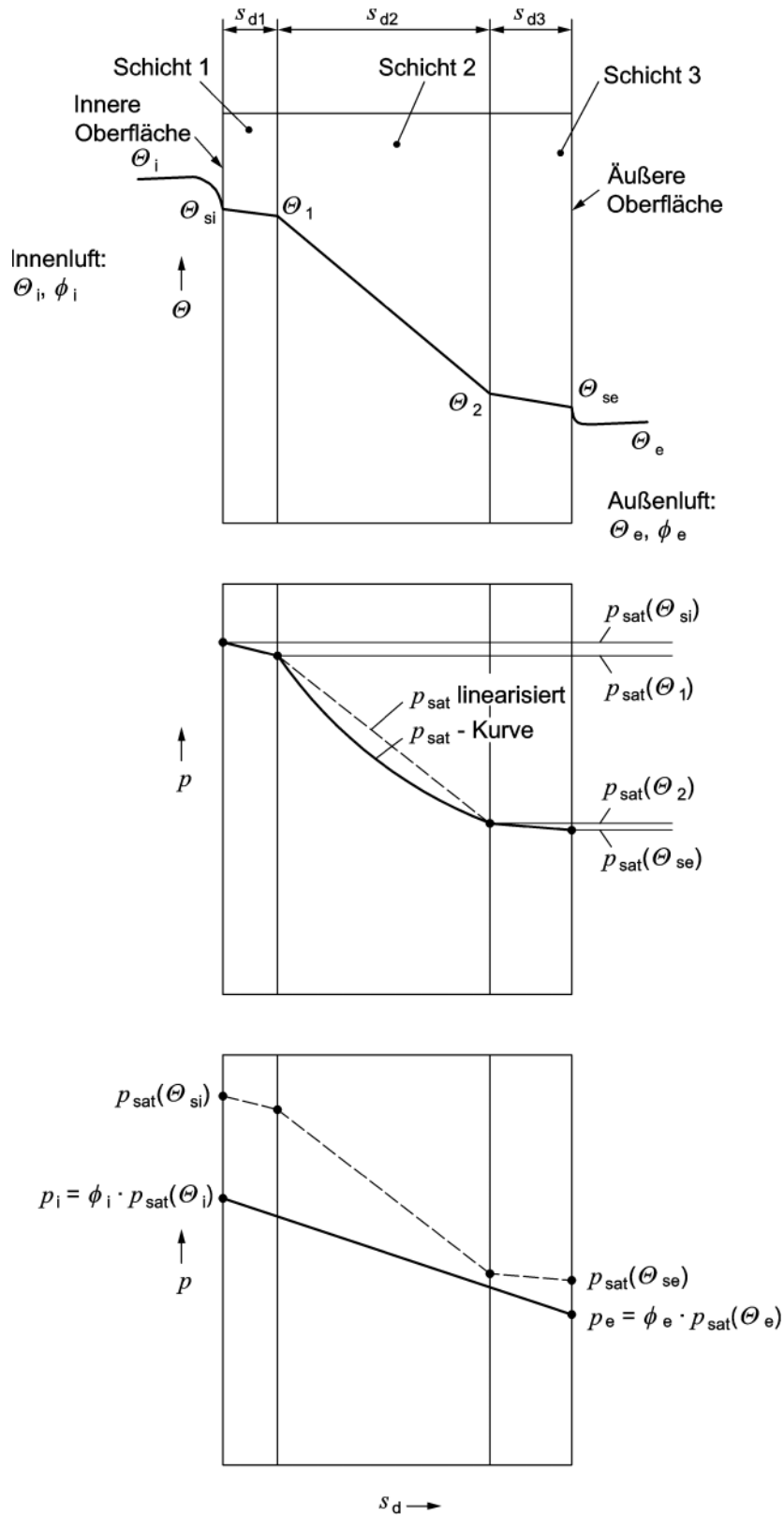


Bild C.2 — Schematische Darstellung der Temperatur- und Dampfdruckverteilungen über den Querschnitt eines mehrschichtigen Bauteils in Abhängigkeit von den diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der Einzelschichten zur Ermittlung eines eventuellen Tauwasserausfalls an Schichtgrenzen

C.3 Wasserdampfdruck und Luftfeuchte

Die Beziehung zwischen Wasserdampfdruck 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 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 thermodynamische Temperatur, in K.

