Niedersächsisches
Ministerialblatt

66. (71.) Jahrgang | Hannover, den 5. 4. 2016 | Nummer 12 b

2. ANLAGENBAND

zur

Liste der Technischen Baubestimmungen
— Fassung Dezember 2015 —

DIN 18516-3

DIN 18516-5

DIN 4108-3

Die hier abgedruckten Technischen Baubestimmungen sind nur in Verbindung mit dem RdErl. des MS vom 30. 12. 2015 (Nds. MBl. S. 361) zu verwenden.

Inhalt:

— DIN 18516-3: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet — Teil 3: Naturwerkstein; Anforderungen, Bemessung 1

— DIN 18516-5: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet — Teil 5: Betonwerkstein; Anforderungen, Bemessung 51

— DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz — Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung 101

DEUTSCHE NORM

September 2013

DIN 18516-3

DIN

ICS 91.060.10

Ersatz für
DIN 18516-3:2011-11

Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 3: Naturwerkstein; Anforderungen, Bemessung

Cladding for external walls, ventilated at rear –
Part 3: Natural stone; requirements, design

Revêtements ventilés à la farce arrière pour murs extérieurs –
Partie 3: Pierres naturelless taillées; exigences, dimensionnement

Gesamtumfang 49 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort ... 4

1 Anwendungsbereich ... 5

2 Normative Verweisungen ... 5

3 Symbole und Abkürzungen ... 6

4 Natursteinplatten ... 9
4.1 Allgemeines ... 9
4.2 Charakteristische Widerstände ... 9
4.2.1 Charakteristische Biegefestigkeit σ_{Rk} ... 9
4.2.2 Charakteristische Ausbruchlast am Ankerdorn ... 9
4.3 Eignung ... 10
4.4 Durchfeuchtung ... 10
4.5 Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand ... 10

5 Befestigungen ... 11
5.1 Allgemeines ... 11
5.2 Werkstoffe der Befestigungen ... 11
5.3 Ankerdorne ... 11
5.3.1 Allgemeines ... 11
5.3.2 Charakteristischer Widerstand ... 12
5.4 Steckdorne ... 13
5.4.1 Allgemeines ... 13
5.4.2 Charakteristischer Widerstand ... 14
5.5 Schraubanker ... 16
5.5.1 Allgemeines ... 16
5.5.2 Charakteristischer Widerstand ... 17
5.6 Nutlagerung ... 18
5.6.1 Allgemeines ... 18
5.6.2 Charakteristischer Widerstand ... 18
5.7 Befestigung von Leibungsplatten ... 19
5.8 Befestigung von Ausbauteilen ... 19

6 Verankerungen ... 20
6.1 Allgemeines ... 20
6.2 Werkstoffe der Verankerungen ... 20
6.3 Eingemörtelte Verankerungen ... 20
6.3.1 Ankerform ... 20
6.3.2 Verankerungsmörtel ... 24
6.3.3 Vorgaben für Entwurf, Einbau und Montage ... 25
6.3.4 Rechnerische Verankerungstiefe ... 26
6.3.5 Ermittlung der Ankerquerschnitte ... 26
6.3.6 Charakteristischer Widerstand im Mauerwerk ... 27
6.3.7 Charakteristischer Widerstand des Verbundes in Beton ... 28

7 Standsicherheitsnachweis ... 34
7.1 Allgemeines ... 34
7.2 Erhöhungsfaktor bei Eigenlasten ... 35
7.3 Bemessungswerte der Tragwiderstände ... 35
7.3.1 Natursteinplatte ... 35
7.3.2 Befestigung ... 35
7.3.3 Verankerung ... 36

Seite

7.4 Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit ... 36
7.4.1 Natursteinplatte ... 36
7.4.2 Befestigung ... 37
7.4.3 Verankerung ... 37
7.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ... 37

8 Versuche am Bauwerk ... 38
8.1 Allgemeines ... 38
8.2 Auszugsversuche ... 38
8.2.1 Anzahl der Versuche ... 38
8.2.2 Durchführung der Versuche ... 39
8.2.3 Auswertung der Versuchsergebnisse ... 39
8.3 Probebelastung ... 40
8.3.1 Durchführung der Versuche ... 40
8.3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse ... 40
8.4 Versuchsbericht ... 40

Anhang A (normativ) Ergänzende Festlegungen ... 41
A.1 Allgemeines ... 41
A.2 Einwirkungen ... 41
A.2.1 Charakteristische Werte ... 41
A.2.2 Kombination von veränderlichen Einwirkungen ... 41
A.2.3 Bemessungswerte ... 42
A.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit ... 42
A.3.1 Allgemeines ... 42
A.3.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen ... 42
A.3.3 Kombination von Einwirkungen ... 43
A.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit ... 44
A.4.1 Allgemeines ... 44
A.4.2 Kombination von Einwirkungen ... 44

Anhang B (informativ) Weitere gebräuchliche Ankerformen ... 45

Literaturhinweise ... 49

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-09-33 AA „Außenwandbekleidungen, hinterlüftet; Naturwerkstein“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) im DIN erarbeitet.

DIN 18516 *Außenwandbekleidungen, hinterlüftet* besteht aus folgenden Teilen

— *Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze*

— *Teil 3: Naturwerkstein; Anforderungen, Bemessung*

— *Teil 4: Einscheiben-Sicherheitsglas; Anforderungen, Bemessung, Prüfung*

— *Teil 5: Betonwerkstein; Anforderungen, Bemessung*

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN 18516-3:2011-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Abschnitt 3 „Symbole und Abkürzungen“ ergänzt und Symbole geordnet;

b) in 4.3, die Erklärung für Gleichung (3) überarbeitet;

c) in 4.4, den 2. Absatz überarbeitet;

d) in 4.5, den letzten Absatz ersetzt;

e) in 5.3.2, Bild 5 ersetzt;

f) in 5.4.2, die Legende zu Bild 2 überarbeitet;

g) in 5.7, Bild 6 ausgetauscht;

h) Abschnitt 6 komplett überarbeitet;

i) Abschnitte 7 und 8 ergänzt;

j) in Anhang B, Bild B.1 ausgetauscht;

k) redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN 18516-3: 1990-01, 1999-12, 2011-11

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt in Verbindung mit DIN 18516-1 und regelt die Verwendung von Natursteinplatten nach DIN EN 1469 für hinterlüftete Außenwandbekleidungen mit Plattendicken ≥ 30 mm. Statisch beanspruchte Klebungen sind nicht zulässig.

2 Normative Verweisungen

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

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

DIN 53505, *Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Härteprüfung nach Shore A und Shore D*

DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, *Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton — Teil 4-5: Dübel — Chemische Systeme; Deutsche Fassung CEN/TS 1992-4-5:2009*

DIN EN 206-1, *Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 998-2, *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau — Teil 2: Mauermörtel*

DIN EN 1469:2005-02, *Natursteinprodukte — Bekleidungsplatten — Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1469:2004*

DIN EN 1504-6, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken — Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität — Teil 6: Verankerung von Bewehrungsstäben*

DIN EN 10088-2, *Nichtrostende Stähle — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

DIN EN 10088-3, *Nichtrostende Stähle — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

DIN EN 12371, *Prüfverfahren für Naturstein — Bestimmung des Frostwiderstandes*

DIN EN 12971, *Verstärkungen — Spezifikation für geschnittene Textilglasgarne — Teil 1: Bezeichnung*

DIN EN 13364, *Prüfung von Naturstein — Bestimmung der Ausbruchlast am Ankerdornloch*

DIN EN ISO 4032, *Sechskantmuttern, Typ 1 — Produktklassen A und B*

DIN EN ISO 3506 (alle Teile), *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen*

DAfStb-Richtlinie, Trockenbeton — *Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel (Trockenbeton-Richtlinie1))*

Zulassung Z-30.3-6, *Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen (Information durch das Deutsche Institut für Bautechnik, DIBt)*

---

1) Herausgeber: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e, V., zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

3 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

A	anrechenbare Mantelfläche des Ankers
A_{Ed}	Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkungen (z. B. Erdbeben)
C	Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums
E	Beanspruchung, Wirkung
E_d	Bemessungswert einer Beanspruchung, Auswirkung
F_D	Bemessungswert der Einwirkung
F_K	charakteristischer Wert der Einwirkung
F_{Rk}	charakteristischer Widerstand der Verankerung
$F_{Rk,0}$	charakteristischer Widerstand des Ankerdorns gegen Ausbruch unter Berücksichtigung von Witterungseinflüssen
$F_{u5\%}$	entsprechend DIN EN 1469 deklarierter unterer Erwartungswert der Ausbruchlast am Ankerdorn (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung)
F_V	Querbelastung der Verankerung
$G_{k,j}$	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
M_D	wirksames Drehmoment
N_{Ed}	Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung senkrecht zur Platte
$N_{m,min}$	Mittelwert der 5 kleinsten gemessenen Höchstlasten
N_P	Last, mit der die Probebelastung durchzuführen ist
N_{Rd}	Bemessungswert des Widerstands der Befestigung senkrecht zur Platte
N_{Rk}	charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte
$N_{Rk,0}$	charakteristische Widerstand der Befestigung gegen Ausbruch unter Berücksichtigung von Witterungseinflüssen und Einbaubedingung
$Q_{k,i}$	charakteristischer Wert weiterer veränderlicher Einwirkungen
$Q_{k,j}$	charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung
U	anrechenbarer Umfang des Ankers
$V_{0°,m}$	Mittelwert der Höchstlasten aus Querbeanspruchung
V_1	vordere Auflagerkraft im Verankerungsgrund
V_2	hintere Auflagerkraft im Verankerungsgrund
$V_{30°,m}$	Mittelwert der Höchstlasten aus Schrägzugbeanspruchung
V_{Ed}	Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung parallel zur Platte
V_{Rd}	Bemessungswert des Widerstands der Befestigung parallel zur Platte
V_{Rk}	charakteristischer Widerstand bei Lastangriff an der Oberfläche parallel zur Platte
$V_{Rk,0°}$	charakteristische Widerstand der Verankerung bei Querbeanspruchung

$V_{Rk,30°}$	charakteristische Widerstand der Verankerung bei Schrägzug
$V_{Rk,red}$	reduzierter charakteristischer Widerstand bei Lastangriff mit Abstand k zur Oberfläche parallel zur Platte
a_F	Fugenbreite
a_r	Abstand zum belasteten Rand
a_S	Ankerstegdicke
a_{sp}	Spaltbreite
b	rechnerische Auflagerlänge für V_1
b_V	Auflagerbreite des Mörtelankers
c	rechnerische Auflagerlänge für V_2
c_1	Abstand zum Rand 1
c_2	Abstand zum Rand 2
c_{cr}	Randabstand
c_{min}	minimaler Randabstand
d	Plattendicke
d_0	Bohrlochdurchmesser
d_1	Restwanddicke
d_{nom}	Durchmesser Rundstahlanker bzw. Ersatzdurchmesser bei anderen Ankerquerschnitten
f_{ck}	charakteristische Druckfestigkeit des Betons/Mörtels nach 28 Tagen
h	Bauteildicke
h_0	Bohrlochtiefe
h_{ef}	anrechenbare Verankerungstiefe des Ankers
l_k	Länge der Ankerauskragung
m_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden maßgebenden Biegemoments
q_1	vordere Auflagerpressung im Verankerungsgrund
q_2	hintere Auflagerpressung im Verankerungsgrund
s	reduzierter Achsabstand bei 2 benachbarten Verankerungen
s_{cr}	Achsabstand
s_{min}	minimaler Achsabstand
t_V	Dicke der Lastverteilungsplatte des Mörtelankers
v	Variationskoeffizient ermittelt aus den deklarierten Werten zu Standardabweichung und Mittelwert für die Biegefestigkeit bzw. Ausbruchslast am Ankerdornloch
z_A	Abstand zwischen Unterkonstruktion und Plattenrückseite

DIN 18516-3:2013-09

α	Plattenneigungswinkel
$\alpha_{exp,1}$	Faktor zur Berücksichtigung von Frost-Tau-Wechseln
$\alpha_{exp,2}$	Faktor zur Berücksichtigung der Durchfeuchtung
α_{exp}	Faktor zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen
α_S	Faktor zur Ermittlung der Biegeschlankheit
φ	Schwingbeiwert
χ	Dauerlastfaktor
ψ	Ermüdungsfaktor
ψ_0	Beiwert für Kombinationswerte veränderlicher Einwirkungen
ψ_1	Beiwert für häufige Werte veränderlicher Einwirkungen
ψ_2	Beiwert für quasi-ständige Werte veränderlicher Einwirkungen
γ_1	Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung des Zeitpunkts der Ermittlung der Materialkennwert
γ_2	Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Streuung der Materialeigenschaften
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung
$\gamma_{G,j}$	Teilsicherheit für ständige Einwirkungen j
γ_I	Wichtungsfaktor für Einwirkungen aus Erdbeben (siehe DIN 4149)
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand
γ_Q	Teilsicherheit für die veränderliche Einwirkung
$\gamma_{Q,i}$	Teilsicherheit für weitere veränderliche Einwirkungen i
$\gamma_{Q,j}$	Teilsicherheit für die veränderliche Einwirkung j
σ_{Ed}	Bemessungswert der vorhandenen Biegezugspannung in der Fassaden-/Leibungsplatte
σ_{Rd}	Bemessungswert des Widerstands der Biegefestigkeit
σ_{Rk}	Charakteristischer Widerstand der Biegefestigkeit
$\sigma_{Rum,exp}$	in der Erstprüfung bestimmter Mittelwert der Biegefestigkeit aus den Versuchen unter Berücksichtigung der Witterung
$\sigma_{Rum,ref}$	in der Erstprüfung bestimmter Mittelwert der Biegefestigkeit aus den Versuchen nach DIN EN 1469:2005-02, 4.2.4
$\sigma_{u5\%}$	nach DIN EN 1469 deklarierter unterer Erwartungswert der Biegefestigkeit (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung)
τ_{Rk}	charakteristischer Widerstand des Verbundes

8

4 Natursteinplatten

4.1 Allgemeines

Natursteinplatten für Außenwandbekleidungen sind durch DIN EN 1469 europäisch harmonisiert und geregelt. Die zur Verwendung kommenden Natursteinplatten müssen nach DIN EN 1469 klassifiziert und CE gekennzeichnet sein.

4.2 Charakteristische Widerstände

4.2.1 Charakteristische Biegefestigkeit σ_{Rk}

Die charakteristische Biegefestigkeit σ_{Rk} ergibt sich unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung im Naturstein wie folgt:

$$\sigma_{Rk} = \alpha_{exp} \cdot \sigma_{u\,5\%} \tag{1}$$

Dabei ist

$\sigma_{u\,5\%}$ der untere Erwartungswert der Biegefestigkeit entsprechend DIN EN 1469 (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung);

α_{exp} der Faktor zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen nach 4.3, Kleinstwert von $\alpha_{exp,1}$ und $\alpha_{exp,2}$

ANMERKUNG Nach DIN EN 1469 kann die Prüfung nach DIN EN 12372 oder DIN EN 13161 erfolgen. Für die Beurteilung und zum Vergleich von Biegefestigkeiten (z. B. nach Frost-Tau-Wechsel-Versuchen oder Durchfeuchtung nach 4.3 oder zur Überprüfung der Standsicherheit) sind die Prüfungen jeweils immer nach dem gleichen Prüfverfahren und mit gleichen Probekörperabmessungen durchzuführen.

4.2.2 Charakteristische Ausbruchlast am Ankerdorn

Der charakteristische Tragwiderstand $F_{Rk,0}$ am Ankerdorn bei Versagen durch Ausbruch am Ankerdornloch ergibt sich unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung wie folgt:

$$F_{Rk,0} = \alpha_{exp} \cdot F_{u\,5\%} \tag{2}$$

Dabei ist

$F_{u\,5\%}$ der untere Erwartungswert der Ausbruchlast am Ankerdorn nach DIN EN 1469 (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung);

α_{exp} der Faktor zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen nach 4.3, Kleinstwert von $\alpha_{exp,1}$ und $\alpha_{exp,2}$

Die mit einem Dorn von 6 mm Durchmesser ermittelten Widerstandswerte dürfen auch für einen Dorn mit 5 mm Durchmesser verwendet werden.

4.3 Eignung

Die jeweilige Eignung des zur Verwendung kommenden Natursteins hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse ist entsprechend den am Bauwerk zu erwartenden Beanspruchungen (Expositionen) nachzuweisen.

Der Einfluss von Frost-Tau-Wechseln auf die Biegefestigkeit und Ankerdorntragfähigkeit ist durch Versuche zum Frostwiderstand nach DIN EN 12371 zu prüfen.

Festigkeitsminderungen infolge von Frost-Tau-Wechseln sind über den Faktor $\alpha_{\text{exp},1}$ zu berücksichtigen:

$$\alpha_{\text{exp},1} = 1{,}25 \cdot \frac{\sigma_{\text{Rum,exp,1}}}{\sigma_{\text{Rum,ref}}} \leq 1{,}0 \qquad (3)$$

Dabei ist

$\sigma_{\text{Rum,ref}}$ der in der Erstprüfung bestimmte Mittelwert der Biegefestigkeit aus den Versuchen nach DIN EN 1469;

$\sigma_{\text{Rum,exp,1}}$ der in der Erstprüfung bestimmter Mittelwert der Biegefestigkeit aus den Versuchen nach DIN EN 1469.

Unabhängig von der Widerstandsfähigkeit gegen den Einfluss von Frost-Tau-Wechseln muss der Naturwerkstein für den Einsatz als Fassadenmaterial geeignet sein.

4.4 Durchfeuchtung

Für Werkstoffe mit einer charakteristischen Biegefestigkeit $\sigma_{\text{u}\,5\%} > 5{,}0$ N/mm^2 kann der Faktor vereinfachend mit $\alpha_{\text{exp},2} = 1{,}0$ angenommen werden.

Der Einfluss von Durchfeuchtung auf die Biegefestigkeit und Ausbruchlast am Ankerdorn ist für Werkstoffe mit einer charakteristischen Biegefestigkeit $\sigma_{\text{u}\,5\%} \leq 5{,}0$ N/mm^2 durch den Faktor $\alpha_{\text{exp},2} = 0{,}5$ zu berücksichtigen sofern kein gesonderter Nachweis geführt wird.

Der Faktor $\alpha_{\text{exp},2}$ ist nur bei einer bemessungsrelevanten Biegefestigkeit $\leq 5{,}0$ N/mm^2 und bei der Ausbruchlast am Ankerdorn nur für Dorne, die senkrecht zu dieser Biegebeanspruchungsrichtung gesetzt sind, zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Bei geschichteten Natursteinen ist die Biegefestigkeit in der statisch maßgebenden Lastrichtung zu berücksichtigen. Für den Nachweis des Einflusses von Durchfeuchtung kann $\alpha_{\text{exp},2}$ nach geeigneten Prüfungen in analoger Weise wie $\alpha_{\text{exp,1}}$ ermittelt werden. Hinweise hierzu enthält die aktuelle Bautechnische Information des DNV, BTI 1.5, herausgegeben vom Deutschen Naturwerkstein-Verband e.V. (DNV), Würzburg.

4.5 Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M} für die Fassadenplatten gilt für die Versagensarten Biegebruch der Platte und Ausbruch des Befestigungsmittels aus der Platte.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M} leitet sich wie folgt ab:

$$\gamma_{\text{M}} = 1{,}8 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \qquad (4)$$

Dabei ist

γ_1 der Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung des Zeitpunkts der Ermittlung der Materialkennwerte;

γ_1 1,25, wenn die Werkstoffprüfungen mehr als 2 Jahre zurück liegen;

γ_1 1,0, wenn die Werkstoffprüfungen weniger als 2 Jahre zurück liegen;

γ_2 der Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Streuung der Materialeigenschaften.

$$\gamma_2 = 1 + (v - 15) \cdot 0{,}03 \geq 1$$

Dabei ist

v der Variationskoeffizient, ermittelt aus den in der Erstprüfung bestimmten Werten zu Standardabweichung und Mittelwert für die Biegefestigkeit bzw. Ausbruchslast am Ankerdornloch zur Berücksichtigung der Streuung der Biegefestigkeit bzw. Ausbruchslast am Ankerdornloch, in %.

5 Befestigungen

5.1 Allgemeines

Natursteinplatten werden im Regelfall an vier, mindestens jedoch an drei Punkten befestigt. Die Befestigung der Platte kann aus unterschiedlichen Befestigungselementen bestehen.

Die Befestigungspunkte sind so anzuordnen, dass sich die Platten beim Auftreten von Temperatur- und Feuchtegradienten zwangfrei verwölben können.

Für die Befestigung der Natursteinplatten dürfen die in 5.3 bis 5.6 beschriebenen Befestigungsmittel verwendet werden (Befestigung von Leibungsplatten siehe 5.7). Es können auch andere Befestigungsmittel verwendet werden, wenn deren Eignung durch eine Produktnorm oder eine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist.

5.2 Werkstoffe der Befestigungen

Die Befestigungen müssen aus nichtrostenden Stählen nach DIN EN 10088-3 bestehen, die mindestens der Widerstandsgruppe III nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 entsprechen. Die in die Platten eingreifenden Dorne müssen mindestens der Festigkeitsklasse S 355 nach der Zulassung Z-30.3-6 entsprechen.

5.3 Ankerdorne

5.3.1 Allgemeines

Ankerdornbefestigungen werden in der Regel nach Bild 1 ausgebildet. Werden in Sonderfällen Ankertaschen erstellt, ist der Wert für die planmäßige Fugenbreite a_F um die Ankertaschentiefe zu erhöhen.

In beiden Fällen greifen die Ankerdorne über im Drehgang gebohrte Ankerdornlöcher in die Plattenstirnfläche ein. Der Durchmesser des gebohrten Dornloches muss etwa 3 mm größer sein als der Durchmesser des Ankerdornes. Die Einbindetiefe der Ankerdorne beträgt mindestens 25 mm.

Die Steindicke zwischen Dornloch und Plattenoberfläche muss mindestens 10 mm betragen, (Bild 1, Schnitt A-A).

Der Regelmindestabstand von der Plattenecke bis zur Mitte des Dornlochs beträgt 50 mm oder entspricht dem Wert des größten Ausbruchradius, ermittelt nach DIN EN 13364. Der größere Wert ist maßgebend. Bei kleineren Abständen ist ein Nachweis für die zulässige Lastaufnahme zu führen.

Für die Bemessung der Ankerdorne darf vereinfacht eine freie Kraglänge von 70 % der Spaltbreite zwischen Ankersteg und Plattenkante zugrunde gelegt werden.

Zum Ausgleich der Temperaturbewegungen der Platten werden Gleithülsen aus Polyacetat (z. B Polymethylen (POM)) in die Ankerdornlöcher mit geeignetem langzeitbeständigem Klebstoff oder Zementleim eingesetzt. Der Reibungsbeiwert zur Ankerbemessung ist mit $\mu = 0{,}2$ anzunehmen, sofern kein anderer Nachweis erbracht wird. Die Länge der Gleithülsen muss mindestens 5 mm größer sein als die Ankerdorneinbindetiefe. Das Bewegungsspiel von mindestens 2 mm zwischen Ankersteg und Platte mit Gleithülsen ist einzuhalten (Bild 1).

5.3.2 Charakteristischer Widerstand

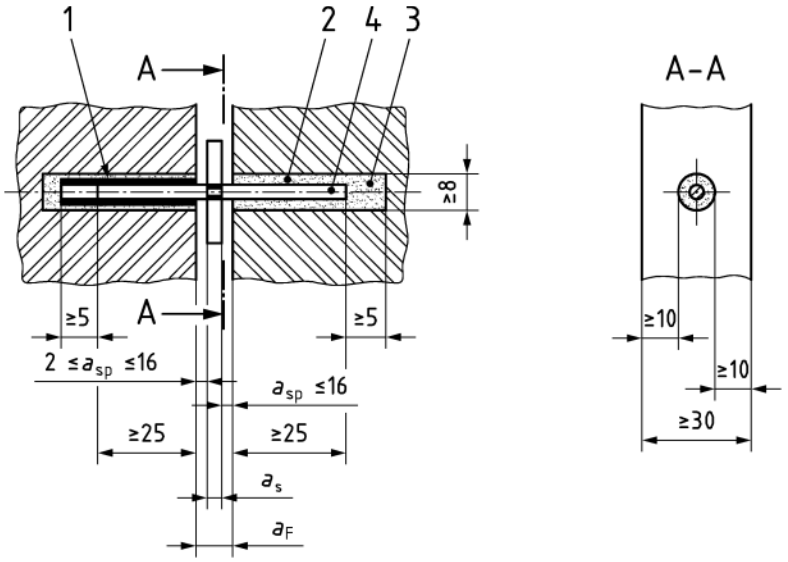
Der charakteristische Widerstand N_{Rk} gegen Versagen eines Ankerdorns ergibt sich in Abhängigkeit von der Spaltbreite nach Tabelle 1. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tabelle 1 — Charakteristischer Widerstand N_{Rk} eines Ankerdorns in Abhängigkeit von der planmäßigen Spaltbreite a_{sp}

	Spaltbreite a_{sp}	N_{Rk}
Fuge nach Bild 1	bis 4 mm	$1{,}00 \cdot F_{Rk,0}$ [a]
	bis 8 mm	$0{,}90 \cdot F_{Rk,0}$
	bis 12 mm	$0{,}80 \cdot F_{Rk,0}$
	bis 16 mm	$0{,}70 \cdot F_{Rk,0}$

[a] $F_{Rk,0}$ = Wert nach 4.2.2.

Maße in Millimeter



Legende

1 Gleithülse
2 Dornloch
3 Zementleim oder geeigneter Klebstoff
4 Dorn

a_{SP} Spaltbreite
a_F Fugenbreite
a_S Ankerstegdicke

Bild 1 — Ankerdorn mit Gleithülsen

5.4 Steckdorne

5.4.1 Allgemeines

Bei Befestigungen mit Steckdornen erhalten die Platten eine Bohrung rechtwinklig zur Plattenebene zum Einführen eines Gewindebolzens und ein Bohrloch parallel zur Plattenebene zum Einführen des Steckdornes mit einem Durchmesser von 5 mm bis 8 mm. Die erforderliche Länge des Steckdornes ergibt sich aus dem Maß der Bohrung für den Gewindebolzen und der beidseitigen Einbindung in die Platten von jeweils mindestens 25 mm (siehe Bild 2). Ein Beispiel für eine Befestigung mit einem Steckdorn zeigt Bild 3.

Bei Leibungsplatten kann der Randabstand in Richtung zur Verankerungsplatte (Mutterplatte) ohne Abminderung des Widerstands auf 40 mm reduziert werden. Bei einem Randstand von 20 mm ist der charakteristische Widerstand der Befestigung auf 50 % des Wertes für Befestigungen ohne Randeinfluss abzumindern. Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.

Der zur Verwendung kommende Steckdorn muss folgende Eigenschaften aufweisen:

a) Gewindebolzen M8 bis M12;

b) Dorndurchmesser von 5 mm bis 8 mm, Festigkeitsklasse S 355 nach DIN EN 10088-2 und Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 (Bohrlochdurchmesser 8 mm bis 10 mm im Naturstein);

c) Mutter M8 bis M12 nach DIN EN ISO 4032.

Zur Sicherstellung der Befestigung ist die Steckdornbefestigung mit einem geeigneten Drehmoment anzuziehen. Die Höchstwerte für die Drehmomente enthält Tabelle 2.

Tabelle 2 — Drehmomente für Befestigungen mit Steckdornen

Biegefestigkeit $\sigma_{u5\%}$[a] N/mm²	**Dorndurchmesser** mm	**Wirksames Drehmoment** M_D Nm
$1{,}5 \leq \sigma_{u5\%} < 3$	≥ 6[b]	$3 \leq M_D \leq 6$
$3 \leq \sigma_{u5\%} \leq 5$	≥ 6	$3 \leq M_D \leq 6$
> 5	≥ 5	$3 \leq M_D \leq 10$
ANMERKUNG Das wirksame Drehmoment M_D entspricht dem Montagedrehmoment abzüglich dem notwendigen Drehmoment zum Aufbringen der Schraubenmutter.		
[a] $\sigma_{u5\%}$ siehe 4.2.1. [b] Mindestplattendicke $d \geq 50$ mm und Restwanddicke $d_1 \geq 20$ mm.		

5.4.2 Charakteristischer Widerstand

Für den charakteristischen Widerstand gegen Versagen eines Steckdorns sind folgende Werte anzusetzen:

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte:

$$N_{Rk} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \tag{5}$$

Dabei ist

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürliche Schichtung und Reststeindicke am Ankerdornloch.

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte ohne Hebelarm:

$$V_{Rk} = 1{,}0 \cdot F_{Rk,0} \text{ (für 50 mm} \leq c_1 < \text{100 mm)} \tag{6}$$

$$V_{Rk} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \text{ (für } c_1 \geq \text{100 mm)} \tag{7}$$

(Zwischenwerte können linear interpoliert werden)

Dabei ist

c_1 der Abstand zum belasteten Rand;

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung und Reststeindicke am Ankerdornloch.

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte mit Hebelarm:

Querlasten mit Abstand zur Plattenoberfläche sind beim statischen Nachweis durch Reduktion des charakteristischen Widerstandes V_{Rk} zu berücksichtigen:

$$V_{Rk,red} = V_{Rk} \cdot \frac{d}{d + 2 \cdot z_A} \tag{8}$$

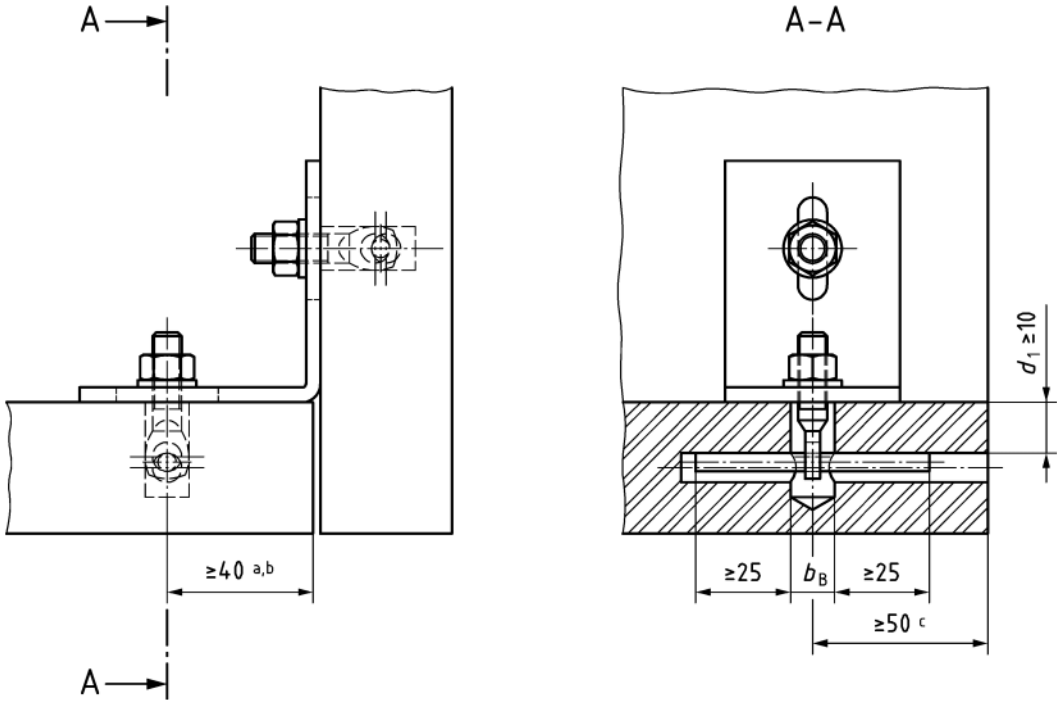
Dabei ist

V_{Rk} der Wert nach Gleichung (6) bzw. (7);

d die Plattendicke;

z_A der Abstand zwischen Unterkonstruktion und Plattenrückseite (siehe Bild 3).

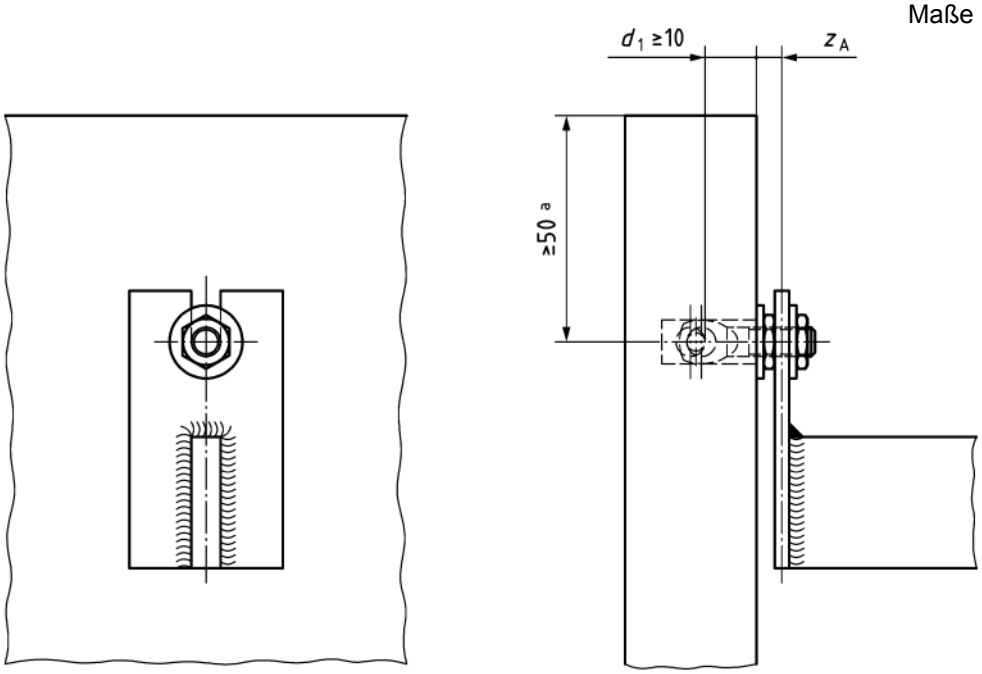
Maße in Millimeter



∅ b_B ≤ ∅ 12 mm (für M 8)
∅ b_B ≤ ∅ 14 mm (für M 10)
∅ b_B ≤ ∅ 16 mm (für M 12)
a ≥ 40 mm oder ≥ 2(d_1 + 5)
b Reduzierung auf 20 mm möglich, siehe 5.4.1
c ≥ 50 mm oder ≥ 2(d_1 + 5)

Bild 2 — Steckdorn, Beispiel

Maße in Millimeter



a oder $\geq (2(d_1 + 5)$

Bild 3 — Steckdorn mit Abstandsmontage, Beispiel

5.5 Schraubanker

5.5.1 Allgemeines

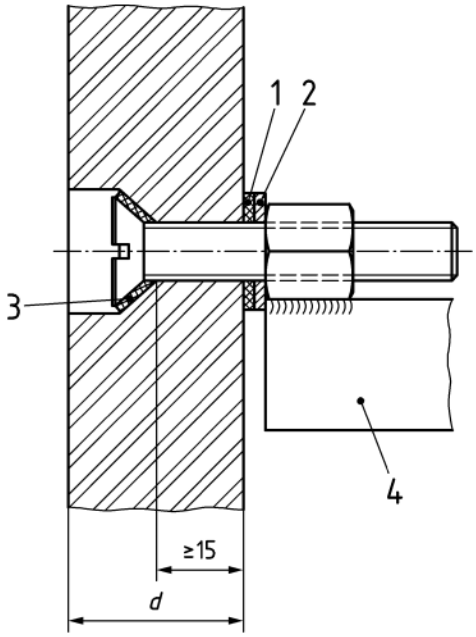
Zur Befestigung am Ankersteg dürfen auch Schrauben verwendet werden. Hierbei darf der Schraubenkopf bis zur halben Plattendicke versenkt werden. Die rückseitige Steindicke muss jeweils der vergleichbaren Reststeindicke am Ankerdornloch zuzüglich 5 mm, mindestens jedoch 15 mm betragen.

Der Abstand der Bohrlochachse in der Platte zum Rand muss mindestens 50 mm betragen.

Bei Tragankern sind Schraubanker von mindestens der Größe M10, bei Halteankern mindestens der Größe M8 erforderlich. Die Festigkeit der Schraubanker muss mindestens der Festigkeitsklasse A4-70 nach den Normen der Reihe DIN EN ISO 3506 entsprechen.

Unter dem Schraubenkopf und auf der Rückseite der Platte sind elastische Unterlegscheiben aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk), Shore-A-Härte 40 bis 60 (geprüft nach DIN 53505), zu verwenden und eine Unterlegscheibe aus nichtrostendem Stahl einzulegen (siehe Bild 4).

Maße in Millimeter



Legende

1 Unterlegscheibe aus EPDM
2 Unterlegscheibe aus nichtrostendem Stahl
3 Unterlegscheibe aus EPDM
4 Ankersteg

Bild 4 — Schraubanker, Beispiel

5.5.2 Charakteristischer Widerstand

Für den charakteristischen Widerstand gegen Versagen eines Schraubankers sind folgende Werte anzusetzen:

a) charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte:

$$N_{RK} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \tag{9}$$

Dabei ist

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung und Reststeindicke sowie der Witterungseinflüsse und Durchfeuchtung am Ankerdornloch.

b) charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte ohne Hebelarm:

$$V_{RK} = 1{,}0 \cdot F_{Rk,0} \text{ (für 50 mm} \leq c_1 < \text{100 mm)} \tag{10}$$

$$V_{RK} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \text{ (für } c_1 \geq \text{100 mm)} \tag{11}$$

(Zwischenwerte können linear interpoliert werden)

Dabei ist

c_1 der Abstand zum belasteten Rand;

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung und Reststeindicke sowie der Witterungseinflüsse und Durchfeuchtung am Ankerdornloch.

c) charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte mit Hebelarm:

Querlasten mit Abstand zur Plattenoberfläche sind beim statischen Nachweis nach 5.4.2, Gleichung (8), zu berücksichtigen.

Bei Randabständen des Schraubankers $c_1 \geq 200$ mm kann auf den Nachweis gegen Querbeanspruchung und den Nachweis der Interaktion verzichtet werden.

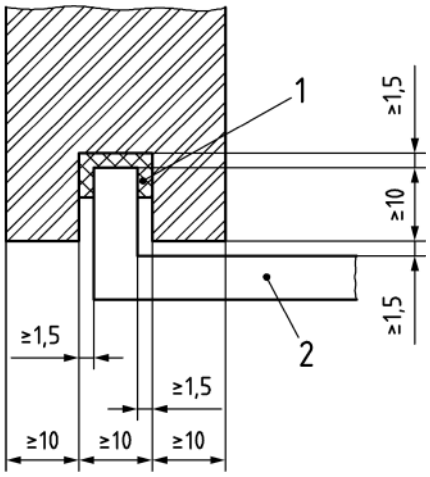
5.6 Nutlagerung

5.6.1 Allgemeines

In die Plattenkanten darf zur Lagerung eine Nut für Befestigungsteile eingeschnitten werden (Bild 5). Die Steinrestdicke auf beiden Seiten muss jeweils mindestens 10 mm betragen. Der Profilsteg muss mit einem Profilband aus EPDM überzogen sein. Die Nut muss 3 mm größer sein als der eingelassene Profilsteg. Die Auflagerlänge des Profilstegs muss zwischen mindestens 20 mm und maximal 50 mm betragen. 5.1 gilt sinngemäß.

An Profilstegen, die als Halteanker dienen, ist ein Bewegungsspiel von min. 2 mm vorzusehen.

Maße in Millimeter



Legende

1 Profilband aus EPDM
2 Profilsteg

Bild 5 — Nutlagerung

5.6.2 Charakteristischer Widerstand

Für den charakteristischen Widerstand der Nutlagerung gegen Versagen sind folgende Werte anzusetzen:

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte:

$$N_{RK} = 1{,}0 \cdot F_{Rk,0} \tag{12}$$

Dabei ist

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung und Reststeindicke am Ankerdornloch.

5.7 Befestigung von Leibungsplatten

Leibungsplatten dürfen auch an einer anderen Bekleidungsplatte (Mutterplatte) verankert werden (siehe Bild 6).

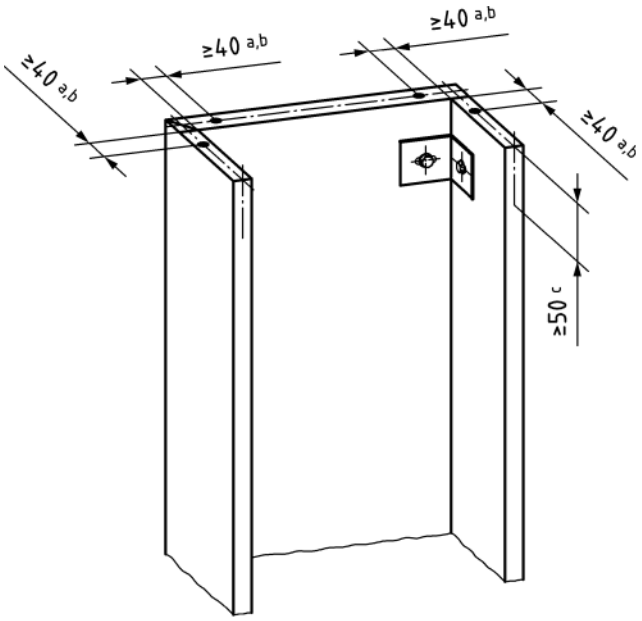
Die Leibungsplatten und der Einfluss der Leibung auf die Mutterplatte sind statisch nachzuweisen.

Die Befestigungs- und Verbindungselemente der Leibung und der Mutterplatte sind statisch nachzuweisen.

Leibungsplatten dürfen nach Bild 2 mit Steckdornen und Winkelverbindungen befestigt werden.

Bei der Ermittlung der Kräfte und Schnittgrößen in der Mutter- und Leibungsplatte sind die Steifigkeiten der verwendeten Winkel zu berücksichtigen.

Maße in Millimeter



a 40 mm oder $\geq 2(d_1 + 5)$
b Reduzierung auf 20 mm möglich, siehe 5.4.1
c $\geq$ 50 mm oder $\geq 2(d_1 + 5)$

Bild 6 — Leibungswinkel mit Steckdornbefestigung, Beispiel

5.8 Befestigung von Ausbauteilen

Fenster, Türen, Beleuchtungs- und Werbeanlagen sowie Gerüste und ähnliches dürfen nicht an den Natursteinplatten befestigt werden.

6 Verankerungen

6.1 Allgemeines

Die Verankerung der Natursteinplatten direkt am Bauwerk erfolgt über Trag- und Halteanker. Deren Typ, Größe, erforderlicher Bohrlochdurchmesser und -tiefe sowie Lage am Bauwerk sind in den Planunterlagen anzugeben.

Traganker können Beanspruchungen in allen Richtungen aufnehmen und in den Verankerungsgrund einleiten. Halteanker sind im Allgemeinen so konstruiert, dass nur Lasten aus Wind und Zwängungen aufgenommen und in den Verankerungsgrund weitergeleitet werden. Der Ankerdorn ist jeweils im Ankersteg eingefügt.

Als Trag- und Halteanker dürfen die in dieser Norm beschriebenen eingemörtelten Verankerungen (Mörtelanker) verwendet werden. Es können auch andere Verankerungsmittel verwendet werden, wenn deren Eignung durch eine Produktnorm oder eine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist.

Die Weiterleitung der Lasten aus den Verankerungsmitteln im als Verankerungsgrund dienenden Bauteil ist durch den Tragwerksplaner nachzuweisen. Hierbei sind die üblichen Nachweisverfahren unter Berücksichtigung der durch die Verankerungsmittel eingeleiteten Lasten anzuwenden.

6.2 Werkstoffe der Verankerungen

Die Verankerungen müssen aus nichtrostenden Stählen nach DIN EN 10088-3 bestehen, die mindestens der Widerstandsgruppe III nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 entsprechen.

6.3 Eingemörtelte Verankerungen

6.3.1 Ankerform

Eingemörtelte Verankerungen bestehen aus einem Stahlteil, das in einem vermörtelten Bohrloch oder einer vermörtelten Aussparung verankert ist.

Traganker sind als Typ 1 bis Typ 7 (siehe Bilder 8 bis 10 und Bilder B.1 bis B.4) auszubilden.

Halteanker sind als Typ 2 bis Typ 7 (siehe Bilder 9, 10, B.1 bis B.4) auszubilden.

Die eingemörtelten Verankerungen werden im Normalfall in senkrecht zum Verankerungsgrund gebohrte Löcher gesetzt. Eingemörtelte Verankerungen können zudem in ausgesparten Löchern mit konischen oder wellenförmigen Aufweitungen montiert werden.

In Sonderfällen ist bei Bauteilecken von Stahlbetontragwerken ein Schrägsetzen der eingemörtelten Anker bis zu einem Winkel von $\alpha \geq 60°$ (einschließlich Schrägstellung nach 6.3.5) gegen den Verankerungsgrund möglich (siehe Bild 7). Die Verankerungstiefe ist bei $\alpha = 60°$ um das Maß des Bohrlochdurchmessers d_0 zu erhöhen. Zwischenwerte können interpoliert werden.

Weiterhin sind die Abstände zu benachbarten Bauteilrändern oder Ankern sowohl im Bohrlochtiefsten als auch am Bohrlochmund einzuhalten. Unter diesen Bedingungen können die Widerstände für in senkrechten Löchern eingemörtelten Verankerungen bei der Bemessung angesetzt werden.

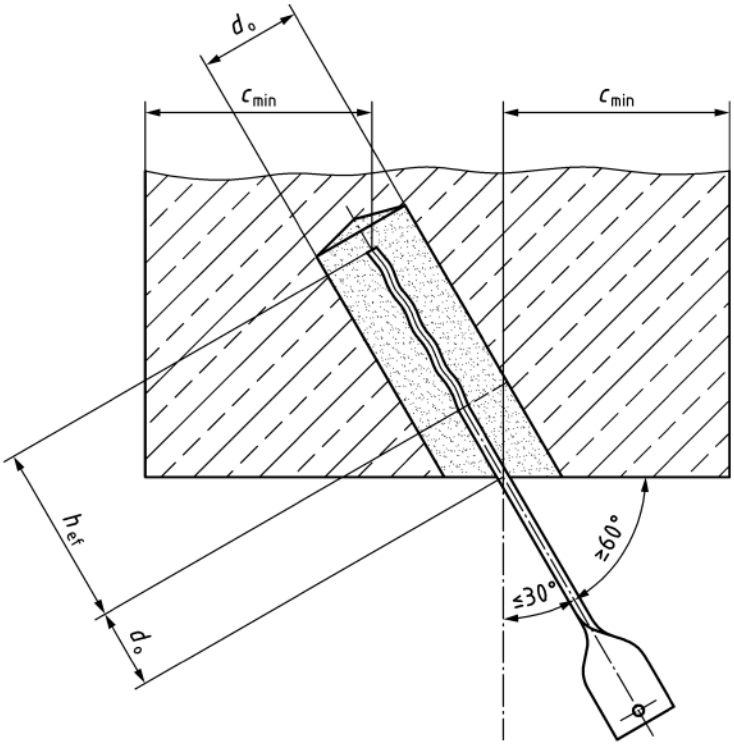
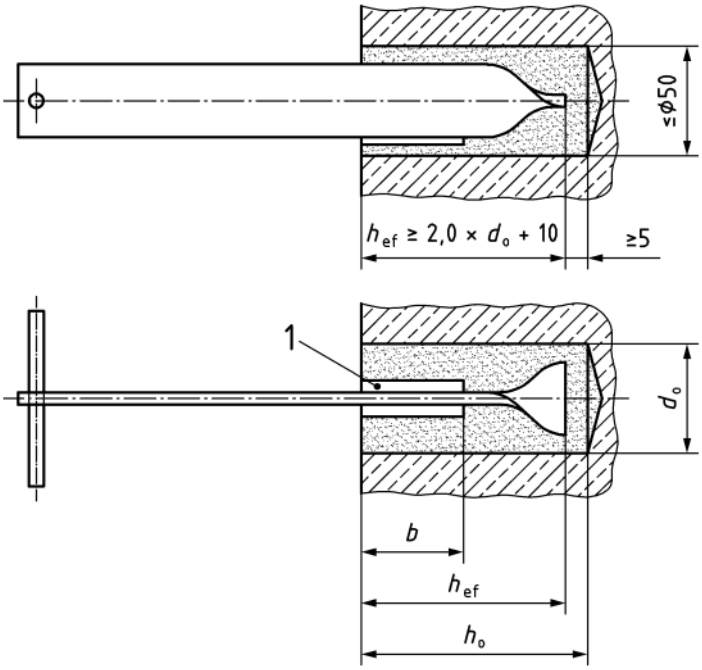


Bild 7 — Mindestrandabstand bei einem schräg gesetzten eingemörtelten Anker in der Bauteilecke

DIN 18516-3:2013-09

Maße in Millimeter



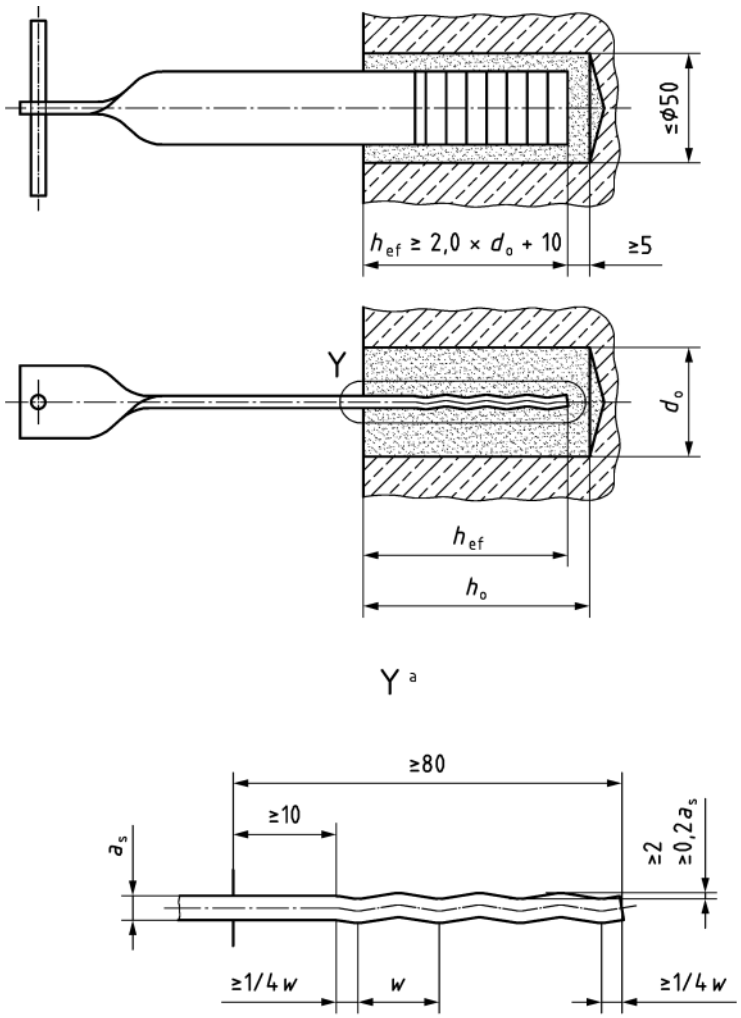
Legende

1 Druckverteilungsplatte

b Länge der Druckverteilungsplatte
d_0 Bohrlochdurchmesser
h_0 Bohrlochtiefe
h_{ef} Verankerungstiefe

Bild 8 — Flachstahlanker mit um 40° bis 90° gedrehtem Ende (Typ 1)

Maße in Millimeter



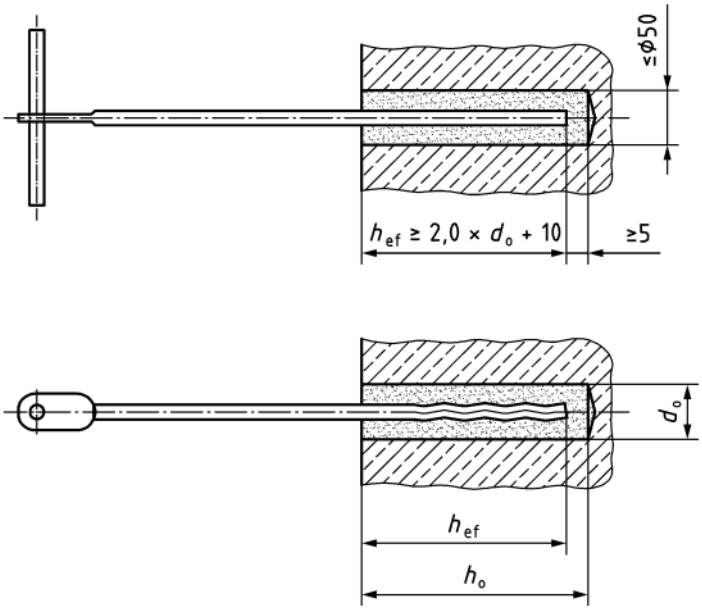
Legende

d_0	Bohrlochdurchmesser
h_0	Bohrlochtiefe
h_{ef}	Verankerungstiefe
a_S	Ankerstegdicke
w	Abstand Wellung = 15 mm bis 35 mm, mindestens 2 Wellungen je Anker

[a] ohne Mörtel dargestellt

Bild 9 — Flachstahlanker mit gewelltem Ende (Typ 2)

Maße in Millimeter



Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser
h_0 Bohrlochtiefe
h_{ef} Verankerungstiefe

Bild 10 — Rundstahlanker mit gewelltem Ende (Typ 3) — (Ausbildung der Wellung siehe Bild 9)

6.3.2 Verankerungsmörtel

Für die Verankerung in Beton oder Mauerwerk dürfen folgende Mörtel verwendet werden:

- Mauermörtel M10 nach DIN EN 998-2,
- Betoninstandsetzungsmörtel nach DIN EN 1504-6,
- Mineralische Werktrockenmörtel mit Qualitätsüberwachung mit einer charakteristischen Druckfestigkeit von mindestens 20 N/mm^2, die mindestens die Anforderungen an Mauermörtel M 20 nach DIN EN 998-2 erfüllen.

Die Anker dürfen frühestens nach den in Tabelle 3 angegebenen Mindestaushärtezeiten belastet werden. Bei Temperaturen des Verankerungsgrundes oder der Platten unter 5 °C dürfen Anker nicht gesetzt werden.

Tabelle 3 — Fristen für die Belastbarkeit des Ankermörtels

Temperatur des Verankerungsgrundes	Neigung des aufwärts gebohrten Ankerlochs gegen die Horizontale				
	≤ 30°			> 30°	
	Verankerungsgrund				
	Mauerwerk	C16/20	C20/25 bis C50/60	C16/20	C20/25 bis C50/60
	Tage				
über 10 °C	1	1	2	3	3
5 °C bis 10 °C	3	3	10	14	14

6.3.3 Vorgaben für Entwurf, Einbau und Montage

6.3.3.1 Entwurf

Der Widerstand und die Zuverlässigkeit der Verankerung werden wesentlich von der Sorgfalt bei Entwurf und Einbau beeinflusst. Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sind in angemessener Weise zu beachten.

Die charakteristischen Widerstände nach 6.3.6 und 6.3.7 gelten unter folgenden Voraussetzungen:

a) Die Bemessung der Verankerungen erfolgt unter der Verantwortung von auf dem Gebiet der Verankerungen erfahrenem Fachpersonal.

b) Es sind prüfbare Berechnungen und Konstruktionszeichnungen unter Berücksichtigung der zu verankernden Lasten anzufertigen. Dabei sind in den Konstruktionszeichnungen das zu verwendende Verankerungsmittel, das Bohrverfahren, der Bohrlochdurchmesser und die Bohrlochtiefe sowie die Lage der Verankerung anzugeben.

c) Die Weiterleitung der Kräfte aus den Verankerungen in das Bauwerk ist statisch nachgewiesen.

d) Die Einbaubedingungen und Montagevorgaben nach 6.3.3.2 sind eingehalten.

6.3.3.2 Einbau und Montage

Der Einbau der eingemörtelten Verankerungen hat durch entsprechend geschultes Personal zu erfolgen. Der Einbau hat mit planmäßig vorgesehenen Teilen und den angegebenen Werkzeugen nach den Angaben der Konstruktionszeichnungen zu erfolgen.

Vor dem Bohren der Ankerlöcher ist die Wärmedämmung bis zu einer Größe von höchstens 150 mm × 150 mm bzw. einem Durchmesser von höchstens 150 mm auszuschneiden. Nach dem Einmörteln der Anker ist das ausgeschnittene Stück Wärmedämmung wieder sorgfältig einzusetzen.

Die Bohrlöcher sind so anzuordnen und herzustellen, dass evtl. vorhandene Bewehrung nicht beschädigt wird. Vor dem Setzen des Verankerungsmittels ist optisch zu kontrollieren, ob der vorhandene Untergrund den planmäßigen Vorgaben entspricht und eine einwandfreie Beschaffenheit aufweist.

Bohrlöcher in Beton und Vollsteinmauerwerk sind vorzugsweise im Hammerbohrverfahren herzustellen. Die Bohrlocherstellung mit Pressluft in Stahlbetonbauwerken ist prinzipiell möglich. In diesem Fall hat die Ermittlung des Widerstands der eingemörtelten Anker durch Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu erfolgen. Diamantgebohrte Löcher sind in Stahlbetontragwerken nicht gestattet. In Vollmauerwerk sind diamantgebohrte Löcher nachträglich mit Spezialwerkzeugen aufzurauen oder konisch mit mindestens 5 mm einseitiger Hinterschneidung herzustellen.

In Lochsteinen sind die Bohrlöcher vorzugsweise im Drehbohr- oder Diamantbohrverfahren zu erzeugen, da das Hammerbohrverfahren zu signifikanten Vorschädigungen im Stein mit deutlicher Reduzierung des Widerstands führen kann.

Der Durchmesser des Bohrlochs darf 50 mm nicht überschreiten.

Die Ankereinbindetiefe muss mindestens das 2fache + 10 mm des Bohrlochdurchmessers betragen. Die Bohrloch- oder Aussparungstiefe muss mindestens 5 mm größer als die Ankereinbindetiefe sein. Die geforderte Verankerungstiefe des Verankerungselements ist einzuhalten.

Vor dem Einsetzen der Anker ist das Bohrloch mit einer Rundbürste sorgfältig vom Bohrstaub durch mehrmaliges Ausbürsten und Ausblasen (bzw. Aussaugen) zu säubern.

Vorgefertigte Aussparungen zur Aufnahme der Verankerung sind gewellt oder hinterschnitten herzustellen. Schalungsreste müssen zur Haftverbesserung des Ankermörtels vollständig entfernt werden.

Vor dem Verfüllen sind die Löcher ausreichend vorzunässen. Anschließend sind die Löcher mit Mörtel hohlraumfrei zu verfüllen und nach dem Einsetzen der Anker mit geeignetem Werkzeug nachzuverdichten und bündig am Untergrund abzustreichen.

Die eingemörtelten Verankerungen dürfen frühestens nach den in Tabelle 3 angegebenen Fristen belastet werden.

6.3.4 Rechnerische Verankerungstiefe

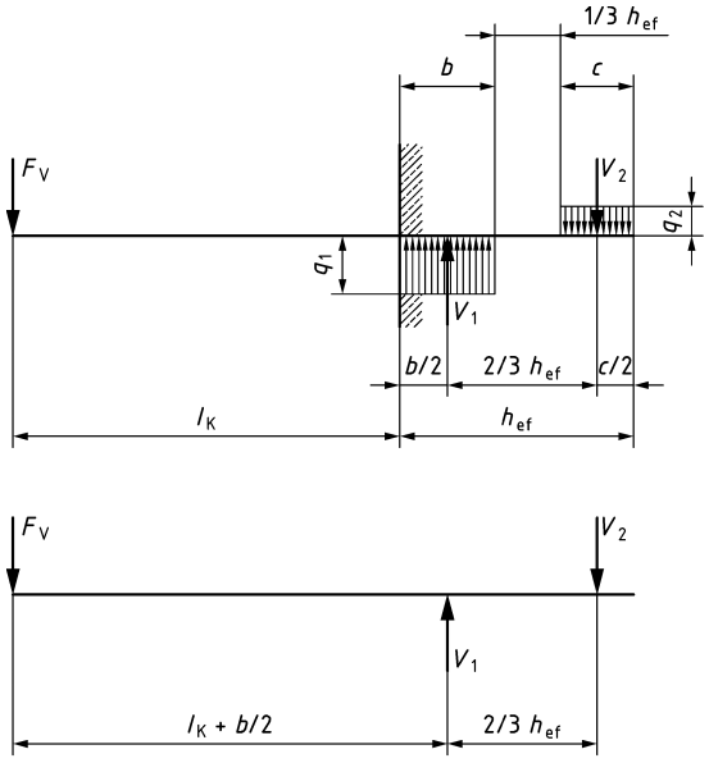
Die rechnerische Verankerungstiefe für Traganker darf höchstens das 8fache der Ankersteghöhe betragen. Bei der Ermittlung der Auflagerkräfte im Verankerungsgrund darf vereinfachend angenommen werden, dass der gegenseitige Abstand der Auflagerkräfte 2/3 der rechnerischen Verankerungstiefe beträgt (siehe Bild 11).

6.3.5 Ermittlung der Ankerquerschnitte

Die Ermittlung des erforderlichen Ankerquerschnittes ist für den Schnitt an der vorderen Auflagerachse (V_1 nach Bild 11) des Verankerungsgrundes unter Berücksichtigung der Momentenausrundung durchzuführen. Hierbei sind Schrägstellungen von $l_K/20$ der Ankerauskragung bzw. mindestens 15 mm bei bewehrten Bauteilen mit einzurechnen.

Zur Ermittlung der Auflagerpressungen darf vereinfachend eine rechteckige Spannungsverteilung verwendet werden (Bild 11).

Beim Nachweis der Pressung unter dem Ankersteg darf bei Verankerungen in Beton der 3fache Wert der einaxialen Druckfestigkeit des Verankerungsmörtels angesetzt werden. Bei Verankerungen in Mauerwerk darf das 1,5fache des kleineren Wertes aus einaxialer Druckfestigkeit des Verankerungsmörtels und Steindruckfestigkeit angesetzt werden.



Legende

b	rechnerische Auflägerlänge bei V_1
c	rechnerische Auflägerlänge bei V_2
F_V	rechnerisch angreifende Vertikalkraft
l_K	Ankerkraglänge
h_{ef}	Verankerungstiefe
V_1 und V_2	Auflagerkräfte im Verankerungsgrund
q_1 und q_2	Auflagerpressungen

Bild 11 — Rechnerische Einbindetiefe von eingemörtelten Tragankern (Modell)

6.3.6 Charakteristischer Widerstand im Mauerwerk

Die harmonisierten Europäischen Normen im Mauerwerksbau ermöglichen eine große Vielfalt von Mauersteinen, die sich in Material, Festigkeit, Rohdichte sowie Form und Ausbildung unterscheiden. Daher stellt Mauerwerk im Hinblick auf die Verankerung einen sehr komplexen und hinsichtlich des Widerstands nicht eindeutig charakterisierbaren Verankerungsgrund dar.

Eingemörtelte Verankerungen werden unter folgenden Bedingungen als geeignet zur Verankerung von Natursteinwerksteinplatten am Bauwerk aus Mauersteinen angesehen:

a) Der Bohrlochdurchmesser darf 50 mm nicht überschreiten;

b) Die rechnerische Verankerungstiefe h_{ef} beträgt bei

   1) Halteankern $h_{ef} \geq 80$ mm;

   2) Tragankern $h_{ef} \geq 120$ mm;

c) Die Bauteildicke beträgt

1) $h \geq 240$ mm bzw.;

2) $h \geq 1{,}5\ h_{ef}$;

Der größere Wert ist maßgebend;

d) der minimale Achsabstand s_{min} beträgt in:

1) Vollstein: $s_{min} \geq$ max (300 mm; 20 d_{nom})

(d_{nom} = statisch erforderlicher Ersatzdurchmesser für zentrischen Zug);

2) Lochstein: $s_{min} \geq$ max (300 mm; l_{Stein})

e) der minimale Randabstand c_{min} beträgt in:

1) Vollstein: $c_{min} \geq$ max (150 mm; 10 d_{nom}; 3 d_0);

(d_{nom} = statisch erforderlicher Ersatzdurchmesser für zentrischen Zug);

2) Lochstein: $c_{min} \geq$ max (150 mm; 0,5 l_{Stein}; 6 d_0);

f) Die Druckfestigkeit des Verankerungsmörtels entspricht bei Belastungsbeginn zumindest der Steindruckfestigkeit.

Der charakteristische Widerstand des Verbundes ist für das jeweilige Mauerwerk gesondert über Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu ermitteln. Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit der Verankerung in Mauerwerk darf im statischen Nachweis für einen Anker jedoch maximal F_{Rk} = 4,0 kN angesetzt werden.

Für Druckkräfte gelten dieselben Werte.

6.3.7 Charakteristischer Widerstand des Verbundes in Beton

6.3.7.1 Allgemeines

Die folgenden Ausführungen gelten für Normalbeton nach DIN EN 206-1. Der charakteristische Widerstand für Verankerungen in Leichtbeton ist gesondert über Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu ermitteln.

Eingemörtelte Verankerungen werden unter folgenden Bedingungen als geeignet zur Verankerung von Naturwerksteinplatten am Bauwerk aus Stahlbeton angesehen:

a) Die Ermittlung der charakteristischen Widerstände des Verbundes erfolgt nach 6.3.7.2 bis 6.3.7.5 bei der Anwendung verschiedener Verfahren ist der größere Widerstand maßgebend;

b) Der Bohrlochdurchmesser d_0 darf 50 mm nicht überschreiten;

c) Die rechnerische Verankerungstiefe beträgt $h_{ef} \geq 80$ mm bzw. $h_{ef} \geq 2\ d_0 + 10$ mm. Der größere Wert ist maßgebend;

d) die Mindestbauteildicke beträgt für

1) Traganker: $h \geq 150$ mm bzw. $h \geq h_{ef} + 2\ d_0$, der größere Wert ist maßgebend

2) Halteanker: $h \geq 120$ mm bzw. $h \geq h_{ef} + 2\ d_0$, der größere Wert ist maßgebend;

e) Rand- und Achsabstände (falls in 6.3.7.2 bis 6.3.7.5 nichts anderes bestimmt)

1) c_{min} = 80 mm bzw. 2 d_0

2) Randabstand: $c_{cr} \geq 1\ h_{ef}$

3) s_{min} = 100 mm bzw. 3 d_o

4) Achsabstand: $s_{cr} \geq 2\ h_{ef;}$

f) Der Mindestdurchmesser des Ankers beträgt 5 mm. Bei Rechteckquerschnitten muss die Mindestdicke 2 mm betragen und die Breite der längeren Seite darf einen Wert von 15 mm nicht unterschreiten;

g) Bei randnahen Verankerungen muss das Bauteil im Bereich der Verankerungstiefe eine Randbewehrung besitzen.

6.3.7.2 Verfahren A (vereinfachter Nachweis)

Verfahren A zur Ermittlung des Widerstands des Verbundes der Verankerungen gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C12/15. Die Bestimmung der Ankertragfähigkeit erfolgt für C12/15 und C16/20 durch Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8. In der Bemessung dürfen jedoch maximal die charakteristischen Widerstände nach Gleichung (13) bzw. Tabelle 4 angesetzt werden.

Die Bestimmungen in 6.3.7.1 sind zu beachten.

Der charakteristische Widerstand für eingemörtelte Verankerungen in Beton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25 ergibt sich aus dem Produkt der anrechenbaren Mantelfläche des Ankers und dem charakteristischen Widerstand des Verbundes des Mörtels:

$$F_{Rk} = A \cdot \tau_{Rk} \tag{13}$$

$$\text{mit } A = U \cdot h_{ef} \tag{14}$$

Dabei ist

τ_{Rk} der charakteristische Widerstand des Verbundes;

A die anrechenbare Mantelfläche des Ankers;

U der anrechenbare Umfang des Ankers nach Tabelle 6;

hef der rechnerische Verankerungstiefe des Ankers: 80 mm ≤ hef ≤ 120 mm.

Der charakteristische Widerstand des Verbundes beträgt im gerissenen Beton τ_{Rk} = 1,0 N/mm^2 und im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton τ_{Rk} = 1,4 N/mm^2. Der Nachweis für ungerissenen Beton ist nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 zu führen. Die für den Widerstand des Verbundes rechnerisch in Ansatz gebrachte Verankerungstiefe darf höchstens 120 mm betragen. Der nach Gleichung (13) ermittelte charakteristische Widerstand des Verbundes gilt für alle Beanspruchungsrichtungen (Axial-, Schräg- und Querlast).

Tabelle 4 enthält charakteristische Widerstände des Verbundes für gerissenen Beton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25, ermittelt nach Gleichung (13) für Trag- und Halteanker aus Rund- und Flachstahl, abhängig von der Ankergröße und der Verankerungstiefe.

Die charakteristischen Widerstände des Verbundes nach Gleichung (13) bzw. Tabelle 4 gelten nur bei Herstellung der Bohrlöcher im Hammerbohrverfahren und bei Einhaltung der Achs- und Randabstände nach Tabelle 5. Die angegebenen Rand- und Achsabstände sind über die gesamte Länge des Verankerungsmittels einzuhalten.

Befindet sich der Verankerungspunkt im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton, dürfen die in Tabelle 4 angegebenen charakteristischen Widerstände des Verbundes um den Faktor 1,4 erhöht werden.

Werden andere Bohrverfahren als Hammerbohren oder andere Ankerformen als nach Bild 8 bis Bild 10, sowie nach Bild B.1 bis Bild B.4 eingesetzt, ist der charakteristische Widerstand des Verbundes durch Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu ermitteln. Im statischen Nachweis dürfen jedoch maximal die Werte nach Tabelle 4 angesetzt werden.

Tabelle 4 — Charakteristische Widerstände des Verbundes F_{Rk} (kN) von Trag- und Halteankern aus Rund- und Flachstahl unter zentrischen Zug-, Quer- und Schrägzuglasten in gerissenem Beton der Festigkeitsklasse ≥ C20/25, soweit kein Nachweis geführt wird

Trag und Halteranker			**Charakteristischer Widerstand des Verbundes F_{Rk}** in kN		
			Verankerungstiefe h_{ef} in mm		
			80	100	120
Rundstahlanker	d_{nom} in mm	6	**1,5**	**1,9**	**2,3**
		8	**2,0**	**2,5**	**3,0**
		10	**2,5**	**3,1**	**3,8**
		12	**3,0**	**3,8**	**4,5**
		14	**3,5**	**4,4**	**5,3**
Flachstahlanker	Umfang in mm	≥ 30	**2,4**	**3,0**	**3,6**
		≥ 60	**4,8**	**6,0**	**7,2**
		≥ 90	**7,2**	**9,0**	**10,8**

Tabelle 5 — Mindestbauteildicke, Rand- und Achsabstand für Trag- und Halteanker in gerissenem Beton der Festigkeitsklassen ≥ C20/25, soweit kein Nachweis geführt wird

Verankerungstiefe h_{ef} in mm		**80**	**100**	**120**
Mindestbauteildicke in mm	für $d_0 \leq 32$ mm	150	160	180
	für $d_0 \leq 50$ mm	180	200	220
Randabstand c_{cr}	in mm	120		
Achsabstand s_{cr}	in mm	240		

Tabelle 6 — Anrechenbarer Umfang für Ankertypen

Ankertyp	Anrechenbarer Umfang
Rund- und Flachstahl (Typ 1 bis 3)	Umfang
U-Querschnitt mit Stegwellung oder Stegstanzung (Typ 4 und 5)	90 % Umfang Steg
Rundrohranker mit Eindrückung am Ankerende (Typ 6)	70 % Umfang
Gerüstanker zusammengesetzt aus zwei kraftschlüssig verbundenen ineinander liegenden U-Profilen (Typ 7)	Außenumfang

Werden die erforderlichen Rand- bzw. Achsabstände nach Tabelle 5 nicht eingehalten, ist der charakteristische Widerstand des Verbundes eines Ankers nach Gleichung (13) bzw. Tabelle 4 bei Unterschreiten des Randabstandes c_{cr} und/oder des Achsabstandes s_{cr} zweier benachbarter Anker nach Gleichung (15) abzumindern. Eine Unterschreitung des Achsabstandes ist nur in eine Richtung und maximal zwischen zwei benachbarten Ankern zulässig.

Dabei dürfen folgende Mindestabstände nicht unterschritten werden:

— minimaler Randabstand c_{min} = 80 mm bzw. 2 d_0;

— minimaler Achsabstand s_{min} = 100 mm bzw. 3 d_0.

Der abgeminderte charakteristische Widerstand red F_{Rk} wird damit:

$$\text{red } F_{Rk} = \left[\left(c_1 / c_{cr}\right)\cdot\left(c_2 / c_{cr}\right)\cdot\left(1 + s / s_{cr}\right)/2\right] F_{Rk} \qquad (15)$$

Dabei ist

F_{Rk} der Wert nach Gleichung (13) bzw. Tabelle 4;

c_1 der reduzierte Abstand zum Rand 1 ($c_{min} \leq c_1 \leq c_{cr}$);

c_2 der reduzierte Abstand zum Rand 2 ($c_{min} \leq c_2 \leq c_{cr}$);

s der reduzierte Achsabstand bei zwei benachbarten Verankerungen ($s_{min} \leq s \leq s_{cr}$);

c_{cr} der Wert nach Tabelle 5;

s_{cr} der Wert nach Tabelle 5.

Die Mindestbauteildicke darf im Ausnahmefall (Verankerungen in Brüstungen) bis auf h_{min} = 150 mm reduziert werden, wenn bei Einhaltung des Randabstandes nach Tabelle 5 der Achsabstand mindestens 280 mm beträgt.

Für Druckkräfte gelten dieselben charakteristischen Werte.

6.3.7.3 Verfahren B (Verbundwiderstand konstant)

Verfahren B zur Ermittlung des Widerstands des Verbundes der Verankerungen gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25.

Die Bestimmungen in 6.3.7.1 sind zu beachten.

Die Ermittlung des charakteristischen Widerstandes des Verbundes der Verankerung erfolgt anwendungsspezifisch durch den Nachweis der möglichen Versagensarten in Abhängigkeit von der

DIN 18516-3:2013-09

Beanspruchungsrichtung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 unter Ansatz des Profilfaktors auf die Verbundspannung τ_{Rk} und zusätzlichem Nachweis der Pressung für Mörtel (siehe 6.3.5).

Der in der Bemessung anzusetzende charakteristische Verbundwiderstand beträgt im gerissenen Beton τ_{Rk} = 1,0 N/mm^2 und im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton τ_{Rk} = 1,4 N/mm^2. Die für den Verbundwiderstand rechnerisch in Ansatz gebrachte Verankerungstiefe darf höchstens 120 mm betragen.

Für die Berechnung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 gelten folgende Randbedingungen:

a) es gelten die Anwendungsgrenzen nach Abschnitt 6 dieser Norm;

b) folgende Werte werden abweichend von DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 der Berechnung zugrunde gelegt:

1) Nachweis gegen Kombiniertes Herausziehen und Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (2):

$$N^0_{RKp} = \tau_{Rk} \cdot U \cdot h_{ef}$$

Dabei ist

U der anrechenbare Umfang des Ankers nach Tabelle 6;

h_{ef} die rechnerische Verankerungstiefe des Ankers: 80 mm $\leq h_{ef} \leq$ 120 mm,

2) Nachweis gegen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (13), (14):

k_{cr} = 7,0 k_{ucr} = 10,0

3) Nachweis gegen Betonkantenbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (29), Tabelle 6:

$$d_{nom} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}}$$

Dabei ist

d_{nom} der Ersatzdurchmesser;

I das Trägheitsmoment des Ankerquerschnitts.