Die Differenz zwischen raum- und außenseitigem Wasserdampfdruck 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:

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

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

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.

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

DIN 4108-3:2014-11

$$\theta = \frac{265,6 \cdot \ln\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)}{21.875 - \ln\left(\frac{p_{\text{sat}}}{610,5}\right)} \quad \text{wenn } p_{\text{sat}} < 610,5 \text{ Pa} \quad (\text{C.18})$$

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
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

DIN 4108-3:2014-11

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
-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 °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	29,1
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 **(informativ)**

Genauere Berechnungsverfahren

Es ist eine Reihe von Computermodellen zur Durchführung genauerer Berechnungen entwickelt worden. Von derartigen Modellen ist zu erwarten, dass sie eine größere Genauigkeit als dasjenige besitzen, das in dieser Norm beschrieben wird. Ein Problem besteht jedoch darin, dass Eingabedaten wie Stoffeigenschaften und Klimabedingungen häufig nicht ausreichend bekannt sind.

Computermodelle beruhen oft auf finiten Differenzen mit Zeitschritten in der Größenordnung von Minuten oder Stunden und Gitterabständen in der Größenordnung von Zentimetern. Sie erfassen gewöhnlich den Feuchtetransport sowohl in der Flüssig- als auch in der Dampfphase und die Feuchtaufnahme von nichthygroskopischen Stoffen.

Die meisten Modelle erlauben die Vorgabe von Stoffeigenschaften als Funktion z. B. des Feuchtegehalts oder der Temperatur. Außen- und Raumklimadaten werden als Stundenwerte oder als mathematische Funktionen vorgegeben. Einige Modelle erfassen den gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport, andere berechnen die Temperatur- und Feuchtefelder unabhängig voneinander.

Die Grundzüge zur Entwicklung solcher instationärer, nichtlinearer und gekoppelter Wärme- und Feuchtberechnungsmodelle sind zwischenzeitlich in DIN EN 15026 festgelegt worden. Zur Ermittlung von Regendatensätzen sei an dieser Stelle auf DIN EN ISO 15927-3 verwiesen.

Literaturhinweise

- [1] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [2] Krus, M., Künzel, H. M., Kießl, K.: Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk — Messung und Berechnung. Bauforschung für die Praxis, Band 25, IRB-Verlag Stuttgart 1996.
- [3] Merkblatt: Wärmeschutz bei Dach und Wand. Herausgeber: Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks e. V., 2004.
- [4] WTA-Merkblatt 6-1-01/D: Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen. Herausgeber: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., 2002.¹⁾
- [5] WTA-Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Herausgeber: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V., 2002.¹⁾
- [6] DIN Fachbericht 4108-8, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden*
- [7] 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.
- [8] Cammerer J. S.: Bezeichnungen und Berechnungsverfahren für Diffusionsvorgänge im Bauwesen. Kältetechnik 8 (1956), S. 339-343.
- [9] Glaser H.: Wärmeleitung und Feuchtigkeitsdurchgang durch Kühlraumisolierungen. Kältetechnik 10 (1958) Heft 3, S. 86-91.
- [10] Glaser H.: Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik 11 (1959) Nr. 10, S. 345-349.
- [11] Fachregel für Abdichtungen — Flachdachrichtlinie²⁾
- [12] WTA Merkblatt 6-4-09 D, Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden¹⁾
- [13] WTA Merkblatt 6-5-14 D, Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren¹⁾

1) Bezugsquelle für WTA-Merkblätter: www.wta.de

2) Herausgeber: Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks — Fachverband Dach-, Wand- und Abdichtungstechnik e. V.