4) Nachweis gegen rückwärtigen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (27)

$$V_{Rkcp} = k_3 \cdot N_{Rkp}$$

k_3 = 1,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} = 2$

k_3 = 2,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} \geq 4$

Werte für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} < 2$ sind nicht zulässig. Zwischenwerte für 2 ≤ $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} \leq 4$ können interpoliert werden.

Die Mindestbreite des Ankerauflagers beträgt b_V = 5/6 $\cdot d_{nom}$. Die Mindestdicke des Auflagers beträgt t_V = 2 mm

6.3.7.4 Verfahren C (Verbundwiderstand variabel)

Verfahren C gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25 mit geeignetem Zementmörtel nach 6.3.2 in Verbindung mit der DAfStb Richtlinie „Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel“

Die Bestimmungen in 6.3.7.1 sind zu beachten.

Die Ermittlung des charakteristischen Widerstandes des Verbundes der Verankerung erfolgt anwendungsspezifisch durch den Nachweis der möglichen Versagensarten in Abhängigkeit von der Beanspruchungsrichtung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 unter Ansatz des Profilfaktors auf die Verbundspannung τ_{Rk} und zusätzlichem Nachweis der Pressung für Mörtel (siehe 6.3.5).

Der charakteristische Verbundwiderstand beträgt im gerissenen Beton $\tau_{Rk} = 0{,}22 f_{ck}^{2/3}$ in N/mm^2. Bei der Anwendung im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton darf der Verbundwiderstand um den Faktor 1,4 erhöht werden. Die Festigkeit des Mörtels darf nur bis zur Festigkeitsklasse C 40/50 genutzt werden.

Die für den Verbundwiderstand rechnerisch in Ansatz gebrachte Verankerungstiefe darf höchstens 120 mm betragen.

Für die Berechnung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 gelten folgende Randbedingungen:

a) Es gelten die Anwendungsgrenzen nach Abschnitt 6 dieser Norm;

b) Folgende Werte werden abweichend von DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 der Berechnung zugrunde gelegt:

   1) Nachweis gegen kombiniertes Herausziehen und Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (2):

      $$N_{RKp}^{0} = \tau_{Rk} U \cdot h_{ef}$$

      Dabei ist

      U der anrechenbare Umfang des Ankers nach Tabelle 6;

      h_{ef} die rechnerische Verankerungstiefe des Ankers: 80 mm $\leq h_{ef} \leq$ 120 mm.

   2) Nachweis gegen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (13), (14):

      k_{cr}= 7,0 k_{ucr} = 10,0

   3) Nachweis gegen Betonkantenbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (29), Tabelle 2:

      $$d_{nom} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}}$$

      Dabei ist

      d_{nom} der Ersatzdurchmesser;

      I das Trägheitsmoment des Ankerquerschnitts.

   4) Nachweis gegen rückwärtigen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (27)

      $$V_{Rkcp} = k_3 \cdot N_{Rkp}$$

k_3 = 1,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} = 2$

k_3 = 2,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} \geq 4$

Werte für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} < 2$ sind nicht zulässig. Zwischenwerte für $2 \leq \frac{h_{ef}}{d_{nom}} \leq 4$ können interpoliert werden.

Die Mindestbreite des Ankerauflagers beträgt $b_V = 5/6 \cdot d_{nom}$. Die Mindestdicke des Auflagers beträgt t_V = 2 mm.

6.3.7.5 Verfahren D (Mörtel, Verbundwiderstand variabel)

Verfahren D gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton mit einem Mörtel nach 6.3.2, oder dessen Nachweis der Verwendbarkeit durch eine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall festgestellt ist.

Die Anwendungsbedingungen wie Untergrundeigenschaften, Art der Belastung und geometrische Randbedingungen sind dem Verwendungsnachweis zu entnehmen. Die Ermittlung des charakteristischen Widerstands erfolgt nach dem Verfahren, das der Verwendungsnachweis des Mörtels vorschreibt. Der hierfür anzusetzende charakteristische Verbundwiderstand τ_{Rk} ist im Verwendbarkeitsnachweis enthalten.

ANMERKUNG Der Verwendbarkeitsnachweis für den Verankerungsmörtel wird nach einer Prüfrichtlinie analog ETAG 001-5 Beh zur Bestimmung der Eignung und zulässigen Anwendungsbedingungen für Verbunddübel erbracht. Die charakteristische Verbundfestigkeit kann beliebig hohe Werte annehmen, das Bemessungskonzept ist hinsichtlich der Bedürfnisse der Natursteinverankerung mittels Mörtelanker optimiert.

7 Standsicherheitsnachweis

7.1 Allgemeines

Für die Natursteinplatten, deren Befestigungen und Verankerungen ist ein statischer Nachweis unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzeptes nach Anhang A zu führen.

Die auf die Natursteinplatten und deren Befestigung wirkenden Beanspruchungen müssen als statisch äquivalente Zug- und Querlasten auf die Verankerungen weitergeleitet werden. Dies kann auf Basis der Elastizitätstheorie erfolgen.

Natursteinplatten aus Naturwerkstein sind als punktförmig gelagerte Platten unter Berücksichtigung eventuell vorhandener orthotroper Eigenschaften nachzuweisen. Bei Festigkeitsunterschieden in den Natursteinplatten sind die richtungsabhängigen Bemessungswerte zu ermitteln und nachzuweisen oder jeweils die geringsten Festigkeiten des Naturwerksteins in allen Richtungen zu berücksichtigen.

Die Bemessungswerte der Einwirkungen errechnen sich auf Basis von Anhang A unter Berücksichtigung aller auftretenden Lasten. Die Lastkombinationen sind nach Anhang A zu bilden. Zusatzlasten, z. B. aus Zwängungen infolge Temperaturdifferenzen (siehe DIN 18516-1) sind gesondert zu berücksichtigen. Die ungünstigste Kombination ist maßgebend. Gegebenenfalls sind mehrere Kombinationen, getrennt für die Natursteinplatten, deren Befestigungen und Verankerungen, zu untersuchen. Befahranlagen dürfen die Bekleidung nicht belasten.

Kann Zwang (erzwungene Verformung) nicht vernachlässigt werden, so wird er grundsätzlich als veränderliche Einwirkung betrachtet. Bei linearer Schnittgrößenermittlung darf der Teilsicherheitsbeiwert für Zwang bei ungünstigen Einwirkungen um 1/3 abgemindert werden, d. h. γ_Q = 1,0.

Die Plattendicke beträgt bei Befestigungen nach Abschnitt 5 und einer Neigung der Platte gegen die Horizontale von

α > 60° mindestens 30 mm;

$\alpha \leq$ 60° mindestens 40 mm.

7.2 Erhöhungsfaktor bei Eigenlasten

Bei horizontalen und bis 85° gegen die Horizontale geneigte Platten ist wegen Verringerung der Biegefestigkeit, der Ausbruchlast am Ankerdorn infolge Dauerlasteinwirkung, Schwingungen, Erschütterungen und dynamischer Beanspruchungen ein Erhöhungsfaktor zu berücksichtigen. Beim statischen Nachweis ist die Eigenlast der Platten mit dem Erhöhungsfaktor α_G = 2,5 zu multiplizieren. Beim Nachweis der Verankerung muss dieser Faktor nicht zu berücksichtigt werden.

Vom Wert dieses Faktors darf abgewichen werden, wenn ein gesonderter Nachweis für den Faktor geführt wird. Dieser Faktor ist nur bei Lastkomponenten zu berücksichtigen, die in den nachzuweisenden Platten Biegespannungen hervorrufen.

Der Erhöhungsfaktor α_G setzt sich aus folgenden Faktoren zusammen:

Dauerlastfaktor	χ = 1,2,
Schwingbeiwert	φ = 1,4,
Ermüdungsfaktor	ψ = 1,5.

7.3 Bemessungswerte der Tragwiderstände

7.3.1 Natursteinplatte

Der Bemessungswert der Biegefestigkeit ist nach der Gleichung (16) zu ermitteln:

$$\sigma_{RD} = -\frac{\sigma_{Rk}}{\gamma_M} \tag{16}$$

Dabei ist

σ_{Rk} der charakteristische Wert der Biegefestigkeit nach 4.2.1;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert nach 4.5.

7.3.2 Befestigung

Die Bemessungswerte des Tragwiderstands der Befestigung sind nach den Gleichungen (17) und (18) zu ermitteln:

$$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_M} \tag{17}$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{\gamma_M} \tag{18}$$

Dabei ist

N_{Rk} der charakteristische Tragwiderstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte, ermittelt nach 5.3 bis 5.6;

V_{Rk} der charakteristische Tragwiderstand bei Lastangriff parallel zur Platte, ermittelt nach 5.3 bis 5.6;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert nach 4.5.

7.3.3 Verankerung

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes der Verankerung ist nach Gleichung (19) zu ermitteln.

$$F_{Rd} = \frac{F_{Rk}}{\gamma_M} \tag{19}$$

Dabei ist

F_{Rk} der charakteristische Widerstand nach 6.3.7.2 bis 6.3.7.5;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand: Beton = 1,8; Mauerwerk = 2,5 (die Werte gelten für alle Nachweise im Verankerungsgrund).

Eingemörtelte Verankerungen werden üblicherweise mit einem Anker je Bohrloch ausgeführt. Werden in Sonderfällen zwei Anker in dasselbe Bohrloch gesetzt, so müssen beide Anker einen Rechteck-Querschnitt aufweisen und senkrecht zueinander liegen. Zudem darf der Bemessungswiderstand des Verbundes im Verankerungsgrund jedes Ankers nur zu maximal 40 % ausgenutzt werden.

7.4 Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

7.4.1 Natursteinplatte

Aus den maßgebenden Biegemomenten sind die entsprechenden Biegezugspannungen mittels Gleichung (20) zu ermitteln.

Für die ermittelten Biegezugspannungen ist nachzuweisen, dass Gleichung (21) eingehalten ist.

$$\sigma_{Ed} = \frac{6 \cdot m_{Ed}}{d^2} \tag{20}$$

$$\frac{\sigma_{Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1 \tag{21}$$

Dabei ist

m_{Ed} der Bemessungswert des einwirkenden maßgebenden Biegemoments in der Fassaden-/Leibungsplatte;

d die Plattendicke der Fassaden- bzw. Leibungsplatte;

σ_{Rd} der Wert nach Gleichung (16).

7.4.2 Befestigung

Für die ermittelten Lasten der Befestigung ist nachzuweisen, dass Gleichung (22) eingehalten ist.

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{Rd}}} \leq 1 \tag{22}$$

Bei gleichzeitiger Beanspruchung einer Steckdorn- oder Schraubbefestigung durch zentrischen Zug (Beanspruchung senkrecht zur Platte) und Querlast (Beanspruchung parallel zur Platte) sind zusätzlich die Gleichungen (23) und (24) einzuhalten.

$$\frac{V_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{Rd}}} \leq 1 \tag{23}$$

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{Rd}}} + \frac{V_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{Rd}}} \leq 1{,}2 \tag{24}$$

Dabei ist

N_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung senkrecht zur Platte;

V_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung parallel zur Platte;

N_{Rd} der Wert nach Gleichung (17);

V_{Rd} der Wert nach Gleichung (18).

7.4.3 Verankerung

Für die ermittelten Lasten der Verankerungen, wenn nicht der Nachweis nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 geführt wird, ist nachzuweisen, dass Gleichung (25) eingehalten ist.

$$\frac{F_{\mathrm{Ed}}}{F_{\mathrm{Rd}}} \leq 1 \tag{25}$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung auf die Verankerung;

F_{Rd} der Wert nach Gleichung (19).

7.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Für die rechtwinklig zur Plattenebene wirkende Komponente der Eigenlast darf die Durchbiegung 1/500 der Stützweite nicht überschreiten.

8 Versuche am Bauwerk

8.1 Allgemeines

Alle in den Bauwerksversuchen zu überprüfenden Anker sind unter den Baustellenbedingungen (z. B. Bohrvorgang, Bohrmaschine, Bohrer, Lochform, Fugen, Abstände) einzubauen, wie sie auch für die anderen Anker an der Baustelle zu erwarten sind.

Die Aushärtedauer des Mörtels muss der auf der Baustelle zu erwartenden Aushärtedauer bis zur Erstbelastung entsprechen. In Zweifelsfällen sind Erhärtungsprüfungen an gleichzeitig hergestellten und unter gleichen Bedingungen gelagerten Probeprismen des Verankerungsmörtels für die Festlegung des Versuchsbeginns maßgebend.

Die Belastungseinrichtung sollte in den Versuchen eine kontinuierliche Laststeigerung und möglichst eine parallel dazu verlaufende Wegmessung erlauben. Die Versuche sind mit einer kalibrierten Messeinrichtung durchzuführen und die gewonnenen Daten aufzuzeichnen.

Die Last muss senkrecht zur Bauteiloberfläche zum Toleranzausgleich gelenkig in den Anker eingebracht werden. Die Reaktionskräfte aus der Versuchseinrichtung dürfen einen möglichen Ausbruchkörper nicht verhindern. Diese Bedingung gilt als erfüllt, wenn die Abstützung auf benachbarten Steinen erfolgt oder in einem Abstand von mindestens 150 mm zum Anker bzw. dem 1,5fachen der Verankerungstiefe des Ankers. Der größere Wert ist maßgebend.

Zur Ermittlung des charakteristischen Widerstands besteht die Möglichkeit entweder Auszugsversuche bis zur Höchstlast der Verankerung oder Probebelastungen nach 8.3 durchzuführen.

8.2 Auszugsversuche

8.2.1 Anzahl der Versuche

8.2.1.1 Allgemeines

Jeder Ankertyp, jede Ankergröße und jeder Ankergrund ist mit der im Folgenden aufgelisteten Anzahl von Versuchen zu überprüfen. Für einen vereinfachten Nachweis kann auch nur der jeweilige Ankertyp mit dem geringsten Widerstand geprüft werden. Die Ergebnisse gelten dann für alle Ankertypen und -größen im Ankergrund.

8.2.1.2 Mauerwerk

Zur Ermittlung der zentrischen Zugtragfähigkeit der Verankerungen sind mindestens

- 10 Versuche im Stein;
- 5 Versuche in Lagerfugen und
- 5 Versuche in Stoßfugen

durchzuführen.

Bei Mauerwerk mit unbekannter Steinart, Stein- und Mörtelfestigkeit sind zusätzlich Traganker mit quer wirkender Kraft zu prüfen. Dabei sind

- 5 Versuche unter 0° (Querbeanspruchung) und
- 5 Versuche unter 30°

als Winkel der Kraftrichtung zur Wandebene vorzusehen.

8.2.1.3 Beton

Zur Ermittlung der zentrischen Zugtragfähigkeit der Verankerungen sind mindestens 15 Versuche durchzuführen. Die Verankerungsstellen müssen die Verankerungsgegebenheiten des Gebäudes repräsentativ abbilden.

Bei Beton mit unbekannter Festigkeit sind zusätzlich Traganker mit quer wirkender Kraft zu prüfen. Dabei sind

- 5 Versuche bei 0° (Querbeanspruchung);
- 5 Versuche bei 30°

als Winkel der Kraftrichtung zur Wandebene vorzusehen.

8.2.2 Durchführung der Versuche

Die Prüfkraft ist mit dem Ausziehgerät stetig so zu steigern, dass die Höchstlast frühestens nach etwa 1 min erreicht wird. Dabei sind möglichst die Verschiebungen während des Versuchs zu messen. Eine Rissbildung kündigt sich durch das Abflachen der Last-Verschiebungskurve an.

8.2.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

Der charakteristische Widerstand bei Zugbeanspruchung ergibt sich aus den gemessenen Höchstlasten wie folgt:

$$N_{\mathrm{Rk}} = 0{,}5 \cdot N_{\mathrm{m,min}} \tag{26}$$

Dabei ist

$N_{\mathrm{m,min}}$ der Mittelwert der 5 kleinsten gemessenen Höchstlasten.

Der charakteristische Widerstand bei Querbeanspruchung ergibt sich aus den gemessenen Höchstlasten wie folgt:

$$V_{\mathrm{Rk,0°}} = 0{,}33 \cdot V_{\mathrm{0°,m}} \tag{27}$$

Dabei ist

$V_{\mathrm{0°,m}}$ der Mittelwert der Höchstlasten aus Querbeanspruchung.

Der charakteristische Widerstand bei Schrägzugbeanspruchung ergibt sich aus den gemessenen Höchstlasten wie folgt:

$$V_{\mathrm{Rk,30°}} = 0{,}33 \cdot V_{\mathrm{30°,m}} \tag{28}$$

Dabei ist

$V_{\mathrm{30°,m}}$ der Mittelwert der Höchstlasten aus Schrägzugbeanspruchung.

8.3 Probebelastung

8.3.1 Durchführung der Versuche

Insgesamt sind mindestens 15 Versuche je Ankertyp, -größe, Verankerungsgrund und Beanspruchungsrichtungen (Axial-, Quer- und Schräglast) durchzuführen. Die Prüfkraft ist mit dem Ausziehgerät stetig so zu steigern bis die Prüflast erreicht wird. Die Prüflast, mit der die Probebelastung durchzuführen ist, ergibt sich zu:

$$F_P = F_{Ed} \cdot \gamma_M \tag{29}$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung für die jeweiligen Beanspruchungsrichtungen;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand: Beton = 1,8; Mauerwerk = 2,5.

8.3.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

Falls bei allen 15 Versuchen keine sichtbare Verschiebung des Ankers oder keine Rissbildung im Verankerungsgrund bis zum Erreichen der Prüflast F_P vorliegt, kann der Wert der Prüflast in der Bemessung als charakteristischer Widerstand des Verbundes F_{Rk} angesetzt werden.

8.4 Versuchsbericht

Über die Versuche am Bauwerk ist ein Versuchsbericht zu erstellen. Der Versuchsbericht muss mindestens folgende Angaben enthalten:

a) Bauherr, Bauort;

b) Mauerwerk (Steinart, Festigkeitsklasse, Steinmaße, Mörtelgruppe);

c) augenscheinliche Beurteilung des Mauerwerks (Vollfugigkeit, Fugendicke, Stoßfugenausbildung);

d) Ankerart, Querschnittswerte, Stahlsorte;

e) Bohrverfahren und Bohrwerkzeuge;

f) Art der Bohrlochvorbereitung (Reinigungsverfahren, Vornässen);

g) Verankerungsmörtel (Zusammensetzung, Erhärtungsprüfungen und ihre Ergebnisse);

h) Lage der geprüften Anker am Bauwerk;

i) Zeitpunkt des Einbaus der Anker;

j) Zeitpunkt der Prüfung der Anker;

k) Versuchseinrichtung und zugehöriger Kalibriernachweis;

l) Ergebnisse der Versuche (Versagensart, Höchstlast, Prüflast) mit Auswertung;

m) Verantwortlicher Prüfer.

Anhang A
(normativ)

Ergänzende Festlegungen

A.1 Allgemeines

Die Bemessung schließt ein, dass die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit in angemessener Weise beachtet werden. Um die erforderliche Zuverlässigkeit zu erreichen, werden die Fassadenplatten in den definierten Grenzzuständen nach dieser Norm bemessen.

A.2 Einwirkungen

A.2.1 Charakteristische Werte

Charakteristische Werte für Einwirkungen werden

— einschlägigen Lastnormen (siehe DIN 18516-1) entnommen oder

— vom Bauherrn oder dem Tragwerksplaner jeweils in Abstimmung mit der Bauaufsicht festgelegt.

Dabei sind die Mindestanforderungen, die in den einschlägigen Normen oder von der zuständigen Bauaufsichtsbehörde festgelegt sind, zu beachten.

Für Zwängungen infolge Temperaturdifferenzen gilt DIN 18516-1. Als Wärmedehnzahl der Platten darf α_T = 0,000 01 (mm/K) eingesetzt werden. Dieser Wert berücksichtigt auch Quellerscheinungen. Bei gleitfähiger Auflagerung der Platten ist die Reibungskraft des Platten-Eigengewichtsanteiles auf den gleitenden Ankerteil in den Ankernachweis aufzunehmen.

A.2.2 Kombination von veränderlichen Einwirkungen

Veränderliche Einwirkungen sind entsprechend den Einwirkkombinationen nach den Gleichungen mit einem Kombinationsbeiwert ψ zu multiplizieren.

Kombinationsbeiwerte erfassen für unterschiedliche Zeitintervalle die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von veränderlichen Lasten in ungünstigster Größe und Kombination.

Die Kombinationsbeiwerte ψ sind der Tabelle A.1 zu entnehmen.

Tabelle A.1 — Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen

Einwirkung	Kombinationsbeiwert		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkehrslast $Q_{k,i}$	0,7	0,5	0,3
Schneelasten und Eislasten (Orte bis NN + 1 000 m)	0,5	0,2	0
Schneelasten und Eislasten (Orte über NN + 1 000 m)	0,7	0,5	0,2
Windlasten	0,6	0,5	0
Temperatur (nicht aus Brand)	0,6	0,5	0
alle anderen Einwirkungen	0,8	0,7	0,5

A.2.3 Bemessungswerte

Der Bemessungswert F_d einer Einwirkung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergibt sich i. A. aus der Multiplikation des charakteristischen Wertes der Einwirkung mit dem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k \tag{A.1}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen γ_F sind der Tabelle A.2 zu entnehmen.

A.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit

A.3.1 Allgemeines

Grenzzustände der Tragfähigkeit sind diejenigen Zustände, bei deren Überschreitung der Einsturz oder andere Formen des Tragwerkversagens eintreten.

Tritt der Grenzzustand durch Bruch oder Überschreitung der Grenzdehnungen einer Befestigung ein, ist nachzuweisen, dass Gleichung (A.2) eingehalten ist:

$$E_d \leq R_d \tag{A.2}$$

Dabei ist E_d der Bemessungswert einer Schnittgröße, einer Spannung oder einer Verformung und R_d der zugehörige Bemessungswert des Tragwiderstands.

A.3.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen sind in Tabelle A.2 enthalten.

Tabelle A.2 — Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Auswirkung	ständige Einwirkung	veränderliche Einwirkung
günstig	1,0	1,0
ungünstig	1,35	1,5

Kann Zwang (erzwungene Verformung) nicht vernachlässigt werden, so wird er grundsätzlich als veränderliche Einwirkung betrachtet. Bei linearer Schnittgrößenermittlung darf der Teilsicherheitsbeiwert für Zwang bei ungünstigen Einwirkungen um 1/3 abgemindert werden, d. h. γ_Q = 1,0.

A.3.3 Kombination von Einwirkungen

Für jede Einwirkungskombination sind die Bemessungswerte E_d der Beanspruchungen anhand der folgenden Kombinationsregeln zu bestimmen:

— Ständige und vorübergehende Bemessungssituationen (Grundkombination)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,j} \cdot Q_{k,j} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \tag{A.3}$$

— Außergewöhnliche Bemessungssituationen (sofern nicht anderweitig abweichend angegeben)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus A_{Ed} \oplus \psi_{1,j} \cdot Q_{k,j} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \tag{A.4}$$

— Kombination für die Bemessungssituationen infolge von Erdbeben

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus \gamma_I \cdot A_{Ed} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \tag{A.5}$$

Dabei ist

$G_{k,j}$ der charakteristische Wert der ständigen Einwirkungen;

$Q_{k,j}$ der charakteristische Wert einer veränderlichen Einwirkung;

$Q_{k,i}$ der charakteristische Wert weiterer veränderlicher Einwirkungen;

A_{Ed} der Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkungen (z. B. Erdbeben);

$\gamma_{G,j}$ die Teilsicherheit für ständige Einwirkungen j (siehe Tabelle A.2);

$\gamma_{Q,j}$ die Teilsicherheit für die veränderliche Einwirkung j (siehe Tabelle A.2);

$\gamma_{Q,i}$ die Teilsicherheit für weitere veränderliche Einwirkungen i;

ψ_0, ψ_1, ψ_2 die Kombinationsbeiwerte (siehe Tabelle A.1).

A.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

A.4.1 Allgemeines

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist derjenige Zustand, bei dessen Überschreitung die festgelegte Bedingung für die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr erfüllt ist.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit umfasst die Begrenzung der Verformung (nach 6.3).

Es ist die Bedingung

$$E \leq C \tag{A.6}$$

zu erfüllen.

Dabei ist

E die Einwirkung auf der Grundlage der in A.3.3 aufgeführten Kombination;

C der maßgebende Wert bestimmter Bauteileigenschaften, die auch den Bemessungsschnittgrößen zugrunde liegen.

A.4.2 Kombination von Einwirkungen

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist derjenige Zustand, bei dessen Überschreitung die festgelegte Bedingung für die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr erfüllt ist.

— Quasi-ständige Kombination

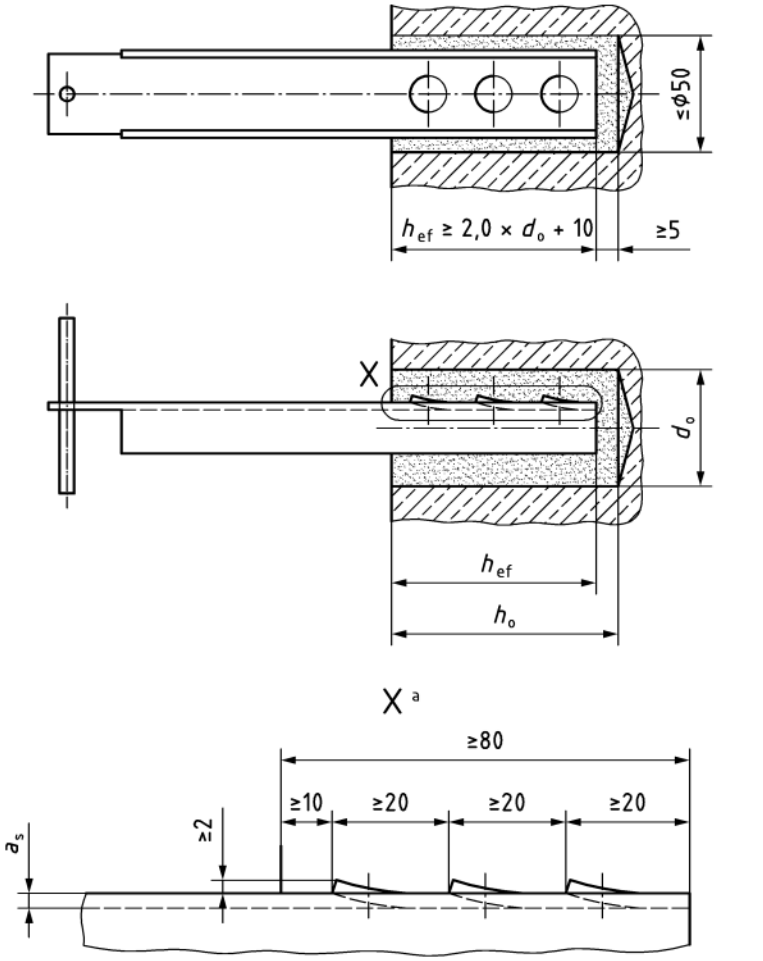
$$\sum_{j \geq 1} G_{\mathrm{k},j} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{\mathrm{k},i} \tag{A.7}$$

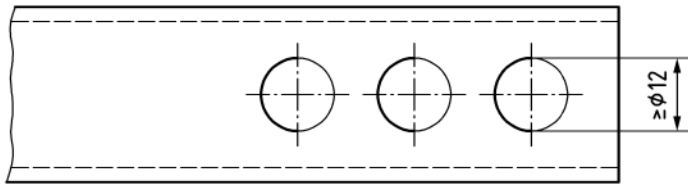
Die Symbole sind in A.3.3 definiert. Der Kombinationsbeiwert ψ_2 ist Tabelle A.1 zu entnehmen.

Anhang B
(informativ)

Weitere gebräuchliche Ankerformen

Maße in Millimeter





Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser

h_0 Bohrlochtiefe

h_{ef} Verankerungstiefe

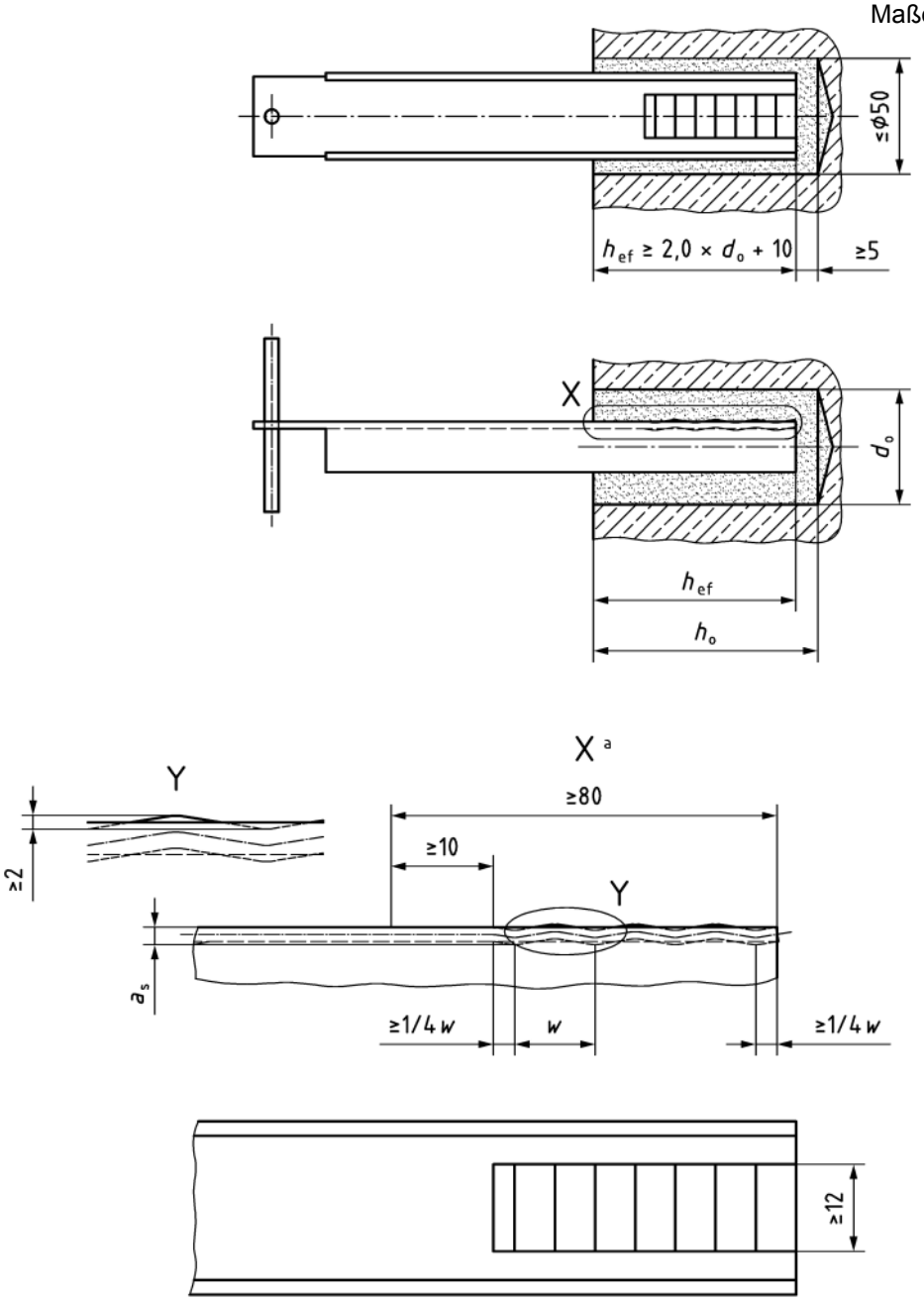
a_S Ankerstegdicke

a ohne Mörtel dargestellt

Bild B.1 — U-Anker mit Stanzungen (Typ 4)

DIN 18516-3:2013-09

Maße in Millimeter



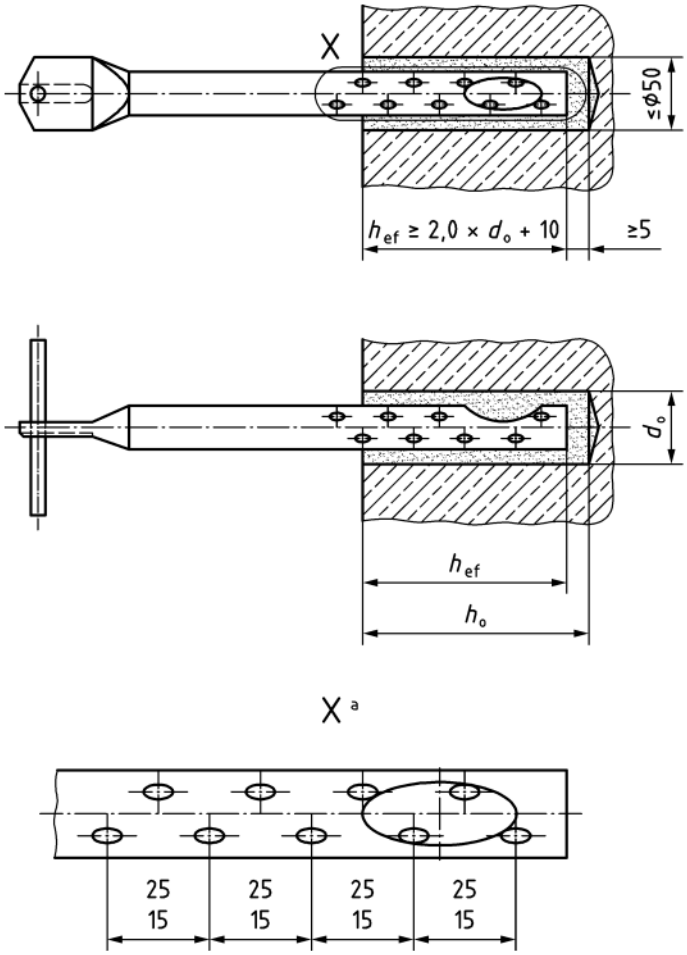
Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser
h_0 Bohrlochtiefe
h_{ef} Verankerungstiefe
a_S Ankerstegdicke
s = 2 mm bis 4 mm → w = 15 mm bis 25 mm
s = 6 mm bis 8 mm → w = 25 mm bis 35 mm

[a] ohne Mörtel dargestellt

Bild B.2 — U-Anker mit Wellung (Typ 5)

Maße in Millimeter



Legende

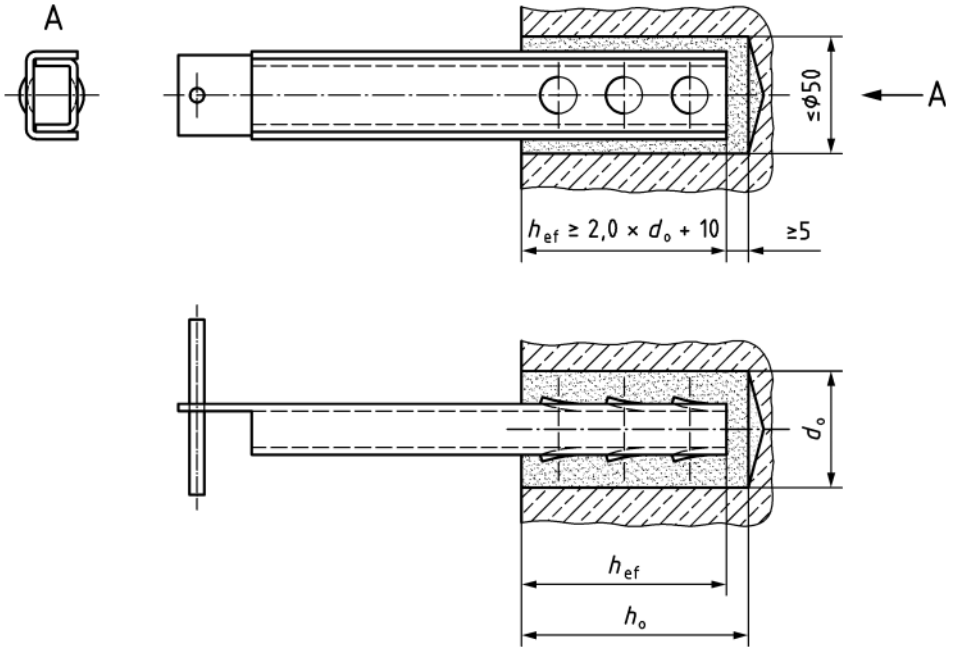
d_0 Bohrlochdurchmesser
h_0 Bohrlochtiefe
h_{ef} Verankerungstiefe

[a] ohne Mörtel dargestellt

Bild B.3 — Rohranker (Typ 6)

DIN 18516-3:2013-09

Maße in Millimeter



Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser
h_0 Bohrlochtiefe
h_{ef} Verankerungstiefe
A Kraftschlüssig verbundene U-Anker vom Typ 4 bzw. Typ 5

Bild B.4 — kombinierter U-Anker (Typ 7)

Literaturhinweise

DIN 4149, *Bauten in deutschen Erdbebengebieten — Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten*

DIN 52008, *Prüfverfahren für Naturstein — Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit*

DIN 53505, *Prüfung von Kautschuk und Elastomeren — Härteprüfung nach Shore A und Shore D*

DIN EN 12372, *Prüfverfahren für Naturstein — Bestimmung der Biegefestigkeit unter Mittellinienlast*

DIN EN 13161, *Prüfverfahren für Naturstein — Bestimmung der Biegefestigkeit unter Drittellinienlast*

DIN EN 1504-6, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken — Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität — Teil 6: Verankerung von Bewehrungsstäben*

ETAG 001-5 Bek, *Bekanntmachung der Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalldübel zur Verankerung im Beton – Teil 5: Verbunddübel; (ETAG 001); Fassung 2002-03, Änderung 2008-02*[2)]

DNV BTI 1.5, *Fassadenbekleidung* — Stand: April 2000[3)]

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

3) Deutscher Naturwerkstein Verband e. V. (DNV), Sanderstraße 4, 97070 Würzburg

DEUTSCHE NORM

September 2013

DIN 18516-5

DIN

ICS 91.060.10; 91.100.30

Ersatz für
DIN 18516-5:1999-12

Außenwandbekleidungen, hinterlüftet – Teil 5: Betonwerkstein; Anforderungen, Bemessung

Cladding for external walls, ventilated at rear –
Part 5: Manufactured stone; requirements, design

Revêtements ventilés à la face arrière pour murs extérieurs –
Partie 5: Pierres manufactures taillés; exigences, dimensionnement

Gesamtumfang 49 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN 18516-5:2013-09

Inhalt

Seite

Vorwort 4

1 Anwendungsbereich 5

2 Normative Verweisungen 5

3 Symbole und Abkürzungen 6

4 Betonwerksteinplatten 9
4.1 Allgemeines 9
4.2 Charakteristische Widerstände 9
4.2.1 Charakteristische Biegezugfestigkeit σ_{Rk} 9
4.2.2 Charakteristische Ausbruchlast am Ankerdorn 9
4.3 Eignung 10
4.3.1 Allgemeines 10
4.3.2 Biegezugfestigkeit 10
4.3.3 Ausbruchlast am Ankerdorn 11
4.4 Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand 11

5 Befestigungen 11
5.1 Allgemeines 11
5.2 Werkstoffe der Befestigungen 11
5.3 Ankerdorne 12
5.3.1 Allgemeines 12
5.3.2 Charakteristischer Widerstand 12
5.4 Steckdorne 13
5.4.1 Allgemeines 13
5.4.2 Charakteristischer Widerstand 14
5.5 Schraubanker 16
5.5.1 Allgemeines 16
5.5.2 Charakteristischer Widerstand 17
5.6 Nutlagerung 18
5.6.1 Allgemeines 18
5.6.2 Charakteristischer Widerstand 18
5.7 Befestigung von Leibungsplatten 19
5.8 Befestigung von Ausbauteilen 19

6 Verankerungen 20
6.1 Allgemeines 20
6.2 Werkstoffe der Verankerungen 20
6.3 Eingemörtelte Verankerungen 20
6.3.1 Ankerform 20
6.3.2 Verankerungsmörtel 23
6.3.3 Vorgaben für Entwurf, Einbau und Montage 24
6.3.4 Rechnerische Verankerungstiefe 25
6.3.5 Ermittlung der Ankerquerschnitte 25
6.3.6 Charakteristischer Widerstand im Mauerwerk 26
6.3.7 Charakteristischer Widerstand in Beton 27

7 Standsicherheitsnachweis 33
7.1 Allgemeines 33
7.2 Erhöhungsfaktor bei Eigenlasten 34
7.3 Bemessungswerte der Widerstände 35
7.3.1 Betonwerksteinplatte 35
7.3.2 Befestigung 35
7.3.3 Verankerung 35
7.4 Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit 36

Seite

7.4.1 Betonwerksteinplatte **36**
7.4.2 Befestigung **36**
7.4.3 Verankerung **36**
7.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit **37**

8 Versuche am Bauwerk **37**
8.1 Allgemeines **37**
8.2 Auszugsversuche **37**
8.2.1 Anzahl der Versuche **37**
8.2.2 Durchführung der Versuche **38**
8.2.3 Auswertung der Versuchsergebnisse **38**
8.3 Probebelastung **39**
8.3.1 Mauerwerk **39**
8.3.2 Beton **39**
8.3.3 Durchführung der Versuche **39**
8.3.4 Auswertung der Versuchsergebnisse **40**
8.4 Versuchsbericht **40**

Anhang A (normativ) **Ergänzende Festlegungen** **41**
A.1 Allgemeines **41**
A.2 Einwirkungen **41**
A.2.1 Charakteristische Werte **41**
A.2.2 Kombination von veränderlichen Einwirkungen **41**
A.2.3 Bemessungswerte **42**
A.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit **42**
A.3.1 Allgemeines **42**
A.3.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen **42**
A.3.3 Kombination von Einwirkungen **43**
A.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit **43**
A.4.1 Allgemeines **43**
A.4.2 Kombination von Einwirkungen **44**

Anhang B (informativ) **Weitere gebräuchliche Ankerformen** **45**

Literaturhinweise **49**

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-09-36 AA „Außenwandbekleidungen, hinterlüftet; Betonwerkstein“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) im DIN, Deutsches Institut für Normung e. V. erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 18516, *Außenwandbekleidungen, hinterlüftet,* besteht aus folgenden Teilen:

— *Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze*

— *Teil 3: Naturwerkstein; Anforderungen, Bemessung*

— *Teil 4: Einscheiben-Sicherheitsglas; Anforderungen, Bemessung, Prüfung*

— *Teil 5: Betonwerkstein; Anforderungen, Bemessung*

Änderungen

Gegenüber DIN 18516-5:1999-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Norm vollständig redaktionell überarbeitet;

b) Bilder 1, 9, B.1, B.2 überarbeitet;

c) Symbole und Abkürzungen wurden erweitert;

d) Abschnitt 4.3 „Eignung” wurde überarbeitet;

e) Abschnitt 6.3 „Eingemörtelte Verankerungen” wurde überarbeitet;

f) Festlegungen für Betonwerkstein aufgenommen, dadurch Verweisungen im Text auf Teil 3 dieser Norm gestrichen.

Frühere Ausgaben

DIN 18516-5: 1999-12

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt in Verbindung mit DIN 18516-1 für hinterlüftete Außenwandbekleidungen aus Betonwerkstein mit Plattendicken ≥ 30 mm.

2 Normative Verweisungen

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

DIN EN 206-1, *Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

DIN EN 998-2, *Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau — Teil 2: Mauermörtel*

DIN EN 1504-6, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken – Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität – Teil 6: Verankerung von Bewehrungsstäben*

DIN EN 1469:2005-02, *Natursteinprodukte – Bekleidungsplatten – Anforderungen*

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

DIN EN 1992-1-1/NA*, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

DIN EN 10088-2, *Nichtrostende Stähle — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

DIN EN 10088-3, *Nichtrostende Stähle — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

DIN EN 13364, *Prüfung von Naturstein — Bestimmung der Ausbruchlast am Ankerdornloch*

DIN EN ISO 3506 (alle Teile), *Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen*

DIN EN ISO 4032, *Sechskantmuttern (Typ 1) – Produktklassen A und B*

DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, *Bemessung der Verankerung von Befestigungen in Beton — Teil 4-5: Dübel — Chemische Systeme; Deutsche Fassung CEN/TS 1992-4-5:2009*

DIN V 18500, *Betonwerkstein — Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung*

DAfStb-Richtlinie, *Trockenbeton — Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel (Trockenbeton-Richtlinie*[1)]*)*

Zulassung Z-30.3-6, *Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen (Information durch das Deutsche Institut für Bautechnik, DIBt)*

---

1) Herausgeber: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e, V., zu beziehen bei: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

3 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen

A anrechenbare Mantelfläche des Ankers

A_{Ed} Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkungen (z. B. Erdbeben)

C Bemessungswert des Gebrauchstauglichkeitskriteriums

E Beanspruchung, Wirkung

E_d Bemessungswert einer Beanspruchung, Auswirkung

F_{Rk} charakteristischer Widerstand der Verankerung

$F_{Rk,0}$ charakteristischer Widerstand des Ankerdorns gegen Ausbruch unter Berücksichtigung von Witterungseinflüssen

$F_{u5\%}$ nach DIN EN 1469 deklarierter unterer Erwartungswert (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung)

F_V Querbelastung der Verankerung

$G_{k,j}$ charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen

N_{Ed} Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung senkrecht zur Platte

$N_{m,min}$ Mittelwert der 5 kleinsten gemessenen Höchstlasten

N_P Last, mit der die Probebelastung durchzuführen ist

N_{Rd} Bemessungswert des Widerstands der Befestigung senkrecht zur Platte

N_{Rk} charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte

$N_{Rk,0}$ charakteristischer Widerstand der Befestigung gegen Ausbruch unter Berücksichtigung von Witterungseinflüssen und Einbaubedingung

$Q_{k,i}$ charakteristischer Wert weiterer veränderlicher Einwirkungen

$Q_{k,j}$ charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung

R_d Bemessungswert des Widerstands

U anrechenbarer Umfang des Ankers

$V_{0°,m}$ Mittelwert der Höchstlasten aus Querbeanspruchung

V_1 vordere Auflagerkraft im Verankerungsgrund

V_2 hintere Auflagerkraft im Verankerungsgrund

$V_{30°,m}$ Mittelwert der Höchstlasten aus Schrägzugbeanspruchung

V_{Ed} Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung parallel zur Platte

V_{Rd}	Bemessungswert des Widerstands der Befestigung parallel zur Platte
V_{Rk}	charakteristischer Widerstand bei Lastangriff an der Oberfläche parallel zur Platte
$V_{Rk,0°}$	charakteristischer Widerstand der Verankerung bei Querbeanspruchung
$V_{Rk,30°}$	charakteristischer Widerstand der Verankerung bei Schrägzug
$V_{Rk,red}$	reduzierter charakteristischer Widerstand bei Lastangriff mit Abstand k zur Oberfläche parallel zur Platte
a_F	Fugenbreite
a_r	Abstand zum belasteten Rand
a_S	Ankerstegdicke
a_{sp}	Spaltbreite
b_v	Auflagerbreite des Mörtelankers
c_1	Abstand zum Rand 1
c_2	Abstand zum Rand 2
c_{cr}	Randabstand
c_{min}	minimaler Randabstand
d	Plattendicke
d_0	Bohrlochdurchmesser
d_1	Restwanddicke
d_{nom}	Durchmesser Rundstahlanker
f_{ck}	charakteristische Druckfestigkeit des Betons/Mörtels nach 28 Tagen
h	Bauteildicke
h_{ef}	anrechenbare Verankerungstiefe des Ankers
l_k	Länge der Ankerauskragung
m_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden maßgebenden Biegemoments
q_1	vordere Auflagerpressung im Verankerungsgrund
q_2	hintere Auflagerpressung im Verankerungsgrund
s	reduzierter Achsabstand bei 2 benachbarten Verankerungen
s_{cr}	Achsabstand
s_{min}	minimaler Achsabstand
z_A	Abstand zwischen Unterkonstruktion und Plattenrückseite

DIN 18516-5:2013-09

α	Plattenneigungswinkel
α_{exp}	Faktor zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen
$\alpha_{exp,1}$	Faktor zur Berücksichtigung von Frost-Tau-Wechseln
$\alpha_{exp,2}$	Faktor zur Berücksichtigung der Durchfeuchtung
α_S	Faktor zur Ermittlung der Biegeschlankheit
μ	Reibungsbeiwert
φ	Schwingbeiwert
χ	Dauerlastfaktor
ψ	Ermüdungsfaktor
ψ_0	Beiwert für Kombinationswerte veränderlicher Einwirkungen
ψ_1	Beiwert für häufige Werte veränderlicher Einwirkungen
ψ_2	Beiwert für quasi-ständige Werte veränderlicher Einwirkungen
γ_1	Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung des Zeitpunkts der Ermittlung der Materialkennwerte
γ_2	Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung der Streuung der Materialeigenschaften
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung
$\gamma_{G,j}$	Teilsicherheit für ständige Einwirkungen j
γ_I	Wichtungsfaktor für Einwirkungen aus Erdbeben (siehe DIN EN 1998-1/NA und DIN EN 1998-5/NA)
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand
γ_Q	Teilsicherheit für die veränderliche Einwirkung
$\gamma_{Q,i}$	Teilsicherheit für weitere veränderliche Einwirkungen i
$\gamma_{Q,j}$	Teilsicherheit für die veränderliche Einwirkung j
σ_{Ed}	Bemessungswert der vorhandenen Biegezugspannung in der Fassaden- /Leibungsplatte
σ_{Rd}	Bemessungswert des Widerstands der Biegezugfestigkeit
σ_{Rk}	charakteristischer Widerstand der Biegezugfestigkeit
$\sigma_{Rum,exp}$	in der Erstprüfung bestimmter Mittelwert aus den Versuchen unter Berücksichtigung der Witterung
$\sigma_{Rum,ref}$	in der Erstprüfung bestimmter Mittelwert aus den Versuchen nach DIN EN 1469:2005-02, 4.2.4
$\sigma_{u5\%}$	nach DIN EN 1469 deklarierter unterer Erwartungswert (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung)
τ_{Rk}	charakteristischer Widerstand des Verbundes

8

4 Betonwerksteinplatten

4.1 Allgemeines

Betonwerksteinplatten für Außenwandbekleidungen sind durch DIN V 18500 geregelt. Die Befestigung der Betonwerksteinplatten ist in Anschnitt 5 geregelt. Die Verankerung am Bauwerk ist in Abschnitt 6 geregelt. Statisch beanspruchte Klebungen werden von dieser Norm nicht erfasst.

4.2 Charakteristische Widerstände

4.2.1 Charakteristische Biegezugfestigkeit σ_{Rk}

Die charakteristische Biegezugfestigkeit σ_{Rk} ergibt sich für Betonwerkstein wie folgt:

$$\sigma_{Rk} = \alpha_{exp,B} \cdot \sigma_{u5\%} \quad (1)$$

Dabei ist

$\sigma_{u5\%}$ der untere Erwartungswert der Biegezugfestigkeit nach DIN V 18500 an 10 Probekörpern (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung);

$\alpha_{exp,B}$ der Faktor zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen nach 4.3.

Betonwerksteinplatten können konstruktiv mit für Beton bauaufsichtlich zugelassenen Fasern und Textilien bewehrt sein. Für die Ermittlung des Wertes $\sigma_{u5\%}$ ist die Last bis zum ersten Riss zu berücksichtigen. Für mit Betonstahl bewehrte Platten, soweit die Bewehrung statisch erforderlich ist, gilt DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA.

Der charakteristische Widerstand der Biegezugfestigkeit σ_{Rk} kann vereinfachend für Material mit einer Mindestrohdichte von 2 300 kg/m^3 wie folgt siehe Tabelle 1 angenommen werden.

Tabelle 1 — Biegezugfestigkeitswerte

Festigkeitsklasse	Biegezugfestigkeit N/mm^2		charakteristischer Widerstand der Biegezugfestigkeit N/mm^2
	$\sigma_{u,min}$	$\sigma_{u,mittel}$	σ_{Rk}
1	≥ 4,0	≥ 5,0	3,2
2	≥ 4,8	≥ 6,0	3,6
3	≥ 6,4	≥ 8,0	4,1
4	≥ 8,0	≥ 10,0	4,5
5	≥ 9,6	≥ 12,0	4,9

4.2.2 Charakteristische Ausbruchlast am Ankerdorn

Der charakteristische Widerstand der Ausbruchlast am Ankerdorn F_{Rk} ergibt sich für Betonwerkstein wie folgt:

$$F_{Rk,0} = \alpha_{exp,F} \cdot F_{u5\%} \quad (2)$$

Dabei ist

$F_{u5\%}$ der untere Erwartungswert des Widerstands des Ankerdorns gegen Ausbruch nach DIN EN 13364 an 10 Probekörpern (5 %-Quantil, Vertrauensniveau 75 %, logarithmische Normalverteilung); abweichend zur DIN EN 13364 erfolgt die Prüfung nach einer Trocknungszeit von 3 Tagen.

$\alpha_{exp,F}$ der Faktor zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen nach 4.3.

Betonwerksteinplatten können konstruktiv mit für Beton bauaufsichtlich zugelassenen Fasern und Textilien bewehrt sein. Für die Ermittlung des Wertes $F_{u5\%}$ ist die Last bis zum ersten Riss zu berücksichtigen.

Der charakteristische Widerstand der Ausbruchlast $F_{Rk,0}$ eines Ankerdorns bei Versagen durch Ausbruch an Ankerdornloch kann vereinfachend für Material mit einer Mindestrohdichte von 2 300 kg/m^3 wie folgt angenommen werden (siehe Tabelle 2):

Tabelle 2 — Unterer Erwartungswert des Widerstands des Ankerdorns

Festigkeitsklasse	Biegezugfestigkeit N/mm^2		charakteristischer Widerstand des Ankerdorns gegen Ausbruch $F_{Rk,0}$ N		
	$\sigma_{u,min}$	$\sigma_{u,mittel}$	d_1 = 10 mm	d_1 = 15 mm	d_1 = 20 mm
1	≥ 4,0	≥ 5,0	610	940	1 315
2	≥ 4,8	≥ 6,0	650	1 010	1 410
3	≥ 6,4	≥ 8,0	740	1 140	1 600
4	≥ 8,0	≥ 10,0	800	1 240	1 730
5	≥ 9,6	≥ 12,0	880	1 350	1 895

Die mit einem Dorn mit 6 mm Durchmesser ermittelten Widerstandswerte dürfen auch für einen Dorn mit 5 mm Durchmesser verwendet werden.

4.3 Eignung

4.3.1 Allgemeines

Die jeweilige Eignung des zur Verwendung kommenden Betonwerksteins ist zur Berücksichtigung der Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse von Frost-Tau-Wechseln und Durchfeuchtung auf die Biegezugfestigkeit und Ankerdorntragfähigkeit mit dem Faktor $\alpha_{exp,B}$ bzw. $\alpha_{exp,F}$ zu berücksichtigen sofern kein gesonderter Nachweis geführt wird.

Für Betonwerkstein mit Marmor als Gesteinskörnung sowie bei einer Frost-Tausalz-Beanspruchung sind gesonderte Überlegungen zur Eignung erforderlich.

4.3.2 Biegezugfestigkeit

Der Faktor $\alpha_{exp,B}$ ist wie folgt zu ermitteln:

$$\alpha_{exp,B} = 1{,}25 - 0{,}094 \cdot \sigma_{u5\%} \quad \text{für } \sigma_{u5\%} \leq 6\ \text{N/mm}^2 \tag{3}$$

$$\alpha_{exp,B} = (2{,}23 + 0{,}32 \cdot \sigma_{u5\%}) / \sigma_{u5\%} \quad \text{für } \sigma_{u5\%} > 6\ \text{N/mm}^2 \tag{4}$$

4.3.3 Ausbruchlast am Ankerdorn

Der Faktor $\alpha_{exp,F}$ ist wie folgt zu ermitteln:

$$\alpha_{exp,F} = 1{,}00 - 0{,}025 \cdot \sigma_{u5\%} \quad \text{für } \sigma_{u5\%} \leq 6\ \text{N/mm}^2 \tag{5}$$

$$\alpha_{exp,F} = 0{,}85 \quad \text{für } \sigma_{u5\%} > 6\ \text{N/mm}^2 \tag{6}$$

ANMERKUNG Der Nachweis der Faktoren $\alpha_{exp,B}$ und $\alpha_{exp,F}$ kann mit geeigneten Prüfverfahren ermittelt werden. Hinweise hierzu enthält das aktuelle Merkblatt „Nachweis der Eignung von Betonwerkstein nach DIN 18516-5“, herausgegeben von der Bundesfachgruppe Betonwerkstein, Betonfertigteile, Terrazzo und Naturstein (BFTN) im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V., Berlin.

4.4 Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M für die Fassadenplatten gilt für die Versagensarten Biegebruch der Platte und Ausbruch des Befestigungsmittels aus der Platte.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_M beträgt:

$$\gamma_M = 1{,}8 \tag{7}$$

5 Befestigungen

5.1 Allgemeines

Betonwerksteinplatten werden im Regelfall an vier, mindestens jedoch an drei Punkten befestigt.

Die Befestigungspunkte sind so anzuordnen, dass sich die Platten beim Auftreten von Temperatur- und Feuchtegradienten zwangfrei verwölben können.

Für die Befestigung der Betonwerksteinplatten dürfen die in 5.3 bis 5.6 beschriebenen Befestigungsmitteln verwendet werden. Die Befestigung kann auch mit anderen, als den in 5.3 bis 5.6 beschriebenen Befestigungsmittel erfolgen, wenn deren Eignung durch eine Produktnorm oder eine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist.

Für die Befestigung von Leibungsplatten siehe Bild 6, 5.7.

5.2 Werkstoffe der Befestigungen

Die Befestigungen müssen aus nichtrostenden Stählen nach DIN EN 10088-3 bestehen, die mindestens der Widerstandsgruppe III nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 entsprechen. Die in die Platten eingreifenden Dorne müssen mindestens der Festigkeitsklasse S 355 nach der Zulassung Z-30.3-6 entsprechen.

5.3 Ankerdorne

5.3.1 Allgemeines

Ankerdornbefestigungen werden in der Regel nach Bild 1 ausgebildet. Werden in Sonderfällen Ankertaschen nach Bild 2 erstellt, ist der Wert für die planmäßige Fugenbreite a_F um die Ankertaschentiefe zu erhöhen.

In beiden Fällen greifen die Ankerdorne über im Drehgang gebohrte Ankerdornlöcher in die Plattenstirnfläche ein. Der Durchmesser des gebohrten Dornloches muss etwa 3 mm größer sein als der Durchmesser des Ankerdornes. Die Einbindetiefe der Ankerdorne beträgt mindestens 25 mm.

Die Steindicke zwischen Dornloch und Plattenoberfläche muss mindestens 10 mm betragen, (Bild 2, Schnitt A-A).

Der Regelmindestabstand von der Plattenecke bis zur Mitte des Dornlochs beträgt 50 mm oder entspricht dem Wert des größten Ausbruchradius, ermittelt nach DIN EN 13364. Der größere Wert ist maßgebend. Bei kleineren Abständen ist ein Nachweis für die zulässige Lastaufnahme zu führen.

Für die Bemessung der Ankerdorne darf vereinfacht eine freie Kraglänge von 70 % der Spaltbreite zwischen Ankersteg und Plattenkante zugrunde gelegt werden.

Zum Ausgleich der Temperaturbewegungen der Platten werden Gleithülsen aus Polyacetat (z. B.: Polyoxymethylen (POM)) in die Ankerdornlöcher mit geeignetem langzeitbeständigem Klebstoff oder Zementleim eingesetzt. Der Reibungsbeiwert zur Ankerbemessung ist mit μ = 0,2 anzunehmen, sofern kein anderer Nachweis erbracht wird. Die Länge der Gleithülsen muss mindestens 5 mm größer sein als die Ankerdorneinbindetiefe. Das Bewegungsspiel von mindestens 2 mm zwischen Ankersteg und Platte mit Gleithülsen ist einzuhalten (Bild 1).

5.3.2 Charakteristischer Widerstand

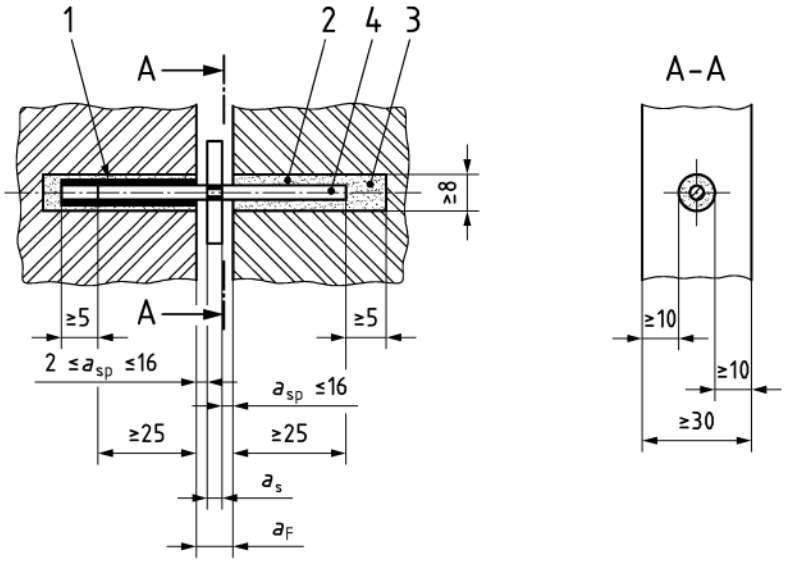
Der charakteristische Widerstand N_{Rk} gegen Versagen eines Ankerdorns ergibt sich in Abhängigkeit von der Spaltbreite nach Tabelle 3. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Tabelle 3 — Charakteristischer Widerstand N_{Rk} eines Ankerdorns in Abhängigkeit von der Spaltbreite a_{sp}

	Spaltbreite a_{sp}	N_{Rk}
Fuge nach Bild 1	bis 4 mm	$1{,}00 \cdot F_{Rk,0}$ [a]
	bis 8 mm	$0{,}90 \cdot F_{Rk,0}$
	bis 12 mm	$0{,}80 \cdot F_{Rk,0}$
	bis 16 mm	$0{,}70 \cdot F_{Rk,0}$

[a] $F_{Rk,0}$ = Wert nach 4.2.2.

Maße in Millimeter



Legende

1 Gleithülse

2 Dornloch

3 Zementleim

4 Dorn

a_{sp} Spaltbreite

a_F Fugenbreite

a_S Ankerstegdicke

Bild 1 — Ankerdorn mit Gleithülsen

5.4 Steckdorne

5.4.1 Allgemeines

Bei Befestigungen mit Steckdornen erhalten die Platten eine Bohrung rechtwinklig zur Plattenebene zum Einführen eines Gewindebolzens und ein Bohrloch parallel zur Plattenebene zum Einführen des Steckdornes mit einem Durchmesser von 5 mm bis 8 mm. Die erforderliche Länge des Steckdornes ergibt sich aus dem Maß der Bohrung für den Gewindebolzen und der beidseitigen Einbindung in die Platten von jeweils mindestens 25 mm (siehe Bild 1).

Bei Leibungsplatten kann der Randabstand in Richtung zur Verankerungsplatte (Mutterplatte) ohne Abminderung des Widerstands auf 40 mm reduziert werden. Bei einem Randstand von 20 mm ist der charakteristische Widerstand der Befestigung auf 50 % des Wertes für Befestigungen ohne Randeinfluss abzumindern. Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.

Der zur Verwendung kommende Steckdorn muss folgende Eigenschaften aufweisen:

a) Gewindebolzen M8 bis M12;

b) Dorndurchmesser von 5 mm bis 8 mm, Festigkeitsklasse S 355 nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 und nach DIN EN 10088-2, (Bohrlochdurchmesser 8 mm bis 10 mm im Betonwerkstein);

c) Mutter M8 bis M12 nach DIN EN ISO 4032.

Zur Sicherstellung der Befestigung ist die Steckdornbefestigung mit einem geeigneten Drehmoment anzuziehen. Die Höchstwerte für die Drehmomente enthält Tabelle 4.

Tabelle 4 — Drehmomente für Befestigungen mit Steckdornen

Biegezugfestigkeit $\sigma_{u5\%}$[a] N/mm²	Dorndurchmesser mm	Wirksames Drehmoment M_D Nm
$1{,}5 \leq \sigma_{u5\%} < 3$	≥ 6[b]	$3 \leq M_D \leq 6$
$3 \leq \sigma_{u5\%} \leq 5$	≥ 6	$3 \leq M_D \leq 6$
> 5	≥ 5	$3 \leq M_D \leq 10$
ANMERKUNG Das wirksame Drehmoment MD entspricht dem Montagedrehmoment abzüglich des notwendigen Drehmoments zum Aufbringen der Schraubenmutter.		
[a] $\sigma_{u5\%}$ siehe 4.2.1. [b] Mindestplattendicke $d \geq 50$ mm und Restwanddicke $d_1 \geq 20$ mm.		

5.4.2 Charakteristischer Widerstand

Für den charakteristischen Widerstand gegen Versagen eines Steckdorns sind folgende Werte anzusetzen:

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte:

$$N_{Rk} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \tag{8}$$

Dabei ist

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürliche Schichtung und Reststeindicke am Ankerdornloch.

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte ohne Hebelarm:

$$V_{Rk} = 1{,}0 \cdot F_{Rk,0} \quad (\text{für } 50\text{ mm} \leq c_1 < 100\text{ mm}) \tag{9}$$

$$V_{Rk} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \quad (\text{für } c_1 \geq 100\text{ mm}) \tag{10}$$

(Zwischenwerte können linear interpoliert werden)

Dabei ist

c_1 der Abstand zum belasteten Rand;

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürliche Schichtung und Reststeindicke am Ankerdornloch.

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte mit Hebelarm:

Querlasten mit Abstand zur Plattenoberfläche sind beim statischen Nachweis durch Reduktion des charakteristischen Widerstandes V_{Rk} zu berücksichtigen:

$$V_{Rk,red} = V \tag{11}$$

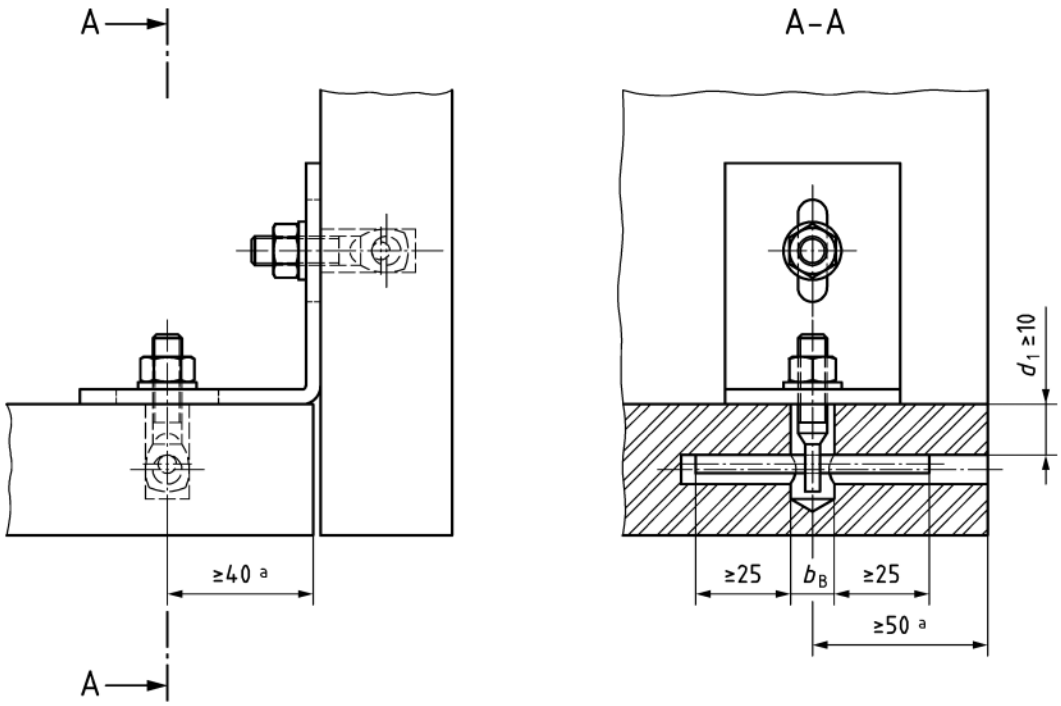
Dabei ist

V_{Rk} der Wert nach Gleichung (6) bzw. (7);

d die Plattendicke;

z_A der Abstand zwischen Unterkonstruktion und Plattenrückseite (siehe Bild 3).

Maße in Millimeter



Ø b_B ≤ Ø 12 mm (für M8)

Ø b_B ≤ Ø 14 mm (für M10)

Ø b_B ≤ Ø 16 mm (für M12)

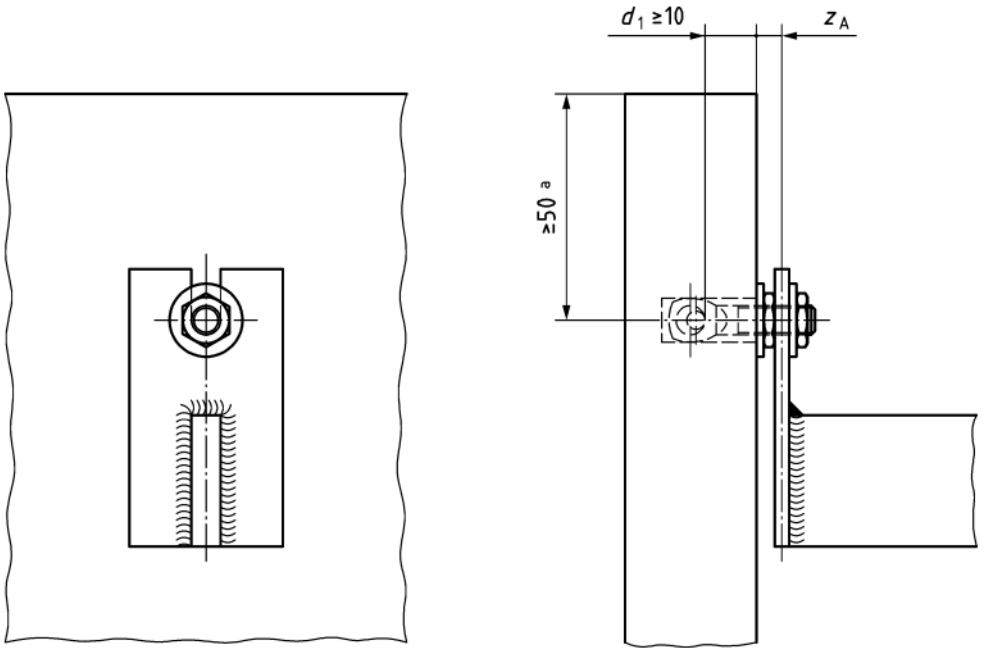
a ≥ 40 mm oder ≥ 2(d_1 + 5)

b Reduzierung auf 20 mm möglich, siehe 5.4.1

c ≥ 50 mm oder ≥ 2(d_1 + 5)

Bild 2 — Steckdorn, Beispiel

Maße in Millimeter



a oder ≥ 2(d_1 + 5)

Bild 3 — Steckdorn mit Abstandsmontage, Beispiel

5.5 Schraubanker

5.5.1 Allgemeines

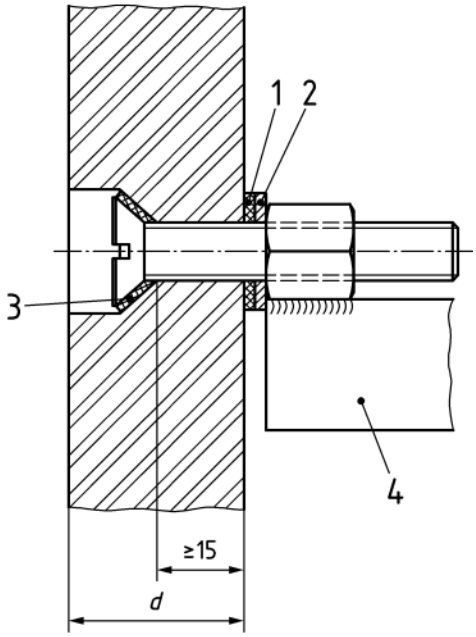
Zur Befestigung am Ankersteg dürfen auch Schrauben verwendet werden. Hierbei darf der Schraubenkopf bis zur halben Plattendicke versenkt werden. Die rückseitige Steindicke muss jeweils der vergleichbaren Reststeindicke am Ankerdornloch + 5 mm, mindestens jedoch 15 mm betragen.

Der Abstand der Bohrlochachse in der Platte zum Rand muss mindestens 50 mm betragen.

Bei Tragankern sind Schraubanker von mindestens der Größe M10, bei Halteankern mindestens der Größe M8 erforderlich. Die Festigkeit der Schraubanker muss mindestens der Festigkeitsklasse A4-70 nach den Normen der Reihe DIN EN ISO 3506 entsprechen.

Unter dem Schraubenkopf und auf der Rückseite der Platte sind elastische Unterlegscheiben aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk), Shore-A-Härte 40 bis 60 (geprüft nach DIN 53505), zu verwenden und eine Unterlegscheibe aus nichtrostendem Stahl einzulegen (siehe Bild 4).

Maße in Millimeter



Legende

1 Unterlegscheibe aus EPDM
2 Unterlegscheibe aus nichtrostendem Stahl
3 Unterlegscheibe aus EPDM
4 Ankersteg

Bild 4 — Schraubanker, Beispiel

5.5.2 Charakteristischer Widerstand

Für den charakteristischen Widerstand gegen Versagen eines Schraubankers sind folgende Werte anzusetzen:

a) charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte:

$$N_{Rk} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \quad (12)$$

Dabei ist

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der Reststeindicke am Ankerdornloch.

b) charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte ohne Hebelarm:

$$V_{Rk} = 1{,}0 \cdot F_{Rk,0} \text{ (für 50 mm} \leq c_1 < \text{100 mm)} \quad (13)$$

$$V_{Rk} = 2{,}0 \cdot F_{Rk,0} \text{ (für } c_1 \geq \text{100 mm)} \quad (14)$$

(Zwischenwerte können linear interpoliert werden).

Dabei ist

c_1 der Abstand zum belasteten Rand;

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung und Reststeindicke am Ankerdornloch.

c) charakteristischer Widerstand bei Lastangriff parallel zur Platte mit Hebelarm:

Querlasten mit Abstand zur Plattenoberfläche sind beim statischen Nachweis nach Gleichung (11) zu berücksichtigen.

Bei Randabständen des Schraubankers $c_1 \geq 200$ mm kann auf den Nachweis gegen Querbeanspruchung und den Nachweis der Interaktion verzichtet werden.

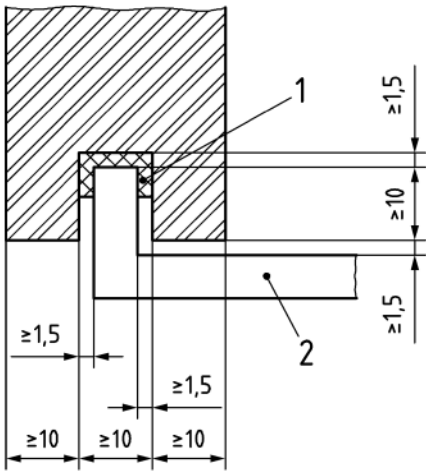
5.6 Nutlagerung

5.6.1 Allgemeines

In die Plattenkanten darf zur Lagerung eine Nut für Befestigungsteile eingeschnitten werden (Bild 5). Die Steinrestdicke auf beiden Seiten muss jeweils mindestens 10 mm betragen. Der Profilsteg muss mit einem Profilband aus EPDM überzogen sein. Die Nut muss 3 mm größer sein als der eingelassene Profilsteg. Die Auflagerlänge des Profilstegs muss zwischen mindestens 20 mm und höchstens 50 mm betragen, 5.1 gilt sinngemäß.

An Profilstegen, die als Halteanker dienen, ist ein Bewegungsspiel von mindestens 2 mm vorzusehen.

Maße in Millimeter



Legende

1 Profilband aus EPDM

2 Profilsteg

Bild 5 — Nutlagerung

5.6.2 Charakteristischer Widerstand

Für den charakteristischen Widerstand der Nutlagerung gegen Versagen sind folgende Werte anzusetzen:

Charakteristischer Widerstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte:

$$N_{Rk} = 1{,}0 \cdot F_{Rk,0} \tag{15}$$

Dabei ist

$F_{Rk,0}$ der Wert nach 4.2.2 unter Berücksichtigung der natürlichen Schichtung und Reststeindicke am Ankerdornloch.

5.7 Befestigung von Leibungsplatten

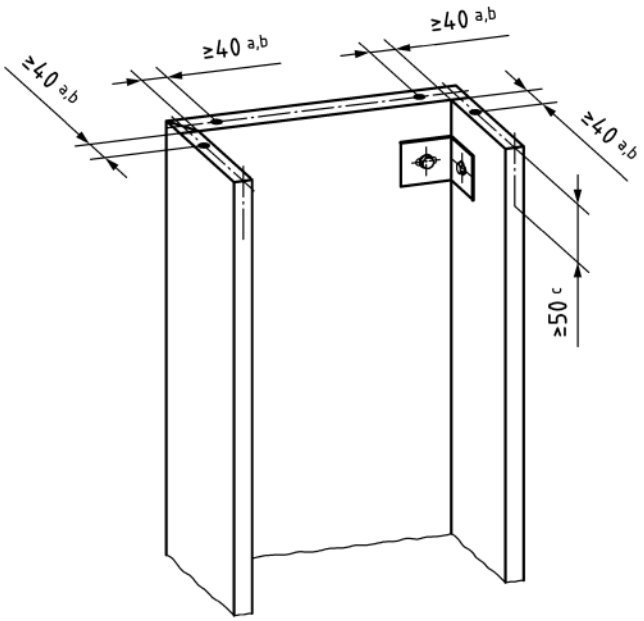
Leibungsplatten dürfen auch an einer anderen Bekleidungsplatte (Mutterplatte) verankert werden (siehe Bild 6).

Die Leibungsplatten, der Einfluss der Leibung auf die Mutterplatte sowie die Befestigungs- und Verbindungselemente der Leibung und der Mutterplatte sind statisch nachzuweisen.

Leibungsplatten dürfen nach Bild 2 mit Steckdornen und Winkelverbindungen befestigt werden.

Bei der Ermittlung der Kräfte und Schnittgrößen in der Mutter- und Leibungsplatte sind die Steifigkeiten der verwendeten Winkel zu berücksichtigen.

Maße in Millimeter



a ≥ 40 mm oder ≥ 2(d_1 + 5)

b Reduzierung auf 20 mm möglich, siehe 5.4.1

c ≥ 50 mm oder ≥ 2(d_1 + 5)

Bild 6 — Leibungswinkel mit Steckdornbefestigung, Beispiel

5.8 Befestigung von Ausbauteilen

Fenster, Türen, Beleuchtungs- und Werbeanlagen sowie Gerüste und ähnliches dürfen nicht an den Betonwerksteinplatten befestigt werden.

6 Verankerungen

6.1 Allgemeines

Die Verankerung der Betonwerksteinplatten direkt am Bauwerk erfolgt über Trag- und Halteanker. Deren Typ, Größe, erforderlicher Bohrlochdurchmesser und –tiefe sowie Lage am Bauwerk sind in den Planunterlagen anzugeben.

Traganker können Beanspruchungen in allen Richtungen aufnehmen und in den Verankerungsgrund einleiten. Halteanker sind im Allgemeinen so konstruiert, dass nur Lasten aus Wind und Zwängungen aufgenommen und in den Verankerungsgrund weitergeleitet werden. Der Ankerdorn ist jeweils im Ankersteg eingefügt.

Als Trag- und Halteanker dürfen die in dieser Norm beschriebenen eingemörtelten Verankerungen (Mörtelanker) verwendet werden. Es können auch andere Verankerungsmittel verwendet werden, wenn deren Eignung durch eine Produktnorm oder eine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist.

Die Weiterleitung der Lasten aus den Verankerungsmitteln im als Verankerungsgrund dienenden Bauteil ist durch den Tragwerksplaner nachzuweisen. Hierbei sind die üblichen Nachweisverfahren unter Berücksichtigung der durch die Verankerungsmittel eingeleiteten Lasten anzuwenden.

6.2 Werkstoffe der Verankerungen

Die Verankerungen müssen aus nichtrostenden Stählen nach DIN EN 10088-3 bestehen, die mindestens der Widerstandsgruppe III nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6 entsprechen.

6.3 Eingemörtelte Verankerungen

6.3.1 Ankerform

Eingemörtelte Verankerungen bestehen aus einem Stahlteil, das in einem vermörtelten Bohrloch oder einer vermörtelten Aussparung verankert ist.

Traganker sind als Typ 1 bis Typ 7 (siehe Bilder 8 bis 10 und Bilder B.1 bis B.4) auszubilden.

Halteanker sind als Typ 2 bis Typ 7 (siehe Bilder 9, 10, B.1 bis B.4) auszubilden.

Die eingemörtelten Verankerungen werden im Normalfall in senkrecht zum Verankerungsgrund gebohrte Löcher gesetzt. Eingemörtelte Verankerungen können zudem in ausgesparten Löchern mit konischen oder wellenförmigen Aufweitungen montiert werden.

In Sonderfällen ist bei Bauteilecken von Stahlbetontragwerken ein Schrägsetzen der eingemörtelten Anker bis zu einem Winkel von $\alpha \geq 60°$ (einschließlich Schrägstellung nach 6.3.5) gegen den Verankerungsgrund möglich (siehe Bild 7). Die Verankerungstiefe ist bei $\alpha = 60°$ um das Maß des Bohrlochdurchmessers d_0 zu erhöhen. Zwischenwerte können interpoliert werden.

Weiterhin sind die Abstände zu benachbarten Bauteilrändern oder Ankern sowohl im Bohrlochtiefsten als auch am Bohrlochmund einzuhalten. Unter diesen Bedingungen können die Widerstände für in senkrechten Löchern eingemörtelten Verankerungen bei der Bemessung angesetzt werden.

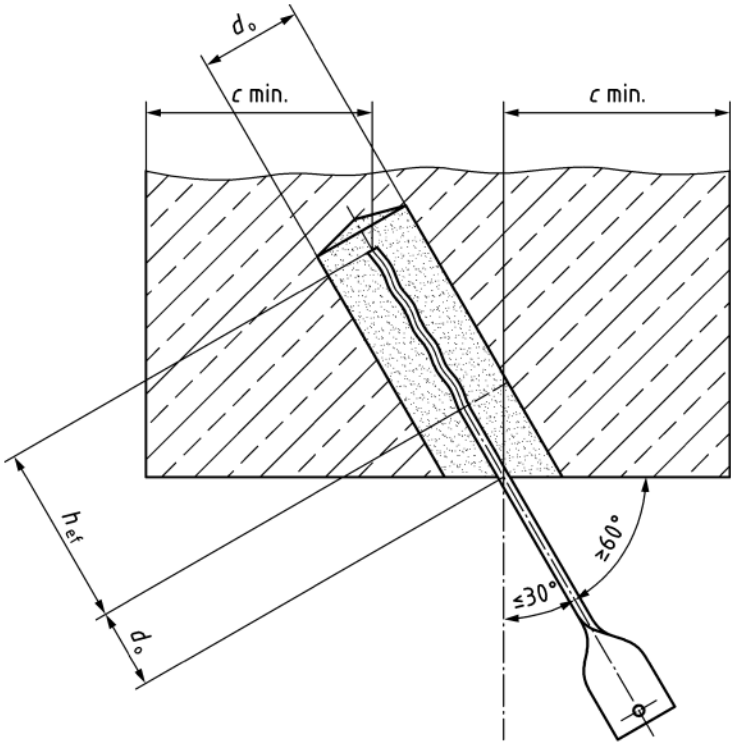
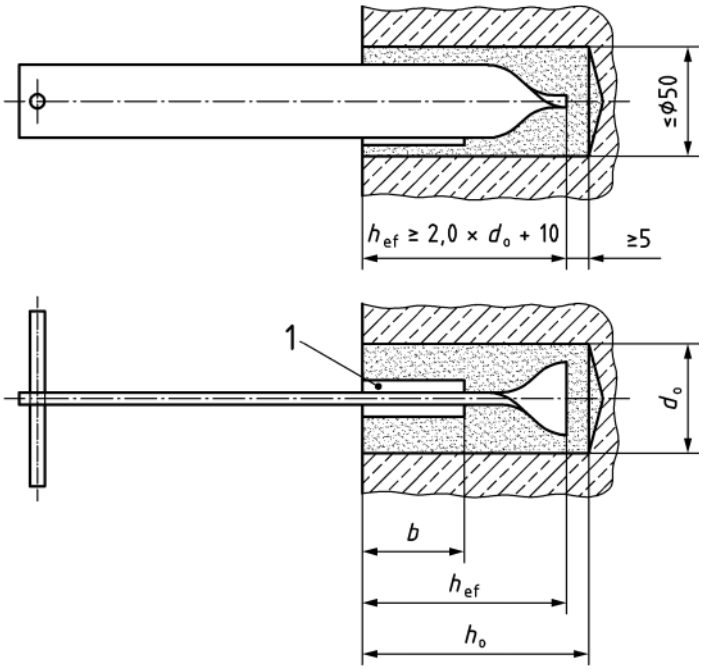


Bild 7 — Mindestrandabstand bei einem schräg gesetzten eingemörtelten Ankern in der Bauteilecke

Maße in Millimeter



Legende

1 Druckverteilungsplatte

b Länge der Druckverteilungsplatte

d_0 Bohrlochdurchmesser

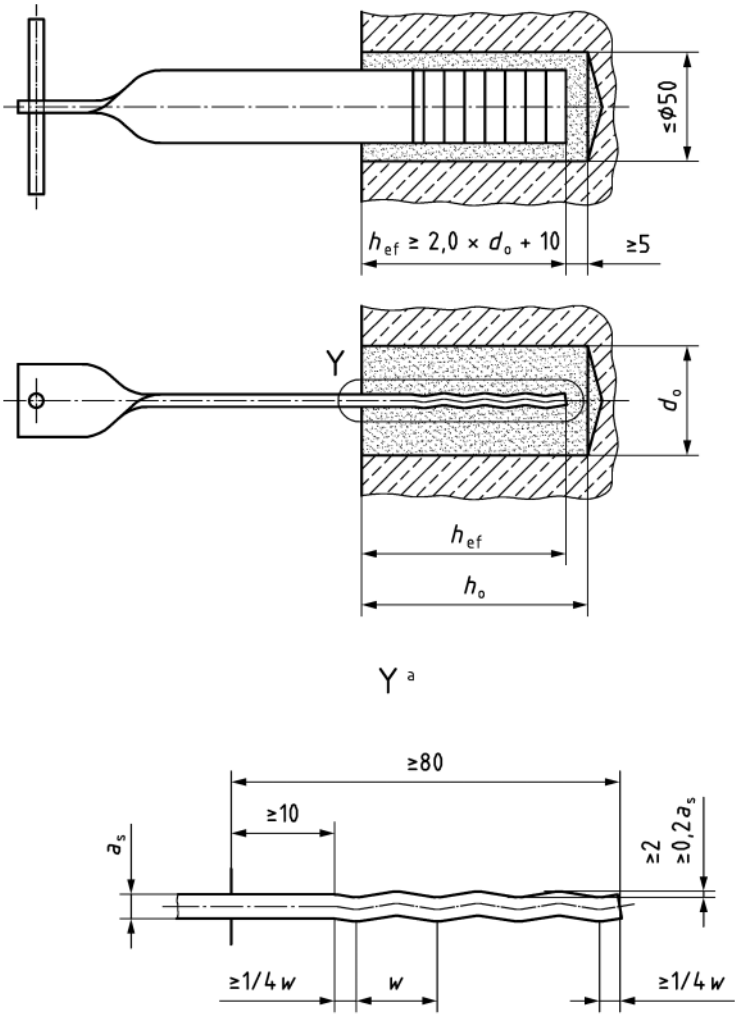
h_0 Bohrlochtiefe

h_{ef} Verankerungstiefe

Bild 8 — Flachstahlanker mit um 40° bis 90° gedrehtem Ende (Typ 1)

DIN 18516-5:2013-09

Maße in Millimeter



Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser

h_0 Bohrlochtiefe

h_{ef} Verankerungstiefe

a_s Stegdicke bzw. Ankerdurchmesser

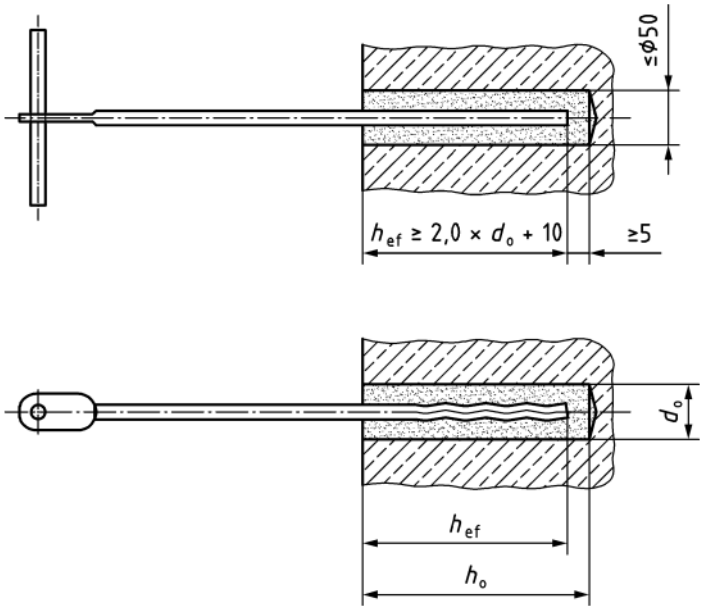
w Abstand Wellung

= 15 mm bis 35 mm, mindestens 2 Wellungen je Anker

[a] ohne Mörtel dargestellt´

Bild 9 — Flachstahlanker mit gewelltem Ende (Typ 2)

22



Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser

h_0 Bohrlochtiefe

h_{ef} Verankerungstiefe

Bild 10 — Rundstahlanker mit gewelltem Ende (Typ 3) (Ausbildung der Wellung siehe Bild 9)

6.3.2 Verankerungsmörtel

Für die Verankerung in Beton oder Mauerwerk dürfen folgende Mörtel verwendet werden:

— Mauermörtel M10 nach DIN EN 998-2,

— Betoninstandsetzungsmörtel nach DIN EN 1504-6,

— Mineralische Werktrockenmörtel mit Qualitätsüberwachung mit einer charakteristischen Druckfestigkeit von mindestens 20 N/mm^2, die mindestens die Anforderungen an Mauermörtel M20 nach DIN EN 998-2 erfüllen.

Die Anker dürfen frühestens nach den in Tabelle 5 angegebenen Mindestaushärtezeiten belastet werden. Bei Temperaturen des Verankerungsgrundes oder der Platten unter 5 °C dürfen Anker nicht gesetzt werden.

Tabelle 5 — Fristen für die Belastbarkeit des Ankermörtels

Temperatur	Neigung des aufwärts gebohrten Ankerlochs gegen die Horizontale				
	≤ 30°			> 30°	
	Verankerungsgrund				
	Mauerwerk	C15/18	C20/25 bis C50/55	C15/18	C20/25 bis C50/55
	Tage				
über 10 °C	1	1	2	3	3
5 °C bis 10 °C	3	3	10	14	14

6.3.3 Vorgaben für Entwurf, Einbau und Montage

6.3.3.1 Entwurf

Der Widerstand und die Zuverlässigkeit der Verankerung werden wesentlich von der Sorgfalt bei Entwurf und Einbau beeinflusst. Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sind in angemessener Weise zu beachten.

Die charakteristischen Widerstände nach 6.3.6 und 6.3.7 gelten unter folgenden Voraussetzungen:

a) Die Bemessung der Verankerungen erfolgt unter der Verantwortung von auf dem Gebiet der Verankerungen erfahrenem Fachpersonal.

b) Es sind prüfbare Berechnungen und Konstruktionszeichnungen unter Berücksichtigung der zu verankernden Lasten anzufertigen. Dabei sind in den Konstruktionszeichnungen das zu verwendende Verankerungsmittel, das Bohrverfahren, der Bohrlochdurchmesser und die Bohrlochtiefe sowie die Lage der Verankerung anzugeben.

c) Die Weiterleitung der Kräfte aus den Verankerungen in das Bauwerk ist statisch nachgewiesen.

d) Die Einbaubedingungen und Montagevorgaben nach 6.3.3.2 sind eingehalten.

6.3.3.2 Einbau und Montage

Der Einbau der eingemörtelten Verankerungen hat durch entsprechend geschultes Personal zu erfolgen. Der Einbau hat mit planmäßig vorgesehenen Teilen und den angegebenen Werkzeugen nach den Angaben der Konstruktionszeichnungen zu erfolgen.

Vor dem Bohren der Ankerlöcher ist die Wärmedämmung bis zu einer Größe von höchstens 150 mm × 150 mm bzw. einem Durchmesser von höchstens 150 mm auszuschneiden. Nach dem Einmörteln der Anker ist das ausgeschnittene Stück Wärmedämmung wieder sorgfältig einzusetzen.

Die Bohrlöcher sind so anzuordnen und herzustellen, dass evtl. vorhandene Bewehrung nicht beschädigt wird. Vor dem Setzen des Verankerungsmittels ist optisch zu kontrollieren, ob der vorhandene Untergrund den planmäßigen Vorgaben entspricht und eine einwandfreie Beschaffenheit aufweist.

Bohrlöcher in Beton und Vollsteinmauerwerk sind vorzugsweise im Hammerbohrverfahren herzustellen. Die Bohrlocherstellung mit Pressluft in Stahlbetonbauwerken ist prinzipiell möglich. In diesem Fall hat die Ermittlung des Widerstands der eingemörtelten Anker durch Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu erfolgen. Diamantgebohrte Löcher sind in Stahlbetontragwerken nicht gestattet. In Vollmauerwerk sind diamantgebohrte Löcher nachträglich mit Spezialwerkzeugen aufzurauen oder konisch mit mindestens 5 mm einseitiger Hinterschneidung herzustellen.

In Lochsteinen sind die Bohrlöcher vorzugsweise im Drehbohr- oder Diamantbohrverfahren zu erzeugen, da das Hammerbohrverfahren zu signifikanten Vorschädigungen im Stein mit deutlicher Reduzierung des Widerstands führen kann.

Der Durchmesser des Bohrlochs darf 50 mm nicht überschreiten.

Die Ankereinbindetiefe muss mindestens das 2fache + 10 mm des Bohrlochdurchmessers betragen. Die Bohrloch- oder Aussparungstiefe muss mindestens 5 mm größer als die Ankereinbindetiefe sein. Die geforderte Verankerungstiefe des Verankerungselements ist einzuhalten.

Vor dem Einsetzen der Anker ist das Bohrloch mit einer Rundbürste sorgfältig vom Bohrstaub durch mehrmaliges Ausbürsten und Ausblasen (bzw. Aussaugen) zu säubern.

Vorgefertigte Aussparungen zur Aufnahme der Verankerung sind gewellt oder hinterschnitten herzustellen. Schalungsreste müssen zur Haftverbesserung des Ankermörtels vollständig entfernt werden.

Vor dem Verfüllen sind die Löcher ausreichend vorzunässen. Anschließend sind die Löcher mit Mörtel hohlraumfrei zu verfüllen und nach dem Einsetzen der Anker mit geeignetem Werkzeug nachzuverdichten und bündig am Untergrund abzustreichen.

Die eingemörtelten Verankerungen dürfen frühestens nach den in Tabelle 5 angegebenen Fristen belastet werden.

6.3.4 Rechnerische Verankerungstiefe

Die rechnerische Verankerungstiefe für Traganker darf höchstens das 8fache der Ankersteghöhe betragen. Bei der Ermittlung der Auflagerkräfte im Verankerungsgrund darf vereinfachend angenommen werden, dass der gegenseitige Abstand der Auflagerkräfte 2/3 der rechnerischen Verankerungstiefe beträgt (siehe Bild 11).

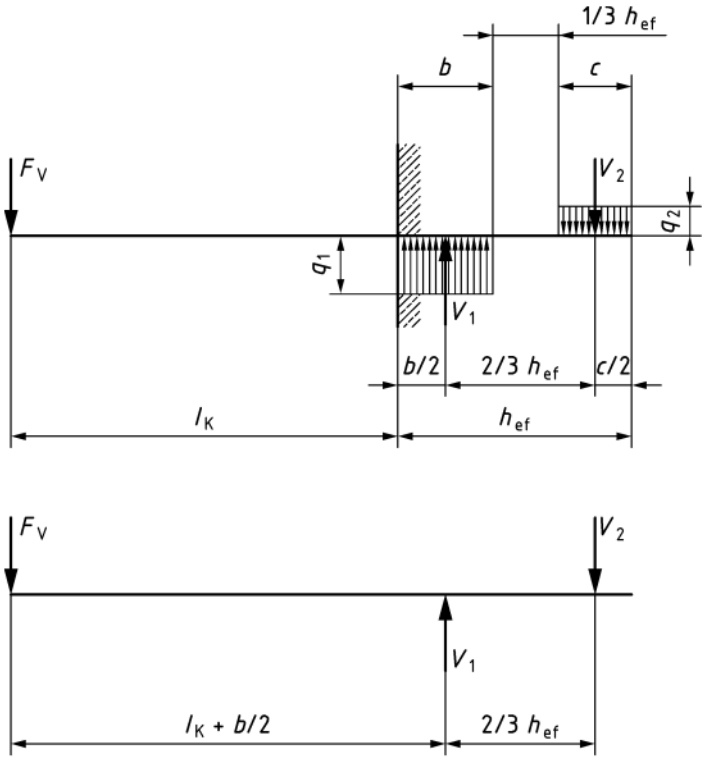
6.3.5 Ermittlung der Ankerquerschnitte

Die Ermittlung des erforderlichen Ankerquerschnittes ist für den Schnitt an der vorderen Auflagerachse (V_1 nach Bild 11) des Verankerungsgrundes unter Berücksichtigung der Momentenausrundung durchzuführen. Hierbei sind Schrägstellungen von $l_K/20$ der Ankerauskragung bzw. mindestens 15 mm bei bewehrten Bauteilen mit einzurechnen.

Zur Ermittlung der Auflagerpressungen darf vereinfachend eine rechteckige Spannungsverteilung verwendet werden (Bild 11).

Beim Nachweis der Pressung unter dem Ankersteg darf bei Verankerungen in Beton der 3fache Wert der einaxialen Druckfestigkeit des Verankerungsmörtels angesetzt werden. Bei Verankerungen in Mauerwerk darf das 1,5fache des kleineren Wertes aus einaxialer Druckfestigkeit des Verankerungsmörtels und Steindruckfestigkeit angesetzt werden.

DIN 18516-5:2013-09



Legende

b	rechnerische Auflägerlänge bei V_1
c	rechnerische Auflägerlänge bei V_2
F_V	rechnerisch angreifende Vertikalkraft
l_k	Ankerkraglänge
h_{ef}	Verankerungstiefe
V_1 und V_2	Auflagerkräfte im Verankerungsgrund
q_1 und q_2	Auflagerpressungen

Bild 11 — Rechnerische Einbindetiefe von eingemörtelten Tragankern (Modell)

6.3.6 Charakteristischer Widerstand im Mauerwerk

Die harmonisierten Europäischen Normen im Mauerwerksbau ermöglichen eine große Vielfalt von Mauersteinen, die sich in Material, Festigkeit, Rohdichte sowie Form und Ausbildung unterscheiden. Daher stellt Mauerwerk im Hinblick auf die Verankerung einen sehr komplexen und hinsichtlich des Widerstands nicht eindeutig charakterisierbaren Verankerungsgrund dar.

Eingemörtelte Verankerungen werden unter folgenden Bedingungen als geeignet zur Verankerung von Betonwerksteinwerksteinplatten am Bauwerk aus Mauersteinen angesehen:

a) der Bohrlochdurchmesser darf 50 mm nicht überschreiten;

b) die rechnerische Verankerungstiefe h_{ef} beträgt bei

1) Halteankern $h_{ef} \geq 80$ mm;

2) Tragankern $h_{ef} \geq 120$ mm;

c) Die Bauteildicke beträgt

1) $h \geq 240$ mm bzw.;

2) $h \geq 1{,}5\ h_{ef}$;

Der größere Wert ist maßgebend;

d) der minimale Achsabstand s_{min} beträgt in:

1) Vollstein: $s_{min} \geq$ max. (300 mm; 20 d_{nom}) ; (d_{nom} = statisch erforderlicher Ersatzdurchmesser für zentrischen Zug)

2) Lochstein: $s_{min} \geq$ max. (300 mm; l_{Stein});

e) der minimale Randabstand c_{min} beträgt in:

1) Vollstein: $c_{min} \geq$ max. (150 mm; 10 d_{nom}; 3 d_0) ; (d_{nom} = statisch erforderlicher Ersatzdurchmesser für zentrischen Zug);

2) Lochstein: $c_{min} \geq$ max. (150 mm; 0,5 l_{Stein}; 6 d_0);

f) die Druckfestigkeit des Verankerungsmörtels entspricht bei Belastungsbeginn zumindest der Steindruckfestigkeit.

Der charakteristische Widerstand des Verbundes ist für das jeweilige Mauerwerk gesondert über Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu ermitteln. Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit der Verankerung in Mauerwerk darf im statischen Nachweis für einen Anker jedoch maximal F_{Rk} = 4,0 kN angesetzt werden.

Für Druckkräfte gelten dieselben Werte.

6.3.7 Charakteristischer Widerstand in Beton

6.3.7.1 Allgemeines

Die folgenden Ausführungen gelten für Normalbeton nach DIN EN 206-1. Der charakteristische Widerstand für Verankerungen in Leichtbeton ist gesondert über Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu ermitteln.

Eingemörtelte Verankerungen werden unter folgenden Bedingungen als geeignet zur Verankerung von Betonwerksteinplatten am Bauwerk aus Stahlbeton angesehen:

a) Die Ermittlung der charakteristischen Widerstände des Verbundes erfolgt nach 6.3.7.2 bis 6.3.7.5. Bei der Anwendung verschiedener Verfahren ist der größere Widerstand maßgebend;

b) Der Bohrlochdurchmesser darf 50 mm nicht überschreiten

c) Die rechnerische Verankerungstiefe $h_{ef} \geq 80$ mm bzw. $h_{ef} \geq 2{,}0\ d_0 + 10$ mm. Der größere Wert ist maßgebend;

d) die Mindestbauteildicke beträgt für

1) Traganker: $h \geq 150$ mm bzw. $h \geq h_{ef} + 2\ d_0$, der größere Wert ist maßgebend

2) Halteanker: $h \geq 120$ mm bzw. $h \geq h_{ef} + 2\ d_0$, der größere Wert ist maßgebend

Der größere Wert ist maßgebend;

e) Rand- und Achsabstände (falls in 6.3.7.2 bis 6.3.7.5 nichts anderes bestimmt)

1) c_{min} = 80 mm bzw. 2 d_0

2) Randabstand: $c_{cr} \geq 1\ h_{ef}$

3) s_{min} = 100 mm bzw. 3 d_0

4) Achsabstand: $s_{cr} \geq 2\ h_{ef}$

f) Der Mindestdurchmesser des Ankers beträgt 5 mm; bei Rechteckquerschnitten muss die Mindestdicke 2 mm betragen und die Breite der längeren Seite einen Wert von 15 mm nicht unterschreiten;

g) Bei randnahen Verankerungen muss das Bauteil im Bereich der Verankerungstiefe eine Randbewehrung besitzen.

6.3.7.2 Verfahren A (vereinfachter Nachweis)

Verfahren A zur Ermittlung des Widerstands der Verankerungen gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C12/15. Die Bestimmung der Ankertragfähigkeit erfolgt für C12/15 und C16/18 durch Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8. In der Bemessung dürfen jedoch maximal die charakteristischen Widerstände nach Gleichung (13) bzw. Tabelle 6 angesetzt werden.

Die Bestimmungen in 6.3.7.1 sind zu beachten.

Der charakteristische Widerstand für eingemörtelte Verankerungen in Beton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25 ergibt sich aus dem Produkt der anrechenbaren Mantelfläche des Ankers und der Verbundfestigkeit des Mörtels:

$$F_{Rk} = A \cdot \tau_{Rk} \tag{16}$$

$$\text{mit: } A = U \cdot h_{ef} \tag{17}$$

Dabei ist

τ_{Rk}	der charakteristische Verbundwiderstand;
A	die anrechenbare Mantelfläche des Ankers;
U	der anrechenbare Umfang des Ankers nach Tabelle 8;
h_{ef}	die rechnerische Verankerungstiefe des Ankers: 80 mm ≤ h_{ef} ≤ 120 mm.

Der charakteristische Widerstand des Verbundes beträgt im gerissenen Beton τ_{Rk} = 1,0 N/mm^2 und im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton τ_{Rk} = 1,4 N/mm^2. Der Nachweis für ungerissenen Beton ist nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 zu führen, Die für den Widerstand des Verbundes rechnerisch in Ansatz gebrachte Verankerungstiefe darf höchstens 120 mm betragen. Der nach Gleichung (16) ermittelte charakteristische Widerstand des Verbundes gilt für alle Beanspruchungsrichtungen (Axial-, Schräg- und Querlast).

Tabelle 6 enthält charakteristische Widerstände des Verbundes für gerissenen Beton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25, ermittelt nach Gleichung (16) für Trag- und Halteanker aus Rund- und Flachstahl, abhängig von der Ankergröße und der Verankerungstiefe.

Die charakteristischen Widerstände des Verbundes nach Gleichung (16) bzw. Tabelle 6 gelten nur bei Herstellung der Bohrlöcher im Hammerbohrverfahren und bei Einhaltung der Achs- und Randabstände nach Tabelle 7. Die angegebenen Rand- und Achsabstände sind über die gesamte Länge des Verankerungsmittels einzuhalten.

Befindet sich der Verankerungspunkt im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton, dürfen die in Tabelle 6 angegebenen charakteristischen Widerstände des Verbundes um den Faktor 1,4 erhöht werden.

Werden andere Bohrverfahren als Hammerbohren oder andere Ankerformen als nach Bild 8 bis Bild 10, sowie nach Bilder B.1 bis B.4 eingesetzt, ist der charakteristische Widerstand des Verbundes durch Versuche am Bauwerk nach Abschnitt 8 zu ermitteln. Im statischen Nachweis dürfen jedoch maximal die Werte nach Tabelle 6 angesetzt werden.

Tabelle 6 — Charakteristische Widerstände F_{Rk} von Trag- und Halteankern aus Rund- und Flachstahl unter zentrischen Zug-, Quer- und Schrägzuglasten in gerissenem Beton der Festigkeitsklasse ≥ C20/25, **soweit kein Nachweis geführt wird**

Trag- und Halteanker				**Charakteristischer Widerstand F_{Rk}** in kN		
				Verankerungstiefe h_{ef} in mm		
				80	**100**	**120**
Rundstahlanker	d_{nom}	in mm	6	1,5	1,9	2,3
			8	2,0	2,5	3,0
			10	2,5	3,1	3,8
			12	3,0	3,8	4,5
			14	3,5	4,4	5,3
Flachstahlanker	Umfang	in mm	≥ 30	2,4	3,0	3,6
			≥ 60	4,8	6,0	7,2
			≥ 90	7,2	9,0	10,8

Tabelle 7 — Mindestbauteildicke, Rand- und Achsabstand für Trag- und Halteanker in gerissenem Beton der Festigkeitsklassen ≥ C20/25, **soweit kein Nachweis geführt wird**

Verankerungstiefe h_{ef} in mm		**80**	**100**	**120**
Mindestbauteildicke in mm	für $d_0 \leq 32$ mm	150	160	180
	für $d_0 \leq 50$ mm	180	200	220
Randabstand c_{cr}	in mm	120		
Achsabstand s_{cr}	in mm	240		

Tabelle 8 — Anrechenbarer Umfang für Ankertypen

Ankertyp	Anrechenbarer Umfang
Rund- und Flachstahl (Typ 1 bis 3)	Umfang
U-Querschnitt mit Stegwellung oder Stegstanzung (Typ 4 und 5)	90 % Umfang Steg
Rundrohranker mit Eindrückung am Ankerende (Typ 6)	70 % Umfang
Gerüstanker zusammengesetzt aus zwei kraftschlüssig verbundenen ineinander liegenden U-Profilen (Typ 7)	Außenumfang

Werden die erforderlichen Rand- bzw. Achsabstände nach Tabelle 7 nicht eingehalten, ist der charakteristische Widerstand des Verbundes eines Ankers nach Gleichung (16) bzw. Tabelle 6 bei Unterschreiten des Randabstandes c_{cr} und/oder des Achsabstandes s_{cr} zweier benachbarter Anker nach Gleichung (18) abzumindern. Eine Unterschreitung des Achsabstandes ist nur in eine Richtung und maximal zwischen zwei benachbarten Ankern zulässig.

Dabei dürfen folgende Mindestabstände nicht unterschritten werden:

— minimaler Randabstand c_{min} = 80 mm bzw. 2 d_0;

— minimaler Achsabstand s_{min} = 100 mm bzw. 3 d_0.

Der abgeminderte charakteristische Widerstand red F_{Rk} wird damit:

$$\text{red } F_{Rk} = (c_1/c_{cr}) \cdot (c_2/c_{cr}) \cdot (1 + s/s_{cr})/2 \cdot F_{Rk} \quad (18)$$

Dabei ist

F_{Rk} der Wert nach Gleichung (16) bzw. Tabelle 6;

c_1 der reduzierte Abstand zum Rand 1 ($c_{min} \leq c_1 \leq c_{cr}$);

c_2 der reduzierte Abstand zum Rand 2 ($c_{min} \leq {}_2 \leq c_{cr}$);

s der reduzierter Achsabstand bei zwei benachbarten Verankerungen ($s_{min} \leq s \leq s_{cr}$);

c_{cr} der Wert nach Tabelle 7;

s_{cr} der Wert nach Tabelle 7.

Die Mindestbauteildicke darf im Ausnahmefall (Verankerungen in Brüstungen) bis auf h_{min} = 150 mm reduziert werden, wenn bei Einhaltung des Randabstandes nach Tabelle 7 der Achsabstand mindestens 280 mm beträgt.

Für Druckkräfte gelten dieselben charakteristischen Werte.

6.3.7.3 Verfahren B (Verbundwiderstand konstant)

Verfahren B zur Ermittlung des Widerstands des Verbundes der Verankerungen gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25.

Die Bestimmungen in 6.3.7.1 sind zu beachten.

Die Ermittlung des charakteristischen Widerstandes des Verbundes der Verankerung erfolgt anwendungsspezifisch durch den Nachweis der möglichen Versagensarten in Abhängigkeit von der Beanspruchungsrichtung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 unter Ansatz des Profilfaktors auf die Verbundspannung τ_{Rk} und zusätzlichem Nachweis der Pressung für Mörtel (siehe 6.3.5).

Der in der Bemessung anzusetzende charakteristische Verbundwiderstand beträgt im gerissenen Beton τ_{Rk} = 1,0 N/mm^2 und im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton τ_{Rk} = 1,4 N/mm^2. Die für den Verbundwiderstand rechnerisch in Ansatz gebrachte Verankerungstiefe darf höchstens 120 mm betragen.

Für die Berechnung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 gelten folgende Randbedingungen:

a) Es gelten die Anwendungsgrenzen nach Abschnitt 6 dieser Norm;

b) Folgende Werte werden abweichend von DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 der Berechnung zugrunde gelegt:

1) Nachweis gegen Kombiniertes Herausziehen und Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (2):

$$N^0_{RKp} = \tau_{Rk} \cdot U \cdot h_{ef}$$

Dabei ist

U der anrechenbare Umfang des Ankers nach Tabelle 8;

h_{ef} die rechnerische Verankerungstiefe des Ankers: 80 mm $\leq h_{ef} \leq$ 120 mm.

2) Nachweis gegen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (13), (14):

k_{cr} = 7,0 k_{ucr} = 10,0

3) Nachweis gegen Betonkantenbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (29), Tabelle 6:

$$d_{nom} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}}$$

Dabei ist

d_{nom} der Ersatzdurchmesser;

I das Trägheitsmoment des Ankerquerschnitts.

4) Nachweis gegen rückwärtigen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (27):

$$V_{Rkcp} = k_3 \cdot N_{Rkp}$$

k_3 = 1,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} = 2$

k_3 = 2,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} \geq 4$

Werte für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} < 2$ sind nicht zulässig. Zwischenwerte für 2 ≤ $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} \leq 4$ können interpoliert werden.

Die Mindestbreite des Ankerauflagers beträgt b_V = 5/6 $\cdot d_{nom}$. Die Mindestdicke des Auflagers beträgt t_V = 2 mm.

6.3.7.4 Verfahren C (Verbundwiderstand variabel)

Verfahren C gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton der Betonfestigkeitsklasse von mindestens C20/25 mit geeignetem Zementmörtel nach 6.3.2 in Verbindung mit der DAfStb Richtlinie „Herstellung und Verwendung von Trockenbeton und Trockenmörtel“

Die Bestimmungen in 6.3.7.1 sind zu beachten.

Die Ermittlung des charakteristischen Widerstandes des Verbundes der Verankerung erfolgt anwendungsspezifisch durch den Nachweis der möglichen Versagensarten in Abhängigkeit von der Beanspruchungsrichtung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 unter Ansatz des Profilfaktors auf die Verbundspannung τ_{Rk} und zusätzlichem Nachweis der Pressung für Mörtel (siehe 6.3.5).

Der charakteristische Verbundwiderstand beträgt im gerissenen Beton $\tau_{Rk} = 0{,}22 f_{ck}^{2/3}$ in N/mm^2. Bei der Anwendung im statisch nachgewiesenen ungerissenen Beton darf der Verbundwiderstand um den Faktor 1,4 erhöht werden. Die Festigkeit des Mörtels darf nur bis zur Festigkeitsklasse C 40/50 genutzt werden.

Die für den Verbundwiderstand rechnerisch in Ansatz gebrachte Verankerungstiefe darf höchstens 120 mm betragen.

Für die Berechnung nach DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 gelten folgende Randbedingungen:

a) Es gelten die Anwendungsgrenzen nach Abschnitt 6 dieser Norm.

b) Folgende Werte werden abweichend von DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08 der Berechnung zugrunde gelegt:

   1) Nachweis gegen kombiniertes Herausziehen und Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (2):

$$N_{RKp}^{0} = \tau_{Rk} U \cdot h_{ef}$$

Dabei ist

U der anrechenbare Umfang des Ankers nach Tabelle 8;

h_{ef} die rechnerische Verankerungstiefe des Ankers: 80 mm ≤ h_{ef} ≤ 120 mm.

   2) Nachweis gegen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (13), (14):

k_{cr}= 7,0 k_{ucr} = 10,0

   3) Nachweis gegen Betonkantenbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (29) Tabelle 2:

$$d_{nom} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}}$$

Dabei ist

d_{nom} der Ersatzdurchmesser;

I das Trägheitsmoment des Ankerquerschnitts.

4) Nachweis gegen rückwärtigen Betonausbruch, DIN CEN/TS 1992-4-5 (DIN SPEC 1021-4-5):2009-08, Gleichung (27):

$V_{Rk,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c}$

k_3 = 1,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} = 2$

k_3 = 2,0 für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} \geq 4$

Werte für $\frac{h_{ef}}{d_{nom}} < 2$ sind nicht zulässig. Zwischenwerte für $2 \leq \frac{h_{ef}}{d_{nom}} \leq 4$ können interpoliert werden.

Die Mindestbreite des Ankerauflagers beträgt $b_v = 5/6 \cdot d_{nom}$. Die Mindestdicke des Auflagers beträgt t_v = 2 mm.

6.3.7.5 Verfahren D (Mörtel, Verbundwiderstand variabel)

Verfahren D gilt ausschließlich für Verankerungen in Normalbeton mit einem Mörtel nach 6.3.2, oder dessen Nachweis der Verwendbarkeit durch eine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall festgestellt ist.

Die Anwendungsbedingungen wie Untergrundeigenschaften, Art der Belastung und geometrische Randbedingungen sind dem Verwendungsnachweis zu entnehmen. Die Ermittlung des charakteristischen Widerstands erfolgt nach dem Verfahren, das der Verwendungsnachweis des Mörtels vorschreibt. Der hierfür anzusetzende charakteristische Verbundwiderstand τ_{Rk} ist im Verwendbarkeitsnachweis enthalten.

ANMERKUNG Der Verwendbarkeitsnachweis für den Verankerungsmörtel wird nach einer Prüfrichtlinie analog ETAG 001-5 Beh zur Bestimmung der Eignung und zulässigen Anwendungsbedingungen für Verbunddübel erbracht. Die charakteristische Verbundfestigkeit kann beliebig hohe Werte annehmen, das Bemessungskonzept ist hinsichtlich der Bedürfnisse der Natursteinverankerung mittels Mörtelanker optimiert.

7 Standsicherheitsnachweis

7.1 Allgemeines

Für die Betonwerksteinplatten, deren Befestigungen und Verankerungen ist ein statischer Nachweis unter Berücksichtigung des Teilsicherheitskonzeptes nach Anhang A zu führen.

Die auf die Betonwerksteinplatten und deren Befestigung wirkenden Beanspruchungen müssen als statisch äquivalente Zug- und Querlasten auf die Verankerungen weitergeleitet werden. Dies kann auf Basis der Elastizitätstheorie erfolgen.

Betonwerksteinplatten sind als punktförmig gelagerte Platten unter Berücksichtigung der maßgeblichen Einwirkungen nachzuweisen.

Die Bemessungswerte der Einwirkungen errechnen sich auf Basis von Anhang A unter Berücksichtigung aller auftretenden Lasten. Die Lastkombinationen sind nach Anhang A zu bilden. Zusatzlasten, z. B. aus Zwängungen infolge Temperaturdifferenzen (siehe DIN 18516-1) sind gesondert zu berücksichtigen. Die ungünstigste Kombination ist maßgebend. Gegebenenfalls sind mehrere Kombinationen, getrennt für die Betonwerksteinplatten, deren Befestigungen und Verankerungen, zu untersuchen. Befahranlagen dürfen die Bekleidung nicht belasten.

Kann Zwang (erzwungene Verformung) nicht vernachlässigt werden, so wird er grundsätzlich als veränderliche Einwirkung betrachtet. Bei linearer Schnittgrößenermittlung darf der Teilsicherheitsbeiwert für Zwang bei ungünstigen Einwirkungen um 1/3 abgemindert werden, d. h. γ_Q = 1,0.

Betonwerksteinplatten können konstruktiv mit für Beton bauaufsichtlich zugelassenen Fasern und Geweben bewehrt sein. Für die Ermittlung der charakteristischen Widerstände ist die Last bis zum ersten Riss zu berücksichtigen. Für mit Baustahl bewehrte Platten, soweit die Bewehrung statisch erforderlich ist, gilt DIN EN 1992-1-1.

Die Plattendicke beträgt bei Befestigungen nach Abschnitt 5 und einer Neigung der Platte gegen die Horizontale von

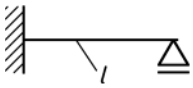
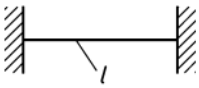
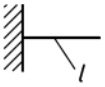
α > 60° mindestens 30 mm;

α ≤ 60° mindestens 30 mm bzw. l_i / 35. Der größere Wert ist maßgebend.

Dabei ist

l die größte Systemstützweite.

Tabelle 9 — Faktoren zur Ermittlung der Biegeschlankheit

	System	$\alpha_S = l_i / l$
1		1,0
2		0,8
3		0,6
4		2,4

7.2 Erhöhungsfaktor bei Eigenlasten

Bei horizontalen und bis 85° gegen die Horizontale geneigte Platten ist wegen Verringerung der Biegezugfestigkeit, der Ausbruchlast am Ankerdorn infolge Dauerlasteinwirkung, Schwingungen, Erschütterungen und dynamischer Beanspruchungen ein Erhöhungsfaktor zu berücksichtigen. Beim statischen Nachweis ist die Eigenlast der Platten mit dem Erhöhungsfaktor α_G = 1,4 zu multiplizieren. Beim Nachweis der Verankerung muss dieser Faktor nicht berücksichtigt werden.

Vom Wert dieses Faktors darf abgewichen werden, wenn ein gesonderter Nachweis für den Faktor geführt wird. Dieser Faktor ist nur bei Lastkomponenten zu berücksichtigen, die in den nachzuweisenden Platten Biegespannungen hervorrufen.

7.3 Bemessungswerte der Widerstände

7.3.1 Betonwerksteinplatte

Der Bemessungswert der Biegezugfestigkeit ist nach der Gleichung (19) zu ermitteln:

$$\sigma_{Rd} = \frac{\sigma_{Rk}}{\gamma_M} \tag{19}$$

Dabei ist

σ_{Rk} der charakteristische Wert der Biegezugfestigkeit nach 4.2.1;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert nach 4.4.

7.3.2 Befestigung

Die Bemessungswerte des Tragwiderstands der Befestigung sind nach den Gleichungen (20) und (21) zu ermitteln:

$$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_M} \tag{20}$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{\gamma_M} \tag{21}$$

Dabei ist

N_{Rk} der charakteristische Tragwiderstand bei Lastangriff senkrecht zur Platte, ermittelt nach 5.3 bis 5.6;

V_{Rk} der charakteristische Tragwiderstand bei Lastangriff parallel zur Platte, ermittelt nach 5.3 bis 5.6;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert nach 4.4.

7.3.3 Verankerung

Der Bemessungswert des Tragwiderstandes der Verankerung ist nach Gleichung (22) zu ermitteln.

$$F_{Rd} = F_{Rk} / \gamma_M \tag{22}$$

Dabei ist

F_{Rk} der charakteristische Widerstand nach 6.3.7.2 bis 6.3.7.5;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand: Beton = 1,8; Mauerwerk = 2,5 (die Werte gelten für alle Nachweise im Verankerungsgrund).

Eingemörtelte Verankerungen werden üblicherweise mit einem Anker je Bohrloch ausgeführt. Werden in Sonderfällen zwei Anker in dasselbe Bohrloch gesetzt, so müssen beide Anker einen Rechteck-Querschnitt aufweisen und senkrecht zueinander liegen. Zudem darf der Bemessungswiderstand des Verbundes im Verankerungsgrund jedes Ankers nur zu höchstens 40 % ausgenutzt werden.

7.4 Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

7.4.1 Betonwerksteinplatte

Aus den maßgebenden Biegemomenten sind die entsprechenden Biegezugspannungen mittels Gleichung (23) zu ermitteln.

Für die ermittelten Biegezugspannungen ist nachzuweisen, dass Gleichung (24) eingehalten ist.

$$\sigma_{\mathrm{Ed}} = \frac{6 \cdot m_{\mathrm{Ed}}}{d^2} \tag{23}$$

$$\frac{\sigma_{\mathrm{Ed}}}{\sigma_{\mathrm{Rd}}} \leq 1 \tag{24}$$

Dabei ist

m_{Ed} der Bemessungswert des einwirkenden maßgebenden Biegemoments in der Fassaden-/Leibungsplatte;

d die Plattendicke der Fassaden- bzw. Leibungsplatte;

σ_{Rd} der Wert nach Gleichung (19).

7.4.2 Befestigung

Für die ermittelten Lasten der Befestigung ist nachzuweisen, dass Gleichung (25) eingehalten ist.

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{Rd}}} \leq 1 \tag{25}$$

Bei gleichzeitiger Beanspruchung einer Steckdorn- oder Schraubbefestigung durch zentrischen Zug (Beanspruchung senkrecht zur Platte) und Querlast (Beanspruchung parallel zur Platte) sind zusätzlich die Gleichungen (26) und (27) einzuhalten.

$$\frac{V_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{Rd}}} \leq 1 \tag{26}$$

$$\frac{N_{\mathrm{Ed}}}{N_{\mathrm{Rd}}} + \frac{V_{\mathrm{Ed}}}{V_{\mathrm{Rd}}} \leq 1{,}2 \tag{27}$$

Dabei ist

N_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung senkrecht zur Platte;

V_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung auf die Befestigung parallel zur Platte;

N_{Rd} der Wert nach Gleichung (20),

V_{Rd} der Wert nach Gleichung (21).

7.4.3 Verankerung

Für die ermittelten Lasten der Verankerungen ist nachzuweisen, dass Gleichung (28) eingehalten ist.

$$\frac{F_{\mathrm{Ed}}}{F_{\mathrm{Rd}}} \leq 1 \tag{28}$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung auf die Verankerung;

F_{Rd} der Wert nach Gleichung (22).

7.5 Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Für die rechtwinklig zur Plattenebene wirkende Komponente der Eigenlast darf die Durchbiegung 1/500 der Stützweite nicht überschreiten.

8 Versuche am Bauwerk

8.1 Allgemeines

Alle in den Bauwerksversuchen zu überprüfenden Anker sind unter den Baustellenbedingungen (z. B. Bohrvorgang, Bohrmaschine, Bohrer, Lochform, Fugen, Abstände) einzubauen, wie sie auch für die anderen Anker an der Baustelle zu erwarten sind.

Die Aushärtedauer des Mörtels muss der auf der Baustelle zu erwartenden Aushärtedauer bis zur Erstbelastung entsprechen. In Zweifelsfällen sind Erhärtungsprüfungen an gleichzeitig hergestellten und unter gleichen Bedingungen gelagerten Probeprismen des Verankerungsmörtels für die Festlegung des Versuchsbeginns maßgebend.

Die Belastungseinrichtung sollte in den Versuchen eine kontinuierliche Laststeigerung und möglichst eine parallel dazu verlaufende Wegmessung erlauben. Die Versuche sind mit einer kalibrierten Messeinrichtung durchzuführen und die gewonnenen Daten aufzuzeichnen.

Die Last muss senkrecht zur Bauteiloberfläche zum Toleranzausgleich gelenkig in den Anker eingebracht werden. Die Reaktionskräfte aus der Versuchseinrichtung dürfen einen möglichen Ausbruchkörper nicht verhindern. Diese Bedingung gilt als erfüllt, wenn die Abstützung auf benachbarten Steinen erfolgt oder in einem Abstand von mindestens 150 mm zum Anker bzw. dem 1,5fachen der Verankerungstiefe des Ankers. Der größere Wert ist maßgebend.

Zur Ermittlung des charakteristischen Widerstands besteht die Möglichkeit entweder Auszugsversuche bis zur Höchstlast der Verankerung oder Probebelastungen nach 8.3 durchzuführen.

8.2 Auszugsversuche

8.2.1 Anzahl der Versuche

8.2.1.1 Allgemeines

Jeder Ankertyp, jede Ankergröße und jeder Ankergrund ist mit der im Folgenden aufgelisteten Anzahl von Versuchen zu überprüfen. Für einen vereinfachten Nachweis kann auch nur der jeweilige Ankertyp mit dem geringsten Widerstand geprüft werden. Die Ergebnisse gelten dann für alle Ankertypen und –größen im Ankergrund.

8.2.1.2 Mauerwerk

Zur Ermittlung der zentrischen Zugtragfähigkeit der Verankerungen sind mindestens

— 10 Versuche im Stein;

— 5 Versuche in Lagerfugen und

— 5 Versuche in Stoßfugen

durchzuführen.

Bei Mauerwerk mit unbekannter Steinart, Stein- und Mörtelfestigkeit sind zusätzlich Traganker mit quer wirkender Kraft zu prüfen. Dabei sind

— 5 Versuche unter 0° (Querbeanspruchung) und

— 5 Versuche unter 30°

als Winkel der Kraftrichtung zur Wandebene vorzusehen.

8.2.1.3 Beton

Zur Ermittlung der zentrischen Zugtragfähigkeit der Verankerungen sind mindestens 15 Versuche durchzuführen. Die Verankerungsstellen müssen die Verankerungsgegebenheiten des Gebäudes repräsentativ abbilden.

Bei Beton mit unbekannter Festigkeit sind zusätzlich Traganker mit quer wirkender Kraft zu prüfen. Dabei sind

— 5 Versuche bei 0° (Querbeanspruchung);

— 5 Versuche bei 30°;

als Winkel der Kraftrichtung zur Wandebene vorzusehen.

8.2.2 Durchführung der Versuche

Die Prüfkraft ist mit dem Ausziehgerät stetig so zu steigern, dass die Höchstlast frühestens nach etwa 1 min erreicht wird. Dabei sind möglichst die Verschiebungen während des Versuchs zu messen. Eine Rissbildung kündigt sich durch das Abflachen der Last-Verschiebungskurve an.

8.2.3 Auswertung der Versuchsergebnisse

Der charakteristische Widerstand bei Zugbeanspruchung ergibt sich aus den gemessenen Höchstlasten wie folgt:

$$N_{\mathrm{Rk}} = 0{,}5 \cdot N_{\mathrm{m,min}} \tag{29}$$

Dabei ist

$N_{\mathrm{m,min}}$ der Mittelwert der 5 kleinsten gemessenen Höchstlasten.

Der charakteristische Widerstand bei Querbeanspruchung ergibt sich aus den gemessenen Höchstlasten wie folgt:

$$V_{\mathrm{Rk,0°}} = 0{,}33 \cdot V_{\mathrm{0°,m}} \tag{30}$$

Dabei ist

$V_{\mathrm{0°,m}}$ der Mittelwert der Höchstlasten aus Querbeanspruchung.

Der charakteristische Widerstand bei Schrägzugbeanspruchung ergibt sich aus den gemessenen Höchstlasten wie folgt:

$$V_{Rk,30°} = 0{,}33 \cdot V_{30°,m} \quad (31)$$

Dabei ist

$V_{30°,m}$ der Mittelwert der Höchstlasten aus Schrägzugbeanspruchung.

8.3 Probebelastung

8.3.1 Mauerwerk

Zur Ermittlung der zentrischen Zugtragfähigkeit der Verankerungen sind mindestens

— 10 Versuche im Stein;

— 5 Versuche in Lagerfugen; und

— 5 Versuche in Stoßfugen;

durchzuführen.

Bei Mauerwerk mit unbekannter Steinart, Stein- und Mörtelfestigkeit sind zusätzlich Traganker mit quer wirkender Kraft zu prüfen. Dabei sind

— 5 Versuche unter 0° (Querbeanspruchung) und

— 5 Versuche unter 30°

als Winkel der Kraftrichtung zur Wandebene vorzusehen.

8.3.2 Beton

Zur Ermittlung der zentrischen Zugtragfähigkeit der Verankerungen sind mindestens 15 Versuche durchzuführen. Die Verankerungsstellen müssen die Verankerungsgegebenheiten des Gebäudes repräsentativ abbilden.

Bei Beton mit unbekannter Festigkeit sind zusätzlich Traganker mit quer wirkender Kraft zu prüfen. Dabei sind

— 5 Versuche bei 0° (Querbeanspruchung);

— 5 Versuche bei 30°

als Winkel der Kraftrichtung zur Wandebene vorzusehen.

8.3.3 Durchführung der Versuche

Die Prüfkraft ist mit dem Ausziehgerät stetig so zu steigern bis die Prüflast erreicht wird. Die Prüflast, mit der die Probebelastung durchzuführen ist, ergibt sich zu:

$$F_P = F_{Ed} \cdot \gamma_M \quad (32)$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der Einwirkung für die jeweiligen Beanspruchungsrichtungen;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand: Beton = 1,8; Mauerwerk = 2,5.

8.3.4 Auswertung der Versuchsergebnisse

Falls bei allen Versuchen keine sichtbare Verschiebung des Ankers oder keine Rissbildung im Verankerungsgrund bis zum Erreichen der Prüflast F_P vorliegt, kann der Wert der Prüflast in der Bemessung als charakteristischer Widerstand des Verbundes F_{Rk} angesetzt werden.

8.4 Versuchsbericht

Über die Versuche am Bauwerk ist ein Versuchsbericht zu erstellen. Der Versuchsbericht muss mindestens folgende Angaben enthalten:

a) Bauherr, Bauort;

b) Mauerwerk (Steinart, Festigkeitsklasse, Steinmaße, Mörtelgruppe);

c) augenscheinliche Beurteilung des Mauerwerks (Vollfugigkeit, Fugendicke, Stoßfugenausbildung);

d) Ankerart, Querschnittswerte, Stahlsorte;

e) Bohrverfahren und Bohrwerkzeuge;

f) Art der Bohrlochvorbereitung (Reinigungsverfahren, Vornässen);

g) Verankerungsmörtel (Zusammensetzung, Erhärtungsprüfungen und ihre Ergebnisse);

h) Verankerungsmörtel (Zusammensetzung, Erhärtungsprüfungen und ihre Ergebnisse);

i) Lage der geprüften Anker am Bauwerk;

j) Zeitpunkt des Einbaus der Anker;

k) Zeitpunkt der Prüfung der Anker;

l) Versuchseinrichtung und zugehöriger Kalibriernachweis;

m) Ergebnisse der Versuche (Versagensart, Höchstlast, Prüflast) mit Auswertung;

n) Verantwortlicher Prüfer.

Anhang A
(normativ)

Ergänzende Festlegungen

A.1 Allgemeines

Die Bemessung schließt ein, dass die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit in angemessener Weise beachtet werden. Um die erforderliche Zuverlässigkeit zu erreichen, werden die Fassadenplatten in den definierten Grenzzuständen nach dieser Norm bemessen.

A.2 Einwirkungen

A.2.1 Charakteristische Werte

Charakteristische Werte für Einwirkungen werden

— einschlägigen Lastnormen (siehe DIN 18516-1) entnommen oder;

— vom Bauherrn oder dem Tragwerksplaner jeweils in Abstimmung mit der Bauaufsicht festgelegt.

Dabei sind die Mindestanforderungen, die in den einschlägigen Normen oder von der zuständigen Bauaufsichtsbehörde festgelegt sind, zu beachten.

Für Zwängungen infolge Temperaturdifferenzen gilt DIN 18516-1.

A.2.2 Kombination von veränderlichen Einwirkungen

Veränderliche Einwirkungen sind entsprechend den Einwirkkombinationen nach den Gleichungen mit einem Kombinationsbeiwert ψ zu multiplizieren.

Kombinationsbeiwerte erfassen für unterschiedliche Zeitintervalle die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von veränderlichen Lasten in ungünstigster Größe und Kombination.

Die Kombinationsbeiwerte ψ sind der Tabelle A.1 zu entnehmen.

Tabelle A.1 — Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen

Einwirkung	Kombinationsbeiwert		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkehrslast $Q_{k,i}$	0,7	0,5	0,3
Schneelasten und Eislasten (Orte bis NN + 1 000 m)	0,5	0,2	0
Schneelasten und Eislasten (Orte über NN + 1 000 m)	0,7	0,5	0,2
Windlasten	0,6	0,5	0
Temperatur (nicht aus Brand)	0,6	0,5	0
alle anderen Einwirkungen	0,8	0,7	0,5

A.2.3 Bemessungswerte

Der Bemessungswert F_d einer Einwirkung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergibt sich i. Allg. aus der Multiplikation des charakteristischen Wertes der Einwirkung mit dem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert:

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k \tag{A.1}$$

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen γ_F sind der Tabelle A.2 zu entnehmen.

A.3 Grenzzustände der Tragfähigkeit

A.3.1 Allgemeines

Grenzzustände der Tragfähigkeit sind diejenigen Zustände, bei deren Überschreitung der Einsturz oder andere Formen des Tragwerkversagens eintreten.

Tritt der Grenzzustand durch Bruch oder Überschreitung der Grenzdehnungen einer Befestigung ein, ist nachzuweisen, dass Gleichung (A.2) eingehalten ist:

$$E_d \leq R_d \tag{A.2}$$

Dabei ist E_d der Bemessungswert einer Schnittgröße, einer Spannung oder einer Verformung und R_d der zugehörige Bemessungswert des Tragwiderstands.

A.3.2 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen

Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen sind in Tabelle A.2 enthalten.

Tabelle A.2 — Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Auswirkung	ständige Einwirkung	veränderliche Einwirkung
günstig	1,0	1,0
ungünstig	1,35	1,5

Kann Zwang (erzwungene Verformung) nicht vernachlässigt werden, so wird er grundsätzlich als veränderliche Einwirkung betrachtet. Bei linearer Schnittgrößenermittlung darf der Teilsicherheitsbeiwert für Zwang bei ungünstigen Einwirkungen um 1/3 abgemindert werden, d. h. γ_Q = 1,0.

A.3.3 Kombination von Einwirkungen

Für jede Einwirkungskombination sind die Bemessungswerte E_d der Beanspruchungen anhand der folgenden Kombinationsregeln zu bestimmen:

— Ständige und vorübergehende Bemessungssituationen (Grundkombination)

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j}\oplus\gamma_{Q,j}\cdot Q_{k,j}\oplus\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\cdot\psi_{0,i}\cdot Q_{k,i} \qquad \text{(A.3)}$$

— Außergewöhnliche Bemessungssituationen (sofern nicht anderweitig abweichend angegeben)

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j}\oplus A_{Ed}\oplus\psi_{1,j}\cdot Q_{k,j}\oplus\sum_{i>1}\psi_{2,i}\cdot Q_{k,i} \qquad \text{(A.4)}$$

— Kombination für die Bemessungssituationen infolge von Erdbeben

$$\sum_{j\geq 1}G_{k,j}\oplus\gamma_I\cdot A_{Ed}\oplus\sum_{i>1}\psi_{2,i}\cdot Q_{k,i} \qquad \text{(A.5)}$$

Dabei ist

$G_{k,j}$	der charakteristische Wert der ständigen Einwirkungen;
$Q_{k,j}$	der charakteristische Wert einer veränderlichen Einwirkung;
$Q_{k,i}$	der charakteristische Wert weiterer veränderlicher Einwirkungen;
A_{Ed}	der Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkungen (z. B. Erdbeben);
$\gamma_{G,j}$	die Teilsicherheit für ständige Einwirkungen j (siehe Tabelle A.2);
$\gamma_{Q,j}$	die Teilsicherheit für die veränderliche Einwirkung j (siehe Tabelle A.2);
$\gamma_{Q,i}$	die Teilsicherheit für weitere veränderliche Einwirkungen i;
ψ_0, ψ_1, ψ_2	die Kombinationsbeiwerte (siehe Tabelle A.1).

A.4 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

A.4.1 Allgemeines

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist derjenige Zustand, bei dessen Überschreitung die festgelegte Bedingung für die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr erfüllt ist.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit umfasst die Begrenzung der Verformung (nach 6.3).

Es ist die Bedingung

$$E \leq C \tag{A.6}$$

zu erfüllen.

Dabei ist

E die Einwirkung auf der Grundlage der in A.3.3 aufgeführten Kombination;

C der maßgebende Wert bestimmter Bauteileigenschaften, die auch den Bemessungsschnittgrößen zugrunde liegen.

A.4.2 Kombination von Einwirkungen

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist derjenige Zustand, bei dessen Überschreitung die festgelegte Bedingung für die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr erfüllt ist.

-Quasi-ständige Kombination

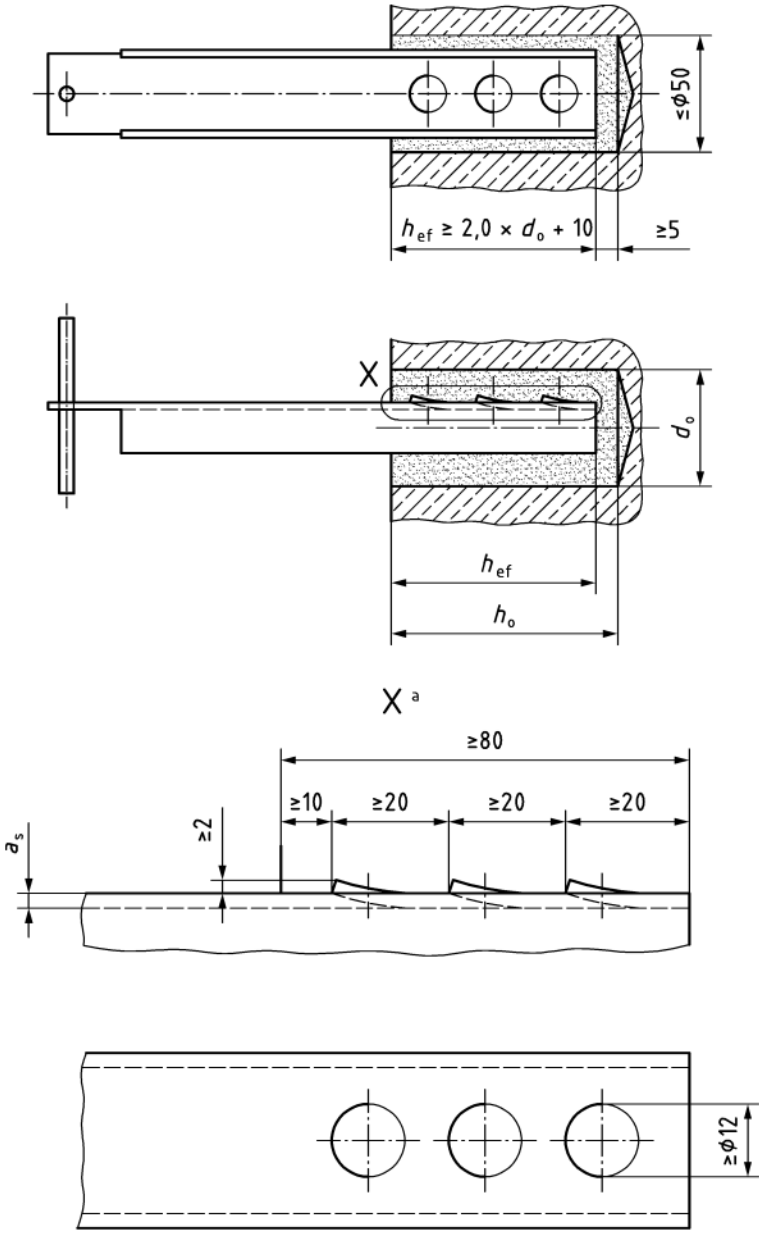
$$\sum_{j \geq 1} G_{\mathrm{k},j} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{\mathrm{k},i} \tag{A.7}$$

Der Kombinationsbeiwert ψ_2 ist Tabelle A.1 zu entnehmen.

Anhang B
(informativ)

Weitere gebräuchliche Ankerformen

Maße in Millimeter



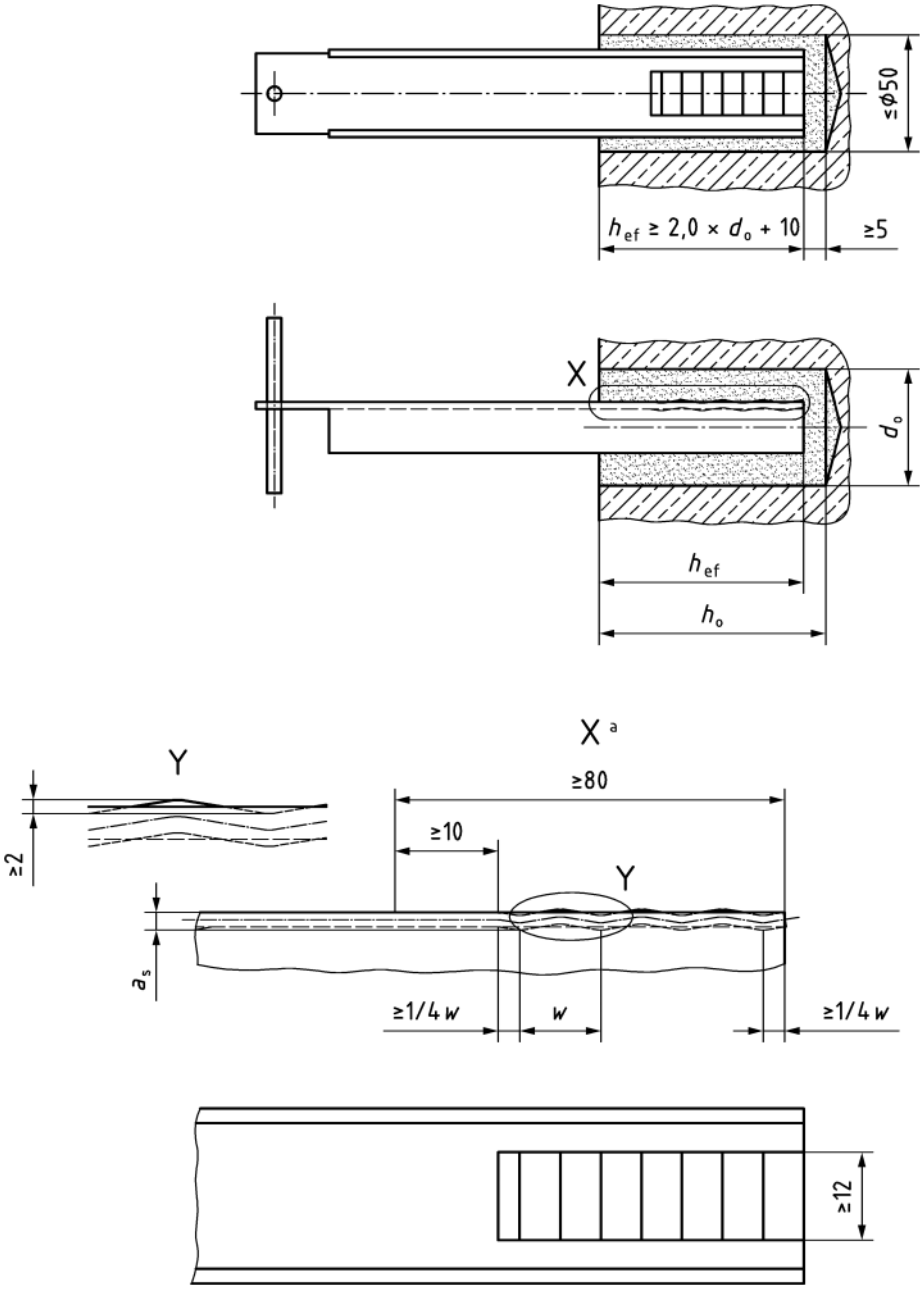
Legende

d_0	Bohrlochdurchmesser	a_s	Stegdicke bzw. Ankerdurchmesser
h_0	Bohrlochtiefe	a	ohne Mörtel dargestellt
h_{ef}	Verankerungstiefe	b	oder ≥ 2 mm

Bild B.1 — U-Anker mit Stanzungen (Typ 4)

DIN 18516-5:2013-09

Maße in Millimeter

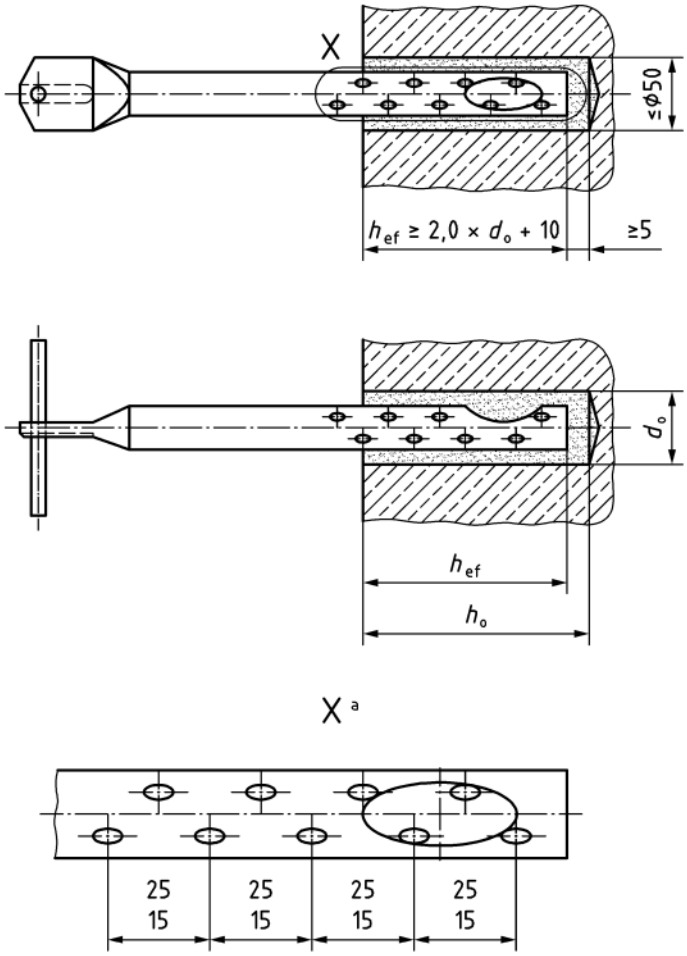


Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser
h_0 Bohrlochtiefe
h_{ef} Verankerungstiefe
a_s Stegdicke bzw. Ankerdurchmesser
w Abstand Wellung
= 15 mm bis 35 mm, mindestens 2 Wellungen je Anker
a ohne Mörtel dargestellt
b oder ≥ 2 mm

Bild B.2 — U-Anker mit Wellung (Typ 5)

Maße in Millimeter



Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser

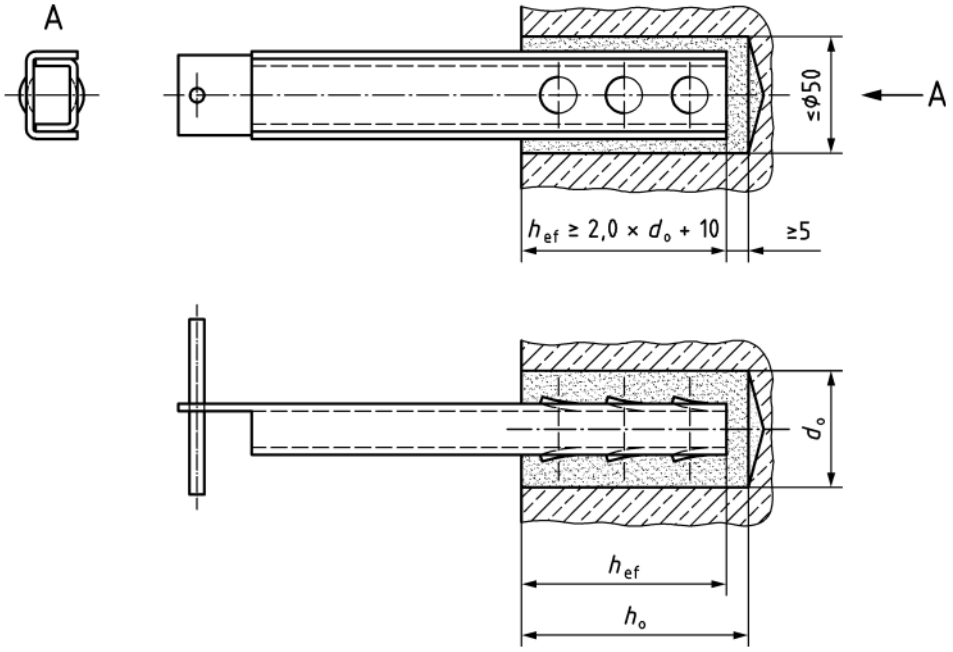
h_0 Bohrlochtiefe

h_{ef} Verankerungstiefe

a ohne Mörtel dargestellt

Bild B.3 — Rohranker (Typ 6)

DIN 18516-5:2013-09



Legende

d_0 Bohrlochdurchmesser

h_0 Bohrlochtiefe

h_{ef} Verankerungstiefe

A Kraftschlüssig verbundene U-Anker vom Typ 4 bzw. Typ 5

Bild B.4 — Kombinierter U-Anker (Typ 7)

Literaturhinweise

DIN 18516-1:2011-11, *Außenwandbekleidungen, hinterlüftet — Teil 1: Anforderungen, Prüfgrundsätze*

DIN 53505, *Prüfung von Kautschuk und Elastomeren — Härteprüfung nach Shore A und Shore D*

DIN EN 197-1, *Zement — Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*

DIN EN 12390-5:2008-07, *Prüfung von Festbeton — Teil 5: Biegezugfestigkeit von Probekörpern; Deutsche Fassung EN 12390-5:2008*

ETAG 001-5, *Bekanntmachung der Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalldübel zur Verankerung im Beton – Teil 5: Verbunddübel; (ETAG 001); Fassung 2002-03, Änderung 2008-02*[2)]

Merkblatt „Nachweis der Eignung von Betonwerkstein nach DIN 18516-5“[3)]

DIN EN 1998-1/NA, *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau*

DIN EN 1998-5/NA, *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte*

---

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

3) Herausgegeben von der Bundesfachgruppe Betonwerkstein, Betonfertigteile, Terrazzo und Naturstein (BFTN) im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e. V. Berlin.

DEUTSCHE NORM

November 2014

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)

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 Wasserdampfkonvektion 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

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

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 $m^2 \cdot K/W$ 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 Trockenrohdichte 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 Schlagregenindexes 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:

$$\mu = \delta_0 / \delta \tag{1}$$

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

$$s_d = \mu \times d \tag{2}$$

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

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	–

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).

$$p_{\mathrm{sat}}\left(\theta_{\mathrm{si,min}}\right) = \frac{p_{\mathrm{i}}}{\phi_{\mathrm{si,cr}}} = \frac{\phi_{\mathrm{i}}}{\phi_{\mathrm{si,cr}}} \times p_{\mathrm{sat}}\left(\theta_{\mathrm{i}}\right) \tag{3}$$

$\theta_{\mathrm{si,min}}$ 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. $M_{\mathrm{c}} \leq M_{\mathrm{ev}}$;

c) bei Dächern und Wänden gegen Außenluft sowie bei Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen darf im Bauteilquerschnitt eine maximale flächenbezogene Tauwassermasse M_c von insgesamt 1,0 kg/m^2 (allgemein) bzw. 0,5 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 kg/(m^{2}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 Fugenanteil von mindestens 5 %;

— hinterlüftete Außenwandbekleidungen nach DIN 18516-1 mit und ohne Wärmedämmung;

— einseitig belüftete Außenwandbekleidungen mit einer Lüftungsöffnung von 100 cm^2/m;

— kleinformatige 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 $R \leq 0{,}5\ m^2 \cdot K/W$. Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht von $0{,}5 < R \leq 1{,}0\ m^2 \cdot K/W$ ist ein Wert $s_{d,i} \geq 0{,}5\ m$ 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 $s_{d,i} \geq 2{,}0\ m$ und außenseitiger diffusionsoffener Schicht $s_{d,e} \leq 0{,}3\ m$ oder Holzfaserdämmplatte nach DIN EN 13171. Dies gilt auch für nicht belüftete Außenwandbekleidungen aus kleinformatigen Elementen, wenn auf der äußeren Beplankung eine zusätzliche wasserableitende Schicht mit $s_{d,e} \leq 0{,}3\ m$ aufgebracht ist;

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 m $\leq s_{d,i} \leq$ 2 m;

b) Innendämmung (über Fachwerk und Gefach) mit einem Wärmedurchlasswiderstand $R \leq 0{,}5$ m^2·K/W. Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Wärmedämmschicht von $0{,}5 < R \leq 1{,}0$ m^2·K/W ist ein Wert 1 m $\leq s_{d,i} \leq$ 2 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 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.

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).

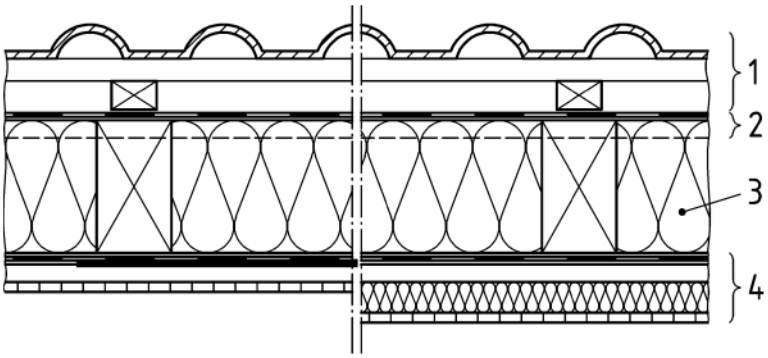
Folgende nicht belüftete Dächer bedürfen keines rechnerischen Nachweises:

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 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

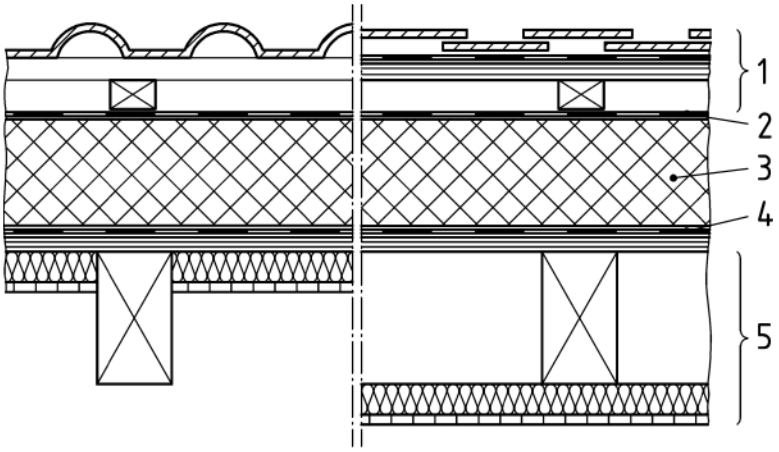
1 belüftete Dachdeckung
Konterlattung/Belüftungsebene

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

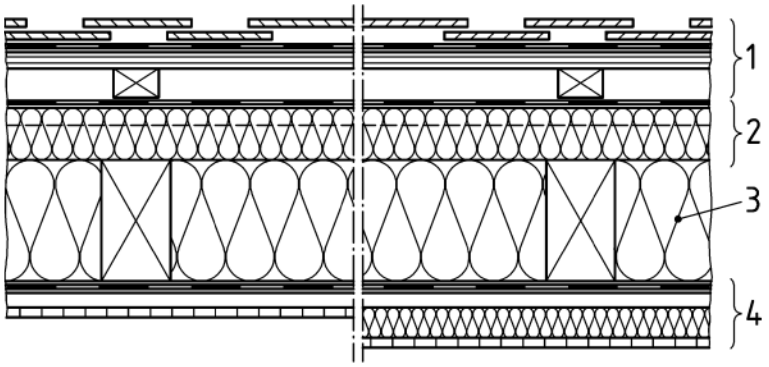
2 $s_{d,e}$ regensichernde Zusatzmaßnahme

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

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	≤ 0,1	≥ 1,0
2	0,1 < $s_{d,e}$ ≤ 0,3	≥ 2,0
3	0,3 < $s_{d,e}$ ≤ 2,0	≥ 6 · $s_{d,e}$
4	> 2,0 [c]	≥ 6 · $s_{d,e}$ [c]

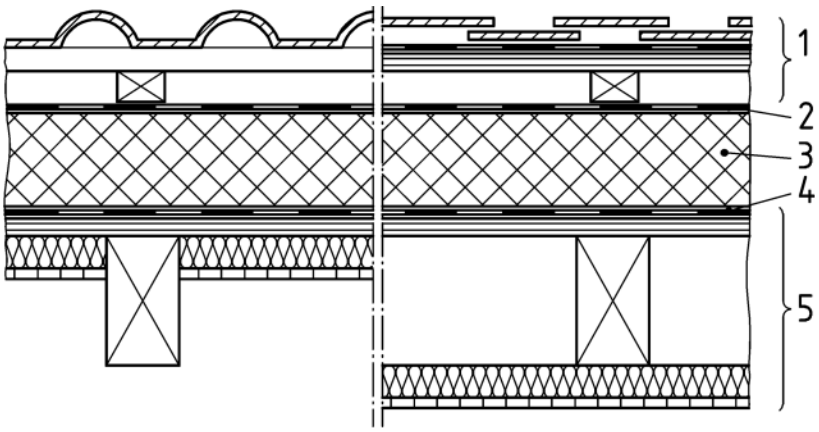
[a] $s_{d,e}$ ist die Summe der Werte der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken aller Schichten, die sich oberhalb der Wärmedämmschicht befinden bis zur ersten belüfteten Luftschicht.

[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 $s_{d,i}$ ≥ 10 m unter der Wärmedämmung bei $s_{d,e}$ ≤ 0,5 m, andernfalls mit einer diffusionshemmenden Schicht $s_{d,i}$ ≥ 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

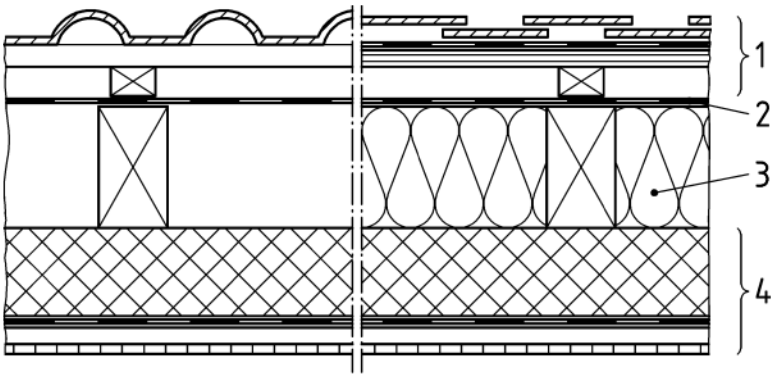
4 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht, ggf. auf Schalung

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

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 $s_{d,i}$ ≥ 10 m unter der Wärmedämmung bei $s_{d,e}$ ≤ 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

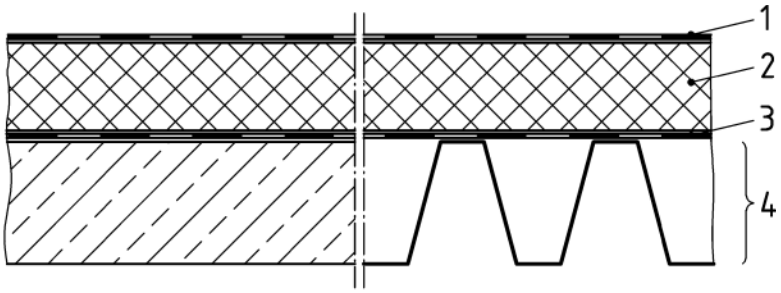
Bild 5 — Konstruktionsbeispiel: nicht belüftete Dachkonstruktion mit belüfteter Dachdeckung bzw. nicht belüfteter Dachdeckung und zusätzlicher belüfteter Luftschicht, Untersparrendämmung, ggf. in Kombination mit Zwischensparrendämmung

b) nicht belüftete Dächer mit Dachabdichtung:

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

- und einer diffusionshemmenden Schicht mit $s_{d,i}$ ≥ 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.

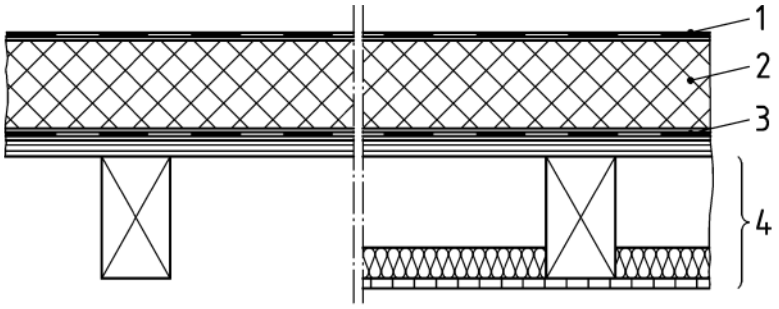
Für Dächer in Holzbauweise, bei denen sich Holz oder Holzwerkstoffe oberhalb einer diffusionshemmenden Schicht $s_{d,i}$ ≥ 100 m befinden, gilt dies nicht.



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

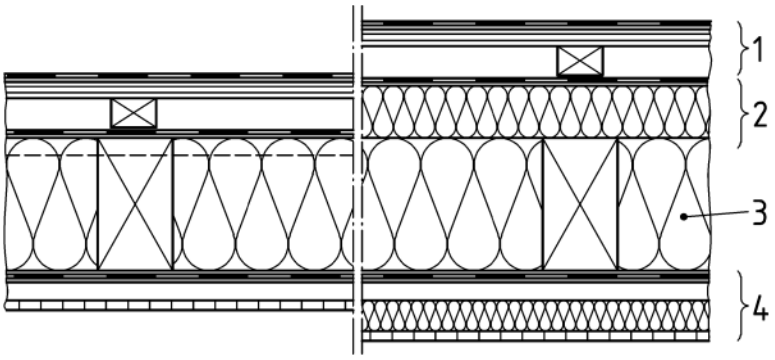
1 $s_{d,e}$ Dachabdichtung
2 Aufdachdämmung
3 $s_{d,i}$ diffusionshemmende Schicht, auf Schalung
4 Sparren/Dachbalken, ggf. mit Zwischen-/Untersparrendämmung und Bekleidung

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

- 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

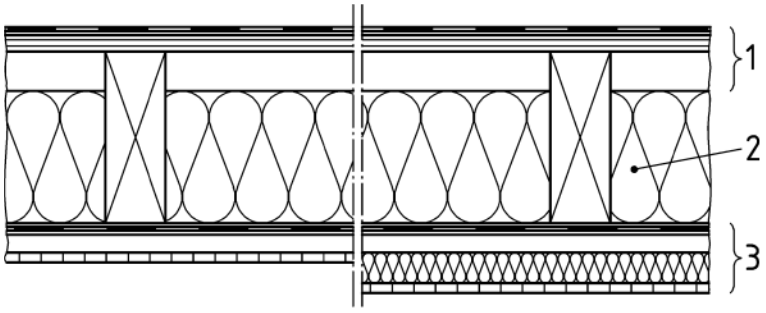
Folgende belüftete Dächer bedürfen keines rechnerischen Nachweises:

a) belüftete Dächer wie in Bild 9 mit einer Dachneigung < 5° 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 cm^2/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

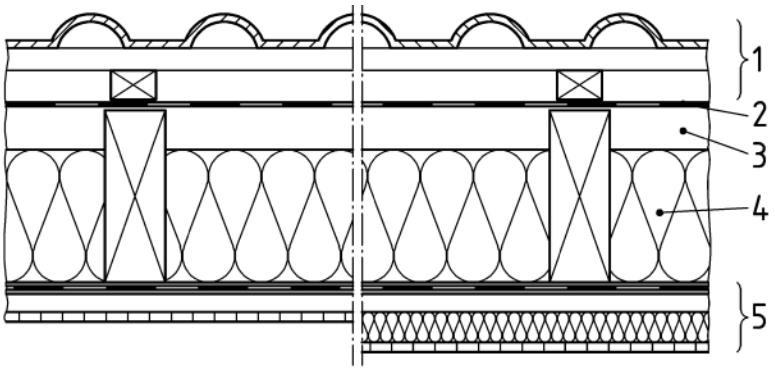
b) belüftete Dächer wie in Bild 10 mit einer Dachneigung ≥ 5° unter folgenden Bedingungen:

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 cm^2/m;

3) an Firsten und Graten sind Mindestlüftungsquerschnitte von 0,5 ‰ der zugehörigen geneigten Dachfläche erforderlich, mindestens jedoch 50 cm^2/m;

4) der s_d-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

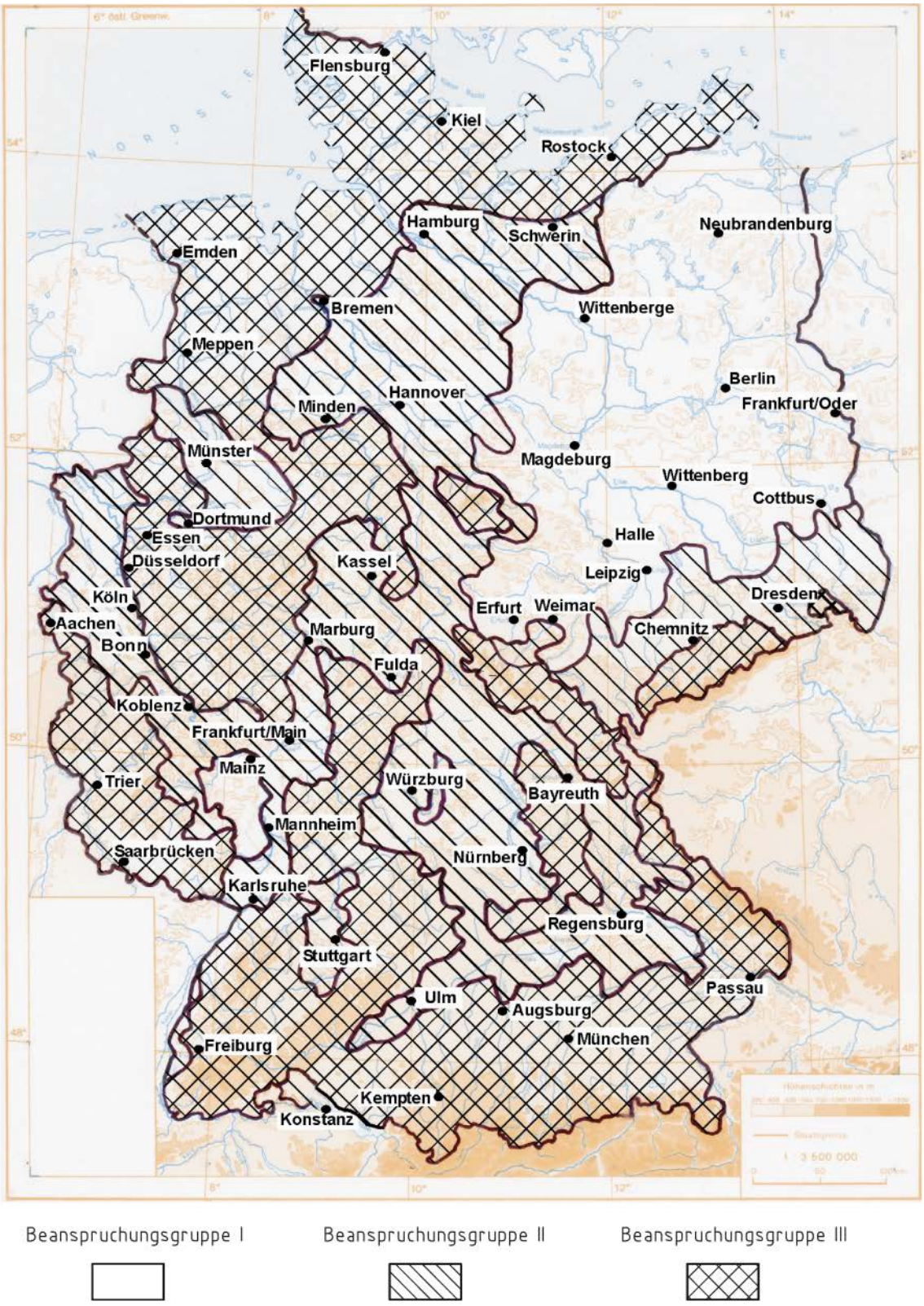


Bild 11 — Übersichtskarte zur Schlagregenbeanspruchung in der Bundesrepublik Deutschland (Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst)

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/(m²·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.

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	
	– 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.

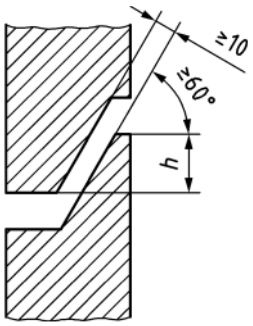
Bei Außenwandbekleidungen ist nach DIN 18515-1, DIN 18515-2, DIN 18516-1 und DIN 18516-3 zu verfahren.

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

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 Raumluftfeuchte, die zu Tauwasserbildung in der Konstruktion führen kann, zu unterbinden. Dies gilt auch für Anschlüsse und Durchdringungen (z. B. Wand/Dach, Schornstein/Dach) sowie bei Installationen (z. B. Steckdosen) und Einbauteilen. 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:

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

mit $p_{\mathrm{sat,si}} = \dfrac{\phi_{\mathrm{i}}}{\phi_{\mathrm{si,cr}}} p_{\mathrm{sat,i}} = \dfrac{p_{\mathrm{i}}}{\phi_{\mathrm{si,cr}}}$

Dabei ist

$\theta_{\mathrm{si,min}}$	Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur, in °C;
$p_{\mathrm{sat,si}}$	Sättigungsdampfdruck für den kritischen Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur, in Pa;
$p_{\mathrm{sat,i}}$	Sättigungsdampfdruck für die Raumlufttemperatur, in Pa;
ϕ_{i}	relative Raumluftfeuchte, in %;
p_{i}	Wasserdampfteildruck der Raumluft, in Pa;
$\phi_{\mathrm{si,cr}}$	kritischer Wert der relativen Luftfeuchte an der raumseitigen Oberfläche, in %.

ANMERKUNG Gleichung (A.1) gilt für Raum- und Oberflächentemperaturen über 0 °C und für Wasserdampfteildrücke 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 Wasserdampfteildruck der Raumluft und der kritischen relativen Luftfeuchte an der Oberfläche bestimmt werden.

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

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

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

Dampf-druck 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.

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 $\phi_{\mathrm{si,cr}}$ = 1 bzw. $\phi_{\mathrm{si,cr}}$ = 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.

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

mit

$$f_{\mathrm{Rsi,min}} = \frac{\theta_{\mathrm{si,min}} - \theta_{\mathrm{e}}}{\theta_{\mathrm{i}} - \theta_{\mathrm{e}}}$$

Dabei ist

$\theta_{\mathrm{si,min}}$ Mindestwert der raumseitigen Oberflächentemperatur;

$f_{\mathrm{Rsi,min}}$ 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:

$f_{\mathrm{Rsi,min}}$ = 0,57 zur Vermeidung von Tauwasserbildung (mit $\phi_{\mathrm{si,cr}}$ = 1; entspricht 100 % r. F.)

= 0,70 zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung (mit $\phi_{\mathrm{si,cr}}$ = 0,8; entspricht 80 % r. F.)

= 0,88 als Beispiel zur Vermeidung von materialspezifischen Korrosionsvorgängen (für das Beispiel mit $\phi_{\mathrm{si,cr}}$ = 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 $f_{Rsi,min}$ je nach zu betrachtendem kritischen Fall, z. B. $f_{Rsi,min}$ = 0,7 zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung nach DIN 4108-2, abzugleichen. Gegebenenfalls ist die Konstruktion im Bereich der Wärmebrücke so zu verbessern, dass der Bemessungs-Temperaturfaktor eingehalten wird.

A.2 Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen

A.2.1 Allgemeine Angaben zur Berechnung

Zur Berechnung diffusionsbedingter Tauwasser- und Verdunstungswassermassen in ebenen Bauteilquerschnitten wird in DIN EN ISO 13788 ein 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 m²K/W;

— R_{se} = 0,04 m²K/W.

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: — Wände, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen; Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen			1 700			
— 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 Beispielrechnungen im Anhang B). Um festzustellen, ob eine Tauwasserbildung auftritt oder nicht, ist die Wasserdampfdruckverteilung im Bauteil ebenfalls rechnerisch oder graphisch zu bestimmen und aus dem Abgleich mit der Sättigungsdampfdruckverteilung ggf. die Ebene mit Tauwasserbildung zu ermitteln. Im Falle eines Tauwasserausfalles im Querschnitt ist eine physikalisch korrekte rechnerische Bestimmung der realen Dampfdruckverteilung auf einfachem Wege nicht mehr möglich, weshalb sich dann auch eine graphische Bestimmung anbietet.

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

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

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

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

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

— Wird für die Tauperiode Dezember bis Februar keine Tauwasserbildung festgestellt, dann ist das Bauteil als frei von Tauwasser und als diffusionstechnisch zulässig zu bezeichnen. Der Nachweis ist damit abgeschlossen;

— Wird für die Tauperiode Dezember bis Februar eine Tauwasserbildung festgestellt, ist die Tauwassermenge nach A.2.5 zu berechnen und zu überprüfen, ob die Anforderungen nach 5.2.1 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.

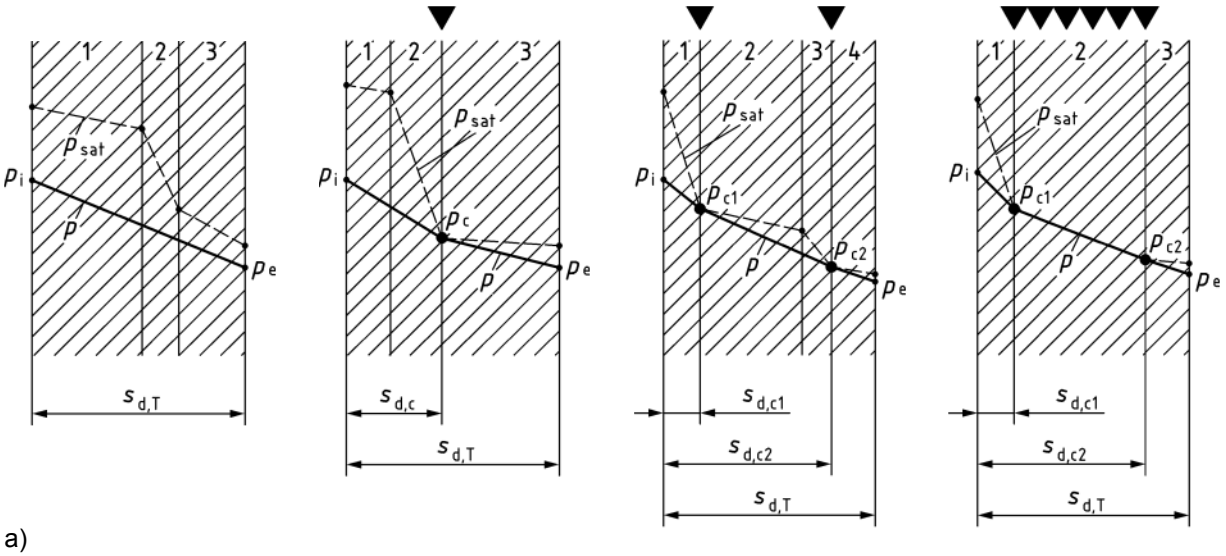
A.2.5 Tauwasserbildung und Berechnung der Tauwassermasse

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 Wasserdampfteildruck im Bauteilinneren den Sättigungszustand erreicht. Um festzustellen, ob und an welcher Stelle im Querschnitt Tauwasser ausfällt, ist die Verteilung des Wasserdampfteildruckes, 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



a)

kein
Tauwasserausfall

b)

Tauwasserausfall
in einer Ebene

c)

Tauwasserausfall
in zwei Ebenen

d)

Tauwasserausfall
in einem Bereich

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.

A.2.5.2 Fall a – Kein Tauwasserausfall im Bauteilquerschnitt

Der vorhandene Wasserdampfteildruck 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.

$$g_{\mathrm{c}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{i}} - p_{\mathrm{c}}}{s_{\mathrm{d,c}}} - \frac{p_{\mathrm{c}} - p_{\mathrm{e}}}{s_{\mathrm{d,T}} - s_{\mathrm{d,c}}} \right) \tag{A.3}$$

$$M_{\mathrm{c}} = g_{\mathrm{c}} \times t_{\mathrm{c}} \tag{A.4}$$

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:

$$g_{\mathrm{c1}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{i}} - p_{\mathrm{c1}}}{s_{\mathrm{d,c1}}} - \frac{p_{\mathrm{c1}} - p_{\mathrm{c2}}}{s_{\mathrm{d,c2}} - s_{\mathrm{d,c1}}} \right) \tag{A.5}$$

$$M_{\mathrm{c1}} = g_{\mathrm{c1}} \times t_{\mathrm{c}} \tag{A.6}$$

— Tauwasserebene c_2:

$$g_{\mathrm{c2}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{c1}} - p_{\mathrm{c2}}}{s_{\mathrm{d,c2}} - s_{\mathrm{d,c1}}} - \frac{p_{\mathrm{c2}} - p_{\mathrm{e}}}{s_{\mathrm{d,T}} - s_{\mathrm{d,c2}}} \right) \tag{A.7}$$

$$M_{\mathrm{c2}} = g_{\mathrm{c2}} \times t_{\mathrm{c}} \tag{A.8}$$

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

$$M_{\mathrm{c}} = M_{\mathrm{c1}} + M_{\mathrm{c2}} \tag{A.9}$$

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.

$$g_{\mathrm{c}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{i}} - p_{\mathrm{c1}}}{s_{\mathrm{d,c1}}} - \frac{p_{\mathrm{c2}} - p_{\mathrm{e}}}{s_{\mathrm{d,T}} - s_{\mathrm{d,c2}}} \right) \tag{A.10}$$

$$M_{\mathrm{c}} = g_{\mathrm{c}} \times t_{\mathrm{c}} \tag{A.11}$$

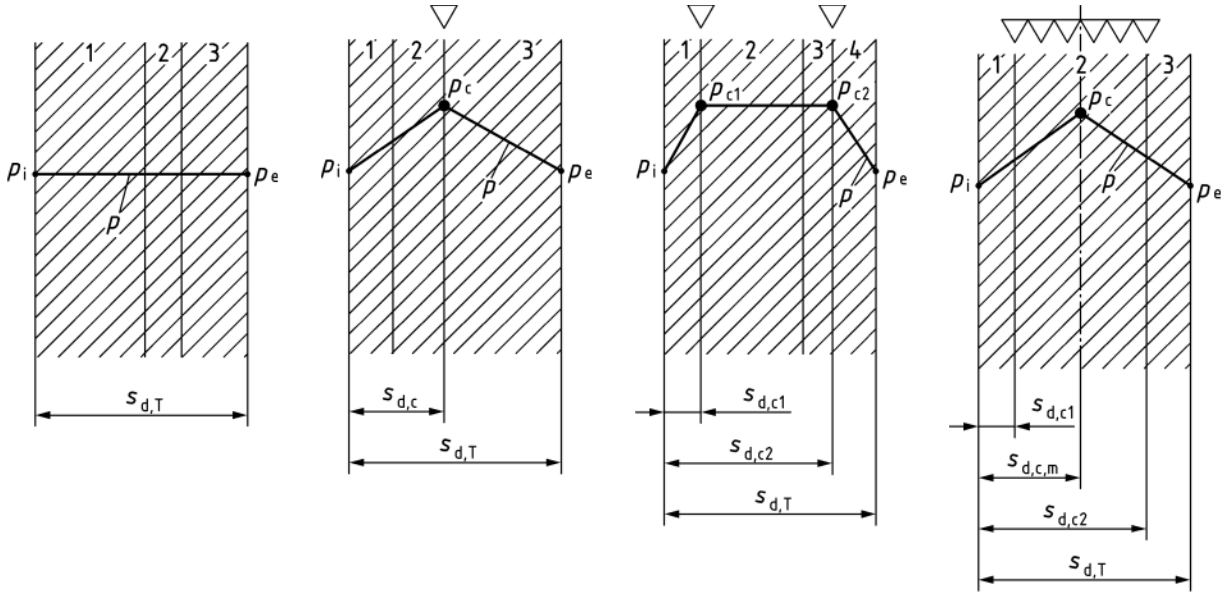
A.2.6 Verdunstung und Berechnung der Verdunstungsmasse

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 Wasserdampfteildruckes über den Querschnitt ergibt sich aus den Verbindungsgeraden zwischen den Werten des Wasserdampfteildruckes an der raumseitigen Oberfläche, den Schichtgrenzen mit Tauwasser und des Wasserdampfteildruckes an der außenseitigen Oberfläche, wobei die s_d-Werte für die Abszisseneinteilung des Diffusionsdiagrammes für die Verdunstungsperiode wie in der vorhergehenden Tauperiode beibehalten werden. Zwischen zwei Tauwasserebenen sowie in einem Tauwasserbereich wird der Sättigungszustand angenommen.

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

Verdunstungsperiode



a)

keine Verdunstung,
da kein Tauwasser

b)

Verdunstung
aus einer Ebene

c)

Verdunstung
aus zwei Ebenen

d)

Verdunstung
aus einem Bereich

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.

$$g_{\mathrm{ev}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{c}} - p_{\mathrm{i}}}{s_{\mathrm{d,c}}} + \frac{p_{\mathrm{c}} - p_{\mathrm{e}}}{s_{\mathrm{d,T}} - s_{\mathrm{d,c}}} \right) \tag{A.12}$$

$$M_{\mathrm{ev}} = g_{\mathrm{ev}} \times t_{\mathrm{ev}} \tag{A.13}$$

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 $p_{\mathrm{c1}} = p_{\mathrm{c2}} = p_{\mathrm{c}}$ (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 $p_{\mathrm{c1}} = p_{\mathrm{c2}}$ nicht auf. Die von den beiden Tauwasserebenen weg diffundierenden Diffusionsstromdichten werden nach den Gleichungen (A.14) und (A.15) berechnet.

Tauwasserebene c_1:

$$g_{\mathrm{ev1}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{c}} - p_{\mathrm{i}}}{s_{\mathrm{d,c1}}} \right) \tag{A.14}$$

Tauwasserebene c_2:

$$g_{\mathrm{ev2}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{c}} - p_{\mathrm{e}}}{s_{\mathrm{d,T}} - s_{\mathrm{d,c2}}} \right) \tag{A.15}$$

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:

$$t_{\mathrm{ev1}} = \frac{M_{\mathrm{c1}}}{g_{\mathrm{ev1}}} \tag{A.16}$$

$$t_{\mathrm{ev2}} = \frac{M_{\mathrm{c2}}}{g_{\mathrm{ev2}}} \tag{A.17}$$

Folgende Austrocknungsfälle sind zu unterscheiden:

a) $t_{\mathrm{ev1}} > t_{\mathrm{ev}}$ und $t_{\mathrm{ev2}} > t_{\mathrm{ev}}$,

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

$$M_{ev1} = g_{ev1} \times t_{ev} \tag{A.18}$$

$$M_{ev2} = g_{ev2} \times t_{ev} \tag{A.19}$$

$$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} \tag{A.20}$$

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 $t_{ev1} < t_{ev2}$

$$M_{ev1} = g_{ev1} \times t_{ev1} \tag{A.21}$$

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

$$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} \tag{A.23}$$

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

$$M_{ev2} = g_{ev2} \times t_{ev2} \tag{A.24}$$

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

$$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2} \tag{A.26}$$

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.

$$g_{\mathrm{ev}} = \delta_0 \left(\frac{p_{\mathrm{c}} - p_{\mathrm{i}}}{s_{\mathrm{d,c,m}}} + \frac{p_{\mathrm{c}} - p_{\mathrm{e}}}{s_{\mathrm{d,T}} - s_{\mathrm{d,c,m}}} \right) \tag{A.27}$$

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

$$M_{\mathrm{ev}} = g_{\mathrm{ev}} \times t_{\mathrm{ev}} \tag{A.28}$$

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

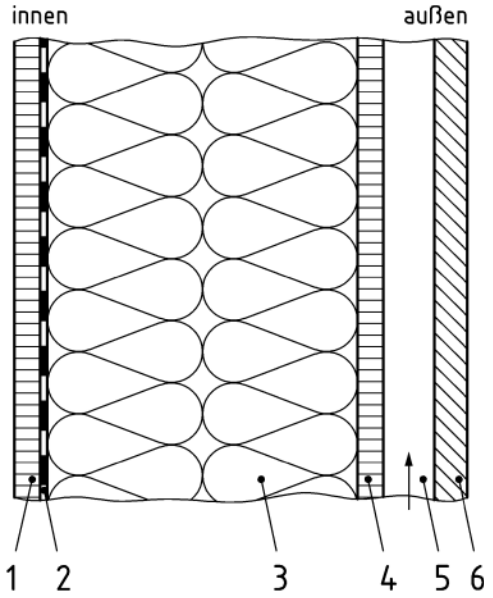
B.2.1 Allgemeines

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

Querschnittskizze



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 m² 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 =	0,198 1	$s_{d,T}$ =	5,01		R_T =	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 m² K/W

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T$ = 0,22 W/(m² K)

DIN 4108-3:2014-11

B.2.3 Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

1. Randbedingungen			
Tauperiode:			
Innenklima im Winter	θ_i = 20 °C	ϕ_i = 50 % RF	p_i = 1 168 Pa
Außenklima im Winter	θ_e = -5 °C	ϕ_e = 80 % RF	p_e = 321 Pa
2. Bestimmung der Temperatur- und der Sättigungsdampfdruckverteilung			
Wärmestromdichte	$q = (\theta_i - \theta_e)/R_T$	q = 5,448 W/(m^2 K)	
Innere Oberfläche	$\theta_{si} = \theta_i - q\cdot(R_{si})$	θ_{si} = 18,6 °C	$p_{sat\ si}$ = 2 147 Pa
Schichtgrenze 1/2	$\theta_{12} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1)$	θ_{12} = 17,8 °C	$p_{sat\ 12}$ = 2 040 Pa
Schichtgrenze 2/3	$\theta_{23} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2)$	θ_{23} = 17,8 °C	$p_{sat\ 23}$ = 2 040 Pa
Schichtgrenze 3/4	$\theta_{34} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2 + R_3)$	θ_{34} = -4,0 °C	$p_{sat\ 34}$ = 438 Pa
Äußere Oberfläche	$\theta_{se} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$	θ_{se} = -4,8 °C	$p_{sat\ se}$ = 409 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 $\delta_0 = 2\cdot10^{-10}$ kg/(m·s·Pa)	Beginn Tangentenbildung für Dampfdruckverteilung: innere Oberfläche; $g = 3{,}383\cdot10^{-8}$ kg/(m^2 s) $g/\delta_0 = (p_i - p_e)/s_{d,T}$ = 169,2 Pa/m	
Innere Oberfläche	$p_{si} = p_i$	p_{si} = 1 168 Pa	$p_{sat\ si}$ = 2 147 Pa
Schichtgrenze 1/2	$p_{12} = p_{si} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,1})$ falls $p_{12} > p_{sat\ 12}$: $p_{12} = p_{sat\ 12}$ und $g/\delta_0 = (p_{12} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1})$		$p_{sat\ 12}$ = 2 040 Pa
Schichtgrenze 2/3	$p_{23} = p_{12} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,2})$ falls $p_{23} > p_{sat\ 23}$: $p_{23} = p_{sat\ 23}$ und $g/\delta_0 = (p_{23} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2})$		$p_{sat\ 23}$ = 2 040 Pa
Schichtgrenze 3/4	$p_{34} = p_{23} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,3})$ falls $p_{34} > p_{sat\ 34}$: $p_{34} = p_{sat\ 34}$ und $g/\delta_0 = (p_{34} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2} - s_{d,3})$	p_{34} = 438 Pa Tauwasser	$p_{sat\ 34}$ = 438 Pa
Äußere Oberfläche	$p_{se} = p_{34} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,4}) = p_e$	p_{se} = 321 Pa	$p_{sat\ se}$ = 409 Pa

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

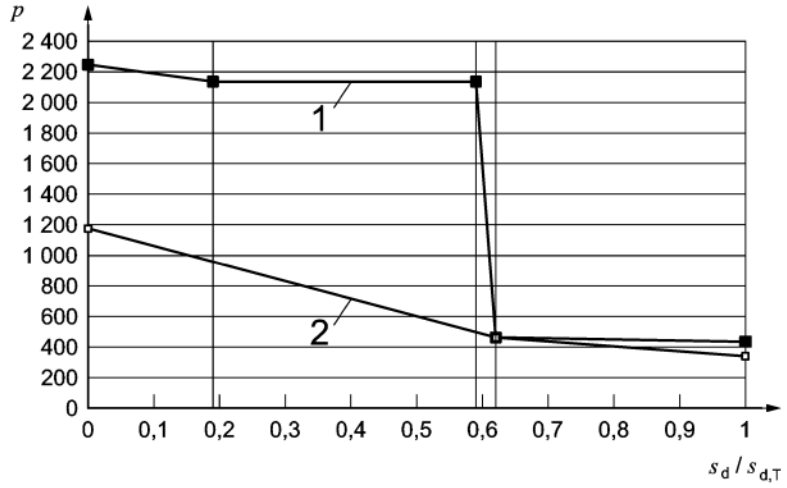
Es tritt jedoch Tauwasserausfall in einer Ebene zwischen den Schichten 3 und 4 auf. Der Nachweis ist fortzuführen.

B.2.4 Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode

1. Diffusionsdiagramm für die Tauperiode (Dezember bis Februar)

Die s_d-Werte der Bauteilschichten sind in B.2.1, die Werte für die Verteilung des Sättigungsdampfdruckes sind in B.2.2 ermittelt worden.
Randbedingungen für die Tauperiode nach Tabelle A.3:

Wasserdampfdruck innen	p_i = 1 168 Pa
Wasserdampfdruck außen	p_e = 321 Pa



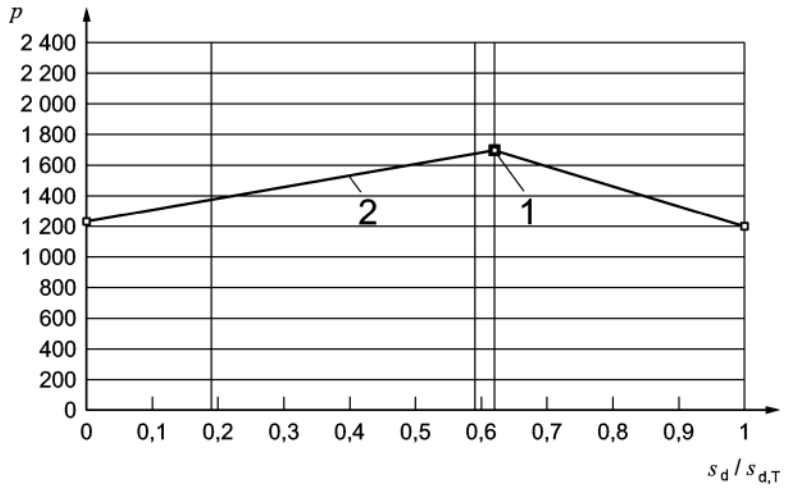
Legende

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 ermittelte Tauwasserebene liegt 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 Pa
Wasserdampfdruck außen	p_e = 1 200 Pa
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	p_c = 1 700 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.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 Wasserdampfdruck außen Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene Dauer der Tauperiode s_d-Werte für die Tauwasserberechnung (Fall b)	p_i = 1 168 Pa p_e = 321 Pa $p_c = p_{sat,34}$ = 438 Pa t_c = 7 776·10^3 s $s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4}$ = 5,01 m $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3}$ = 3,11 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 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 ρ_M = 700 kg/m^3: $\Delta u = \frac{M_c}{\rho_M \cdot d_4} \cdot 100\,\%$ = 2,0 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 Wasserdampfdruck außen Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene Dauer der Verdunstungsperiode s_d-Werte für die Verdunstungsberechnung (Fall b), es werden die s_d-Werte aus der Tauperiode beibehalten	p_i = 1 200 Pa p_e = 1 200 Pa $p_c = p_{sat,34}$ = 1 700 Pa t_{ev} = 7 776·10^3 s $s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4}$ = 5,01 m $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3}$ = 3,11 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 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 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 kg/m^2;

— Zunahme des massebezogenen Feuchtegehalts der Spanplatte: Δu = 2,0 M.-%;

— mögliche flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt: M_{ev} = 0,659 kg/m^2.

Prüfergebnisse und Bewertung:

— eine Schädigung der vom Tauwasser berührten Schichten ist nicht zu erwarten;

— M_c < 0,5 kg/m^2;

— Δu < 3 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

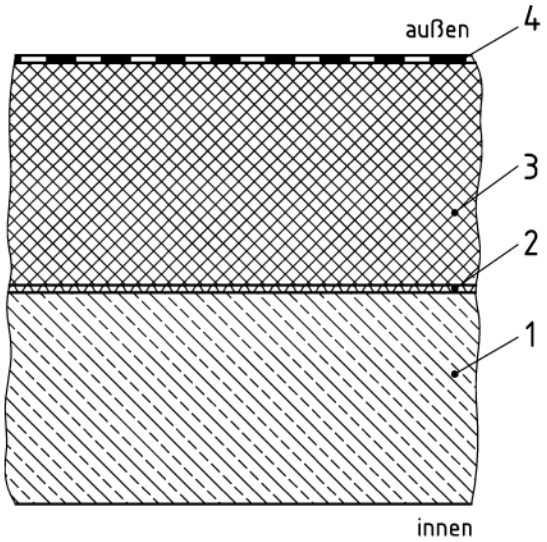
Die Überprüfung des Konstruktionsbeispiels auf diffusionstechnische Zulässigkeit, d. h. auf Tauwasserfreiheit bzw. zulässige Tauwassermassen und Verdunstung, wird nachfolgend anhand der schematisierten Bearbeitungsblöcke (B.3.2 bis B.3.5) gezeigt.

DIN 4108-3:2014-11

B.3.2 Konstruktionsaufbau und Ausgangsdaten

1. Konstruktion: Nicht belüftetes Flachdach mit Dachabdichtung

Querschnittskizze



Legende

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)

Zur Erzeugung eines leichten Gefälles kann die Dämmschicht keilförmig sein. Dann sollte der hinsichtlich Tauwasserbildung ungünstigere Querschnitt für die Diffusionsuntersuchung gewählt werden.

2. Schichtaufbau und Schichteigenschaften

Nr.	Schicht	d m	μ –	s_d m	$\Sigma s_d/s_{d,T}$ –	λ W/mK	R m² 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 m² K/W

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T$ = 0,26 W/(m² K)

B.3.3 Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

1. Randbedingungen			
Tauperiode:			
Innenklima im Winter	θ_i = 20 °C	ϕ_i = 50 % RF	p_i = 1 168 Pa
Außenklima im Winter	θ_e = -5 °C	ϕ_e = 80 % RF	p_e = 321 Pa

2. Bestimmung der Temperatur- und der Sättigungsdampfdruckverteilung			
Wärmestromdichte	$q = (\theta_i - \theta_e)/R_T$	q = 6,450 W/(m^2 K)	
Innere Oberfläche	$\theta_{si} = \theta_i - q\cdot(R_{si})$	θ_{si} = 18,4 °C	$p_{sat\ si}$ = 2 114 Pa
Schichtgrenze 1/2	$\theta_{12} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1)$	θ_{12} = 17,8 °C	$p_{sat\ 12}$ = 2 041 Pa
Schichtgrenze 2/3	$\theta_{23} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2)$	θ_{23} = 17,8 °C	$p_{sat\ 23}$ = 2 041 Pa
Schichtgrenze 3/4	$\theta_{34} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2 + R_3)$	θ_{34} = -4,7 °C	$p_{sat\ 34}$ = 410 Pa
Äußere Oberfläche	$\theta_{se} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$	θ_{se} = -4,7 °C	$p_{sat\ se}$ = 410 Pa

3. Bestimmung der Dampfdruckverteilung und gegebenenfalls der Tauwasserebenen			
Diffusions-stromdichte	Erste Annahme: Kein Tauwasser $g = \delta_0\cdot(p_i - p_e)/s_{d,T}$ mit $\delta_0 = 2\cdot10^{-10}$ kg/(m·s·Pa)	Beginn Tangentenbildung für Dampfdruckverteilung: innere Oberfläche; $g = 2{,}662\cdot10^{-10}$ kg/m^2 s $g/\delta_0 = (p_i - p_e)/s_{d,T}$ = 1,331 Pa/m	
Innere Oberfläche	$p_{si} = p_i$	p_{si} = 1 168 Pa	$p_{sat\ si}$ = 2 114 Pa
Schichtgrenze 1/2	$p_{12} = p_{si} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,1})$ falls $p_{12} > p_{sat\ 12}$: $p_{12} = p_{sat\ 12}$ und $g/\delta_0 = (p_{12} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1})$		$p_{sat\ 12}$ = 2 041 Pa
Schichtgrenze 2/3	$p_{23} = p_{12} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,2})$ falls $p_{23} > p_{sat\ 23}$: $p_{23} = p_{sat\ 23}$ und $g/\delta_0 = (p_{23} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2})$		$p_{sat\ 23}$ = 2 041 Pa
Schichtgrenze 3/4	$p_{34} = p_{23} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,3})$ falls $p_{34} > p_{sat\ 34}$: $p_{34} = p_{sat\ 34}$ und $g/\delta_0 = (p_{34} - p_e)/(s_{d,T} - s_{d,1} - s_{d,2} - s_{d,3})$	p_{34} = 410 Pa Tauwasser	$p_{sat\ 34}$ = 410 Pa
Äußere Oberfläche	$p_{se} = p_{34} - (g/\delta_0)\cdot(s_{d,4}) = p_e$	p_{se} = 321 Pa	$p_{sat\ se}$ = 410 Pa

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

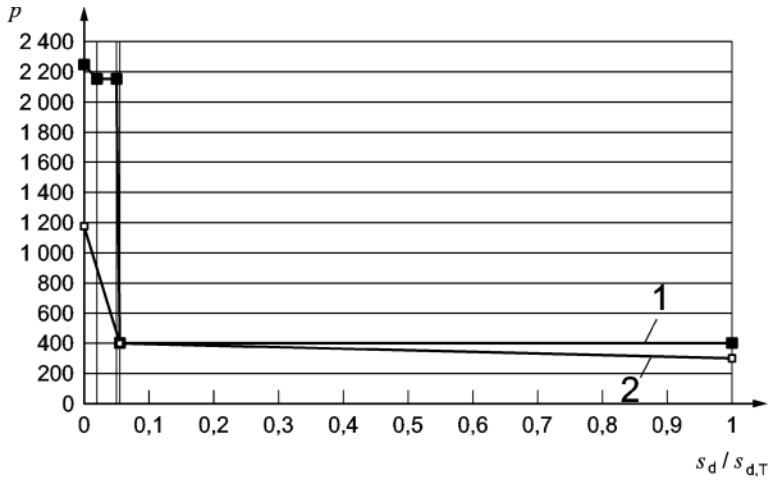
Es tritt jedoch Tauwasserausfall in einer Ebene zwischen den Schichten 3 und 4 auf. Der Nachweis ist fortzuführen.

B.3.4 Diffusionsdiagramme für Tau- und Verdunstungsperiode

1. Diffusionsdiagramm für die Tauperiode (Dezember bis Februar)

Die s_d-Werte der Bauteilschichten sind in B.3.1, die Werte für die Verteilung des Sättigungsdampfdruckes in B.3.2 ermittelt worden.
Randbedingungen für die Tauperiode nach Tabelle A.3:

Wasserdampfdruck innen	p_i = 1 168 Pa
Wasserdampfdruck außen	p_e = 321 Pa



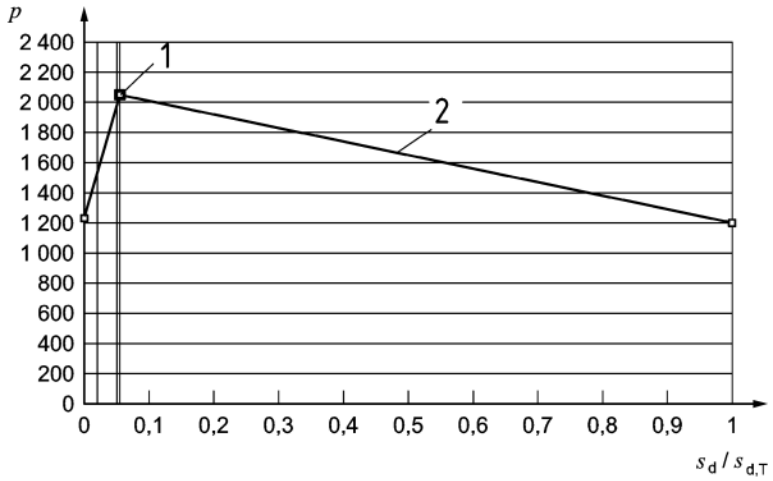
Legende

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 ermittelte Tauwasserebene liegt 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 Pa
Wasserdampfdruck außen	p_e = 1 200 Pa
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	p_c = 2 000 Pa (Dach)



Legende

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

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 Wasserdampfdruck außen Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene Dauer der Tauperiode s_d-Werte für die Tauwasserberechnung (Fall b)	p_i = 1 168 Pa p_e = 321 Pa $p_c = p_{sat,34}$ = 410 Pa t_c = 7 776·10^3 s $s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4}$ = 636,8 m $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3}$ = 36,8 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 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 Wasserdampfdruck außen Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene Dauer der Verdunstungsperiode s_d-Werte für die Verdunstungsberechnung (Fall b), es werden die s_d-Werte aus der Tauperiode beibehalten	p_i = 1 200 Pa p_e = 1 200 Pa $p_c = p_{sat,34}$ = 2 000 Pa t_{ev} = 7 776·10^3 s $s_{dT} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3} + s_{d4}$ = 636,8 m $s_{dc} = s_{d1} + s_{d2} + s_{d3}$ = 36,8 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 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 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.

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse:

— ermittelte flächenbezogene Tauwassermasse insgesamt: M_c = 0,032 kg/m^2;

— mögliche flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt: M_{ev} = 0,036 kg/m^2.

Prüfergebnisse und Bewertung:

— eine Schädigung der vom Tauwasser berührten Schichten ist nicht zu erwarten;

— M_c < 0,5 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

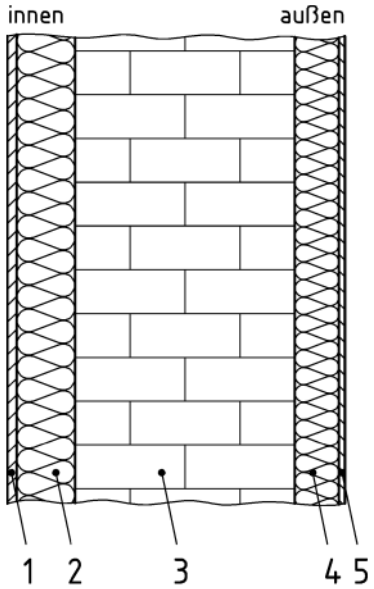
B.4.1 Allgemeines

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

Querschnittskizze



Legende

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

Eine Außenwand mit vorhandenem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) wird nachträglich raumseitig mit einem diffusionsoffenen Wärmedämmstoff ohne zusätzliche diffusionshemmende Schicht gedämmt.

2. Schichtaufbau und Schichteigenschaften

Nr.	Schicht	d m	μ –	s_d m	$\Sigma s_d/s_{d,T}$ –	λ W/mK	R m² K/W
	Innerer Wärmeübergangswiderstand R_{si}	–	–	–	–	–	0,25
1	Gipskarton-Platte	0,012 5	8	0,10	0,017	0,210	0,060
2	diffusionsoffener Dämmstoff	0,080 0	2	0,16	0,044	0,040	2,000
3	Vollziegel-Mauerwerk	0,300 0	10	3,00	0,547	0,790	0,380
4	EPS-Partikelschaum	0,060 0	25	1,50	0,799	0,035	1,714
5	Kunstharz-Außenputz	0,008 0	150	1,20	1,000	1,000	0,008
	Äußerer Wärmeübergangswiderstand R_{se}	–	–	–	–	–	0,04
	Summenwerte: d_T =	0,460 5	$s_{d,T}$ =	5,96		R_T =	4,452

3. Bauteilkenngrößen

Gesamtdicke des Bauteils	d_T = 0,460 5 m
Gesamt-s_d-Wert des Bauteils	$s_{d,T}$ = 5,96 m
Wärmedurchgangswiderstand	R_T = 4,452 m² K/W
Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 1/R_T$ = 0,22 W/(m² K)

DIN 4108-3:2014-11

B.4.3 Überprüfung auf Tauwasserbildung im Querschnitt

1. Randbedingungen			
Tauperiode: Innenklima im Winter Außenklima im Winter	 θ_i = 20 °C θ_e = -5 °C	 ϕ_i = 50 % RF ϕ_e = 80 % RF	 p_i = 1 168 Pa p_e = 321 Pa
2. Bestimmung der Temperatur- und der Sättigungsdampfdruckverteilung			
Wärmestromdichte	$q = (\theta_i - \theta_e)/R_T$	q = 5,616 W/(m^2 K)	
Innere Oberfläche	$\theta_{si} = \theta_i - q\cdot(R_{si})$	θ_{si} = 18,6 °C	$p_{sat\ si}$ = 2 141 Pa
Schichtgrenze 1/2	$\theta_{12} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1)$	θ_{12} = 18,3 °C	$p_{sat\ 12}$ = 2 097 Pa
Schichtgrenze 2/3	$\theta_{23} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2)$	θ_{23} = 7,0 °C	$p_{sat\ 23}$ = 1 003 Pa
Schichtgrenze 3/4	$\theta_{34} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2 + R_3)$	θ_{34} = 4,9 °C	$p_{sat\ 34}$ = 866 Pa
Schichtgrenze 4/5	$\theta_{45} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4)$	θ_{45} = -4,7 °C	$p_{sat\ 45}$ = 411 Pa
Äußere Oberfläche	$\theta_{se} = \theta_i - q\cdot(R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5)$	θ_{se} = -4,8 °C	$p_{sat\ se}$ = 409 Pa
3. Bestimmung eventueller Tauwasserebenen			
Diffusions-stromdichte	Erste Annahme: Kein Tauwasser $g = \delta_0\cdot(p_i - p_e)/s_{d,T}$ mit $\delta_0 = 2\cdot10^{-10}$ kg/(m·s·Pa)	Tangentenbildung für Dampfdruckverteilung: Beginn an innerer Oberfläche; $g = 2{,}844\cdot10^{-8}$ kg/m^2 s $(g/\delta_0)_r = (p_i - p_e)/s_{d,T}$ = 142,2 Pa/m	
Innere Oberfläche	$p_{si} = p_i$	p_{si} = 1 168 Pa	$p_{sat\ si}$ = 2 141 Pa
Schichtgrenze 1/2	$p_{12} = p_{si} - (g/\delta_0)_r\cdot(s_{d,1})$ falls $p_{12} > p_{sat\ 12}$: $p_{12} = p_{sat\ 12}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{12} - p_e)/(s_{d,2}+s_{d,3}+s_{d,4}+s_{d,5})$		$p_{sat\ 12}$ = 2 097 Pa
Schichtgrenze 2/3	$p_{23} = p_{12} - (g/\delta_0)_r\cdot(s_{d,2})$ falls $p_{23} > p_{sat\ 23}$: $p_{23} = p_{sat\ 23}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{23} - p_e)/(s_{d,3} + s_{d,4} + s_{d,5})$	p_{23} = 1 003 Pa Tauwasser 1	$p_{sat\ 23}$ = 1 003 Pa
Schichtgrenze 3/4	$p_{34} = p_{23} - (g/\delta_0)_r\cdot(s_{d,3})$ falls $p_{34} > p_{sat\ 34}$: $p_{34} = p_{sat\ 34}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{34} - p_e)/(s_{d,4} + s_{d,5})$		$p_{sat\ 34}$ = 866 Pa
Schichtgrenze 4/5	$p_{45} = p_{34} - (g/\delta_0)_r\cdot(s_{d,4})$ falls $p_{45} > p_{sat\ 45}$: $p_{45} = p_{sat\ 45}$ und $(g/\delta_0)_r = (p_{45} - p_e)/(s_{d,5})$	p_{45} = 411 Pa Tauwasser 2	$p_{sat\ 45}$ = 411 Pa
Äußere Oberfläche	$p_{se} = p_{45} - (g/\delta_0)_r\cdot(s_{d,5}) = p_e$	p_{se} = 321 Pa	$p_{sat\ se}$ = 409 Pa

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

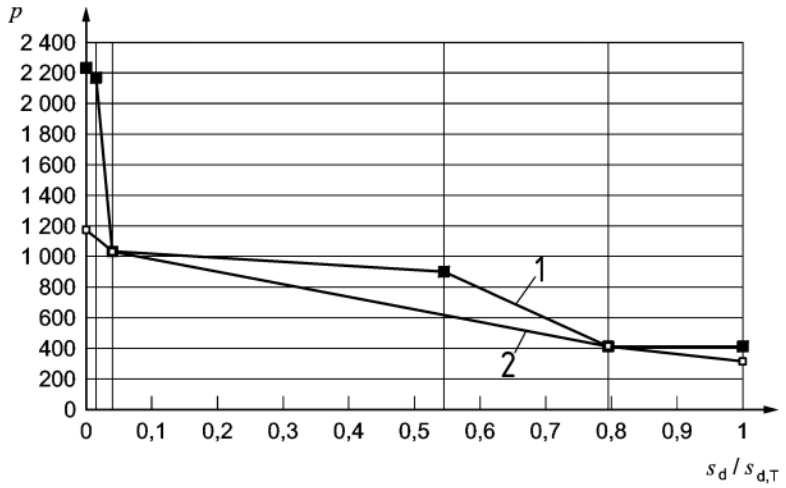
Es tritt jedoch Tauwasserausfall in zwei Ebenen zwischen den Schichten 2 und 3 sowie zwischen den Schichten 4 und 5 auf. Der Nachweis ist fortzuführen.

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 Pa
Wasserdampfdruck außen	p_e = 321 Pa



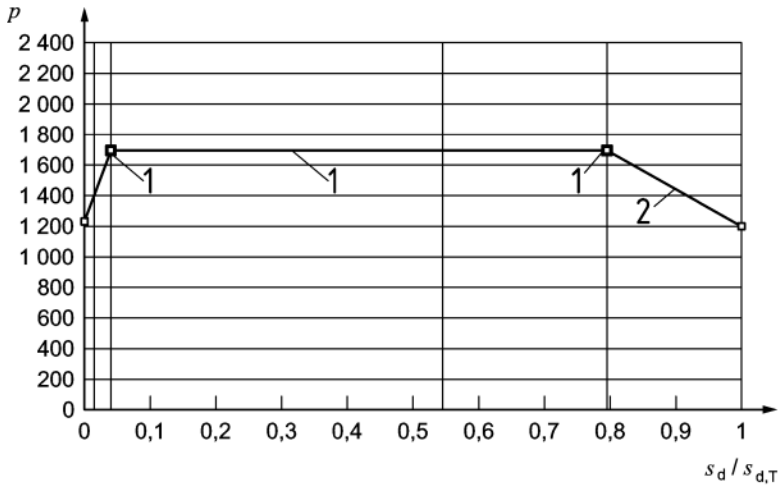
Legende

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 Pa
Wasserdampfdruck außen	p_e = 1 200 Pa
Sättigungsdampfdruck in den Tauwasserebenen	p_c = 1 700 Pa (Außenwand)



Legende

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

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 Pa, p_e = 321 Pa
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene c_1	$p_{c1} = p_{sat,23}$ = 1 003 Pa
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene c_2	$p_{c2} = p_{sat,45}$ = 411 Pa
Dauer der Tauperiode	$t_c = 7\,776 \cdot 10^3$ 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 m $s_{d,c1} = s_{d,1} + s_{d,2}$ = 0,26 m $s_{d,c2} = s_{d,1} + s_{d,2} + s_{d,3} + s_{d,4}$ = 4,76 m
Flächenbezogene Tauwassermasse in der Tauwasserebene c_1 Flächenbezogene Tauwassermasse in der Tauwasserebene c_2	$M_{c1} = 2 \cdot 10^{-10} \cdot \left(\frac{p_i - p_{c1}}{s_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_{c2}}{s_{d,c2} - s_{d,c1}} \right) \cdot t_c$ = 0,783 kg/m²
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 kg/m² $M_c = M_{c1} + M_{c2}$ = 0,872 kg/m²
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 Pa, p_e = 1 200 Pa
Sättigungsdampfdruck in den Tauwasserebenen c_1 und c_2	$p_{c1} = p_{c2} = p_c$ = 1 700 Pa
Dauer der Verdunstungsperiode	$t_{ev} = 7\,776 \cdot 10^3$ 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 m $s_{d,c1} = s_{d,1} + s_{d,2}$ = 0,26 m $s_{d,c2} = s_{d,1} + s_{d,2} + s_{d,3} + s_{d,4}$ = 4,76 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	$t_{ev1} = M_{c1} / g_{ev1}$ = 2 036·10³ s $g_{ev2} = \delta_0 \left(\frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c2}} \right)$ $t_{ev2} = \frac{M_{c2}}{g_{ev2}}$ = 1 068·10³ 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 kg/m² $M_{ev2} = g_{ev2} \cdot t_{ev2}$ = 0,089 kg/m²
sowie flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt	$M_{ev} = M_{ev1} + M_{ev2}$ = 3,197 kg/m²

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/m^2.

— Keine der an die Tauwasserebene angrenzenden Schichten besteht aus Holz bzw. Holzwerkstoffen.

— Die angefallene Tauwassermasse in beiden Tauwasserebenen muss in der Verdunstungsperiode wieder abgegeben werden können.

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse:

— ermittelte flächenbezogene Tauwassermassen

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

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

insgesamt: M_c = 0,872 kg/m^2

— mögliche flächenbezogene Verdunstungsmasse insgesamt: M_{ev} = 3,197 kg/m^2

Prüfergebnisse und Bewertung:

— M_c > 0,5 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 m^2 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 $m^2 \cdot K/W$, wird nach DIN EN ISO 6946 berechnet.

C.1.4 Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient U, in $W/(m^2 \cdot K)$, 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.

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

Dabei ist

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

θ_i die Innenlufttemperatur, in °C;

θ_e die Außenlufttemperatur, in °C.

C.1.6 Temperaturverteilung

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

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

$$\theta_{si} = \theta_i - q \times R_{si} \tag{C.2}$$

Dabei ist

θ_i die Innenlufttemperatur, in °C;

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

q die Wärmestromdichte, in W/m^2.

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

$$\theta_{se} = \theta_e + q \times R_{se} \tag{C.3}$$

Dabei ist

θ_e die Außenlufttemperatur, in °C;

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

q die Wärmestromdichte, in W/m^2.

Die Temperaturen in den Schichtgrenzen, θ_1, θ_2, ..., θ_{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).

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

Dabei ist

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

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

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

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

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

q die Wärmestromdichte, in W/m^2;

n die Anzahl der Einzelschichten.

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

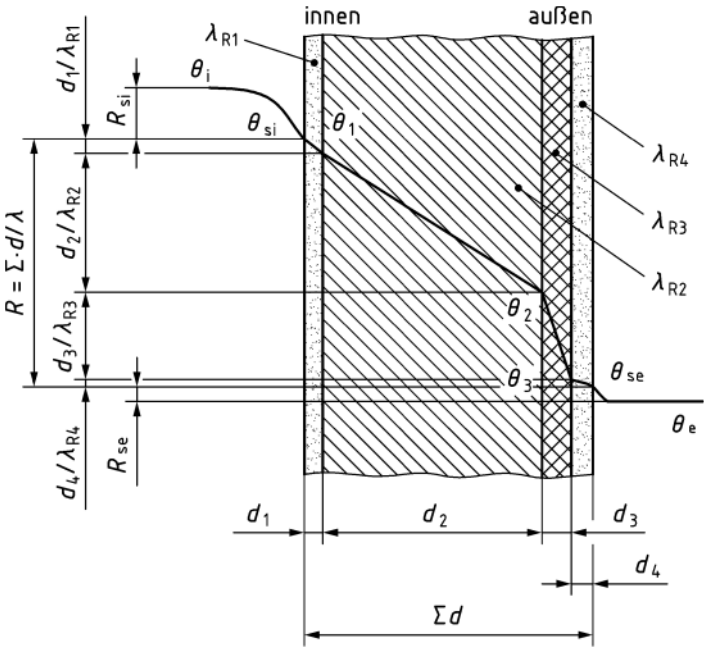


Bild C.1 — Temperaturverteilung über den Querschnitt eines mehrschichtigen Bauteils

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.

$$s_d = \mu \times d \tag{C.5}$$

Dabei ist

μ die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl;

d die Schichtdicke, in m.

C.2.3 Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand

Der dampfdruckbezogene Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand Z_p, in m²·s·Pa/kg, einer homogenen Baustoffschicht wird nach Gleichung (C.6) berechnet.

$$Z_p = 5 \times 10^9 \times \mu \times d = 5 \times 10^9 \times s_d \tag{C.6}$$

Die Konstante 5×10^9 entspricht dem gerundeten Kehrwert des Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizienten in Luft δ_0 bei der Bezugstemperatur 10 °C, in m·s·Pa/kg.

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

$$Z_v = 4 \times 10^4 \times \mu \times d = 4 \times 10^4 \times s_d \tag{C.7}$$

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/m^2.

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

C.2.4 Wasserdampf-Diffusionsstromdichte

Die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte g, in kg/(m^2·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.

$$g = \frac{\delta_0}{\mu} \frac{\Delta p}{d} = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_d} = \frac{\Delta p}{Z_p} \tag{C.8}$$

$$g = \frac{D_0}{\mu} \frac{\Delta v}{d} = D_0 \frac{\Delta v}{s_d} = \frac{\Delta v}{Z_v} \tag{C.9}$$

Der Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in Luft δ_0, in kg/(m·s·Pa), wird nach Gleichung (C.10) bestimmt.

$$\delta_0 = \frac{D_0}{R_v \cdot T} \tag{C.10}$$

Dabei ist

T die thermodynamische (absolute) Temperatur, in K,
mit T = 273 + θ;

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 m^2/s, ergibt sich aus Gleichung (C.11).

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

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:

δ_0 = 1,89·10^{-10} kg/(m·s·Pa) ≈ 2·10^{-10} kg/(m·s·Pa)

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

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.

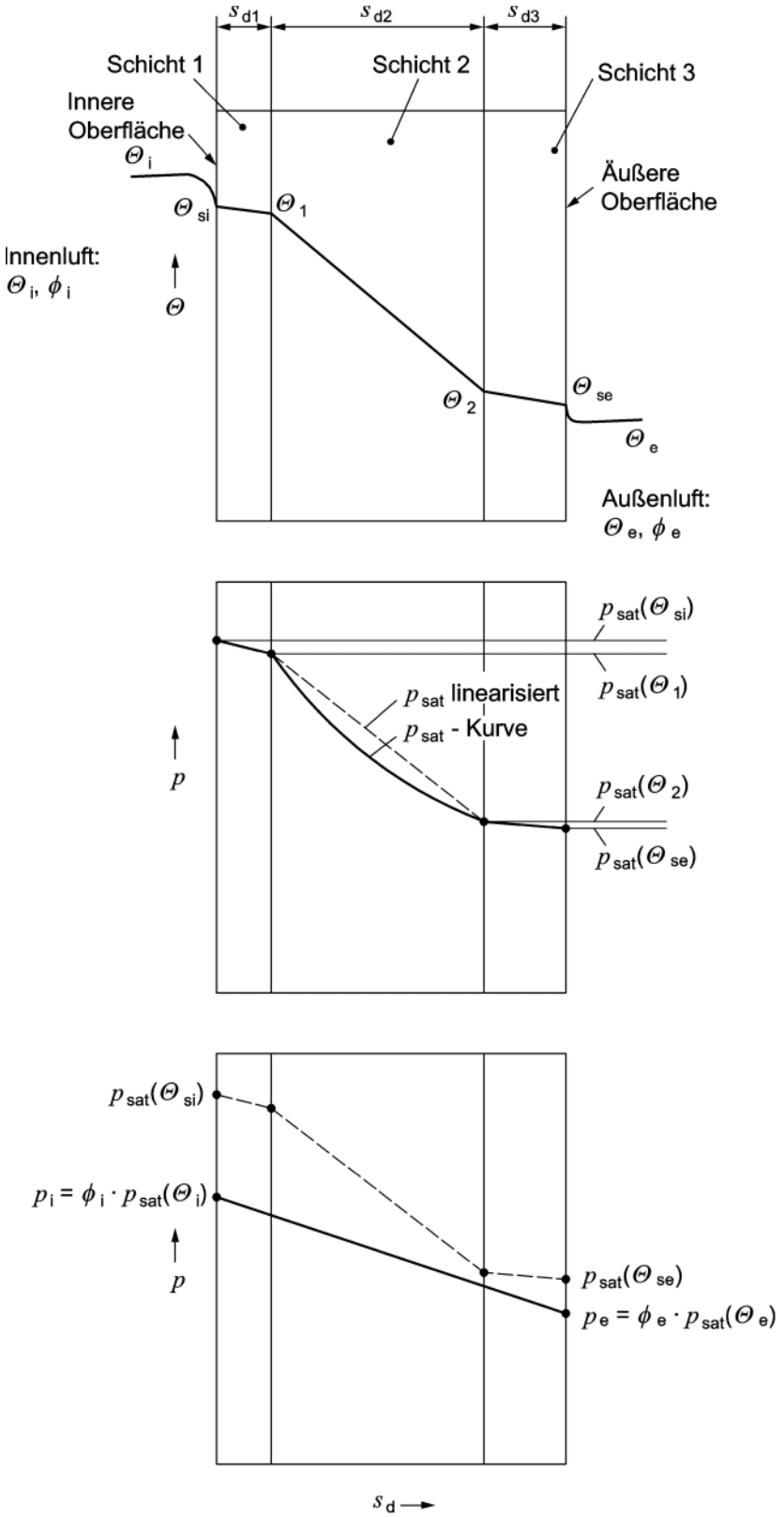


Bild C.2 — Schematische Darstellung der Temperatur- und Dampfdruckverteilungen über den Querschnitt eines mehrschichtigen Bauteils in Abhängigkeit von den diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der Einzelschichten zur Ermittlung eines eventuellen Tauwasserausfalls an Schichtgrenzen

C.3 Wasserdampfteildruck und Luftfeuchte

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

$$p = v \cdot R_\mathrm{v} \cdot T \tag{C.12}$$

Dabei ist

R_v spezifische Gaskonstante für Wasserdampf, in J/(kg·K) bzw. in Pa·m^3 /(kg·K), mit R_v = 462 Pa·m^3/(kg·K);

T thermodynamische Temperatur, in K.

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

$$\Delta p = \Delta v \cdot R_\mathrm{v} \cdot (T_\mathrm{i} + T_\mathrm{e})/2 = \frac{G}{n \cdot V} \cdot R_\mathrm{v} \cdot (T_\mathrm{i} + T_\mathrm{e})/2 \tag{C.13}$$

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):

$$\varphi = \frac{p}{p_\mathrm{sat}} \tag{C.14}$$

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:

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

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

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.

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

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

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

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

Tempe-ratur °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 Feuchteaufnahme 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 Feuchteberechnungsmodelle 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 — Flachdachrichtlinie[2)]

[12] WTA Merkblatt 6-4-09 D, Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden[1)]

[13] WTA Merkblatt 6-5-14 D, Innendämmung nach WTA II: Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren[1)]

---

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

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