
Bauphysik

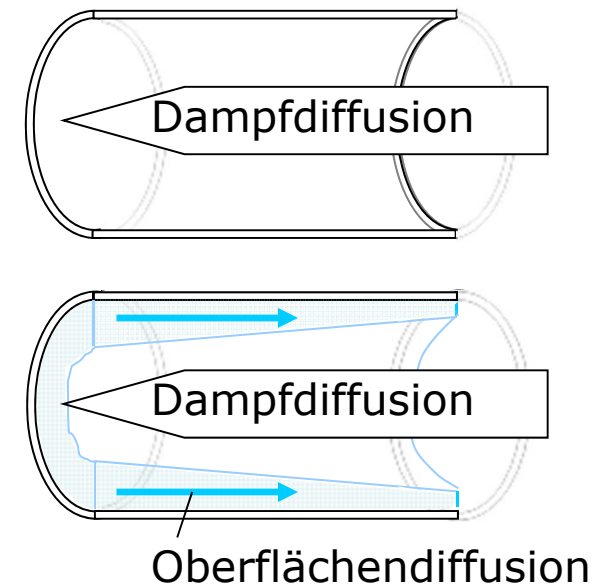
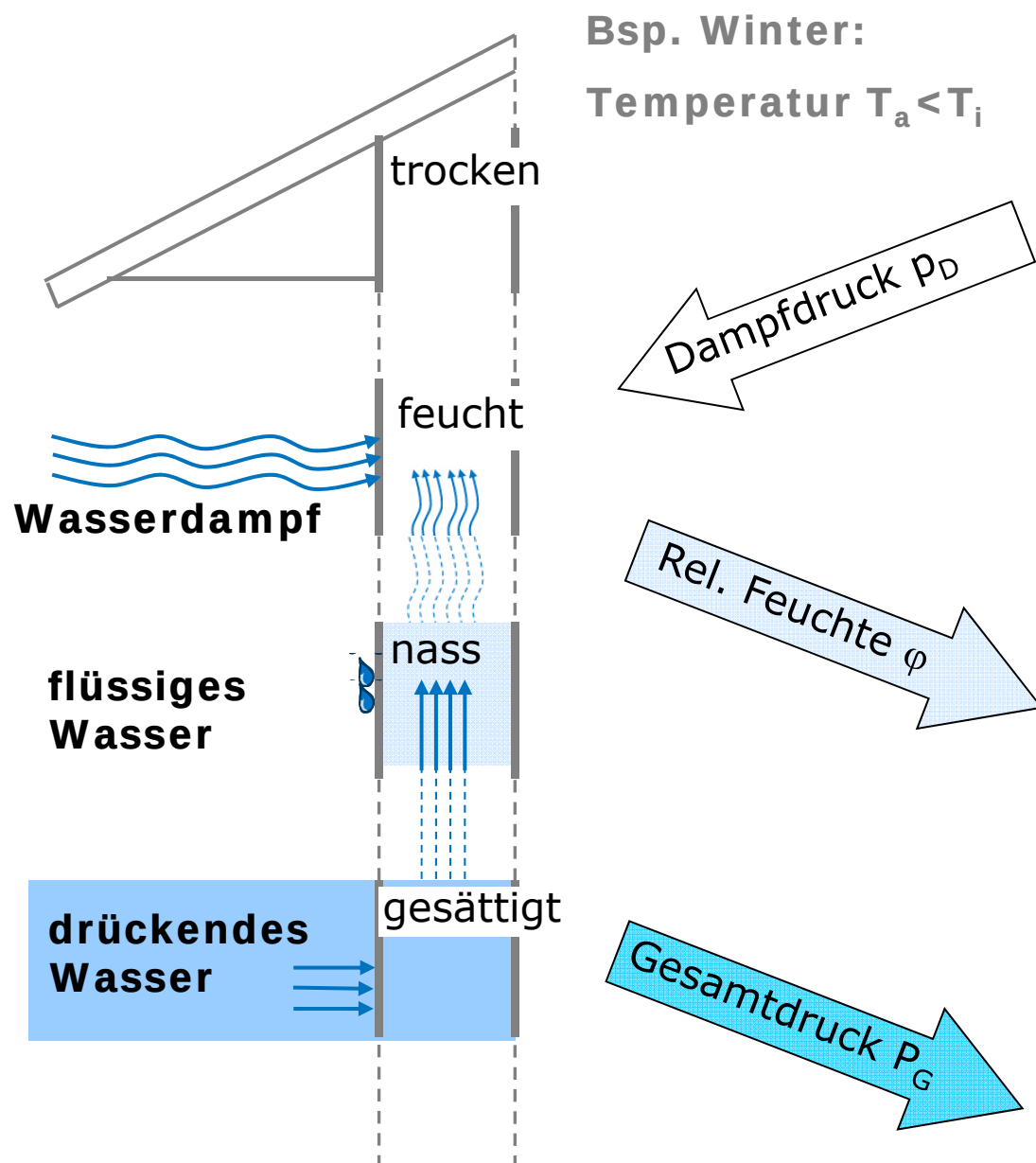
Feuchte – Die Normung

(äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren, ehemals „Glaser-Verfahren“)

Prof. Dr.-Ing. Petra Rucker-Gramm

Vorlesungsunterlagen nur für studentische Zwecke.
Eine Weitergabe oder Vervielfältigung, auch
auszugsweise,
ist nur nach schriftlicher Genehmigung
durch die Verfasserin erlaubt.

Transportmechanismen von Wasser



Wasserdampfdiffusionsstromdichte

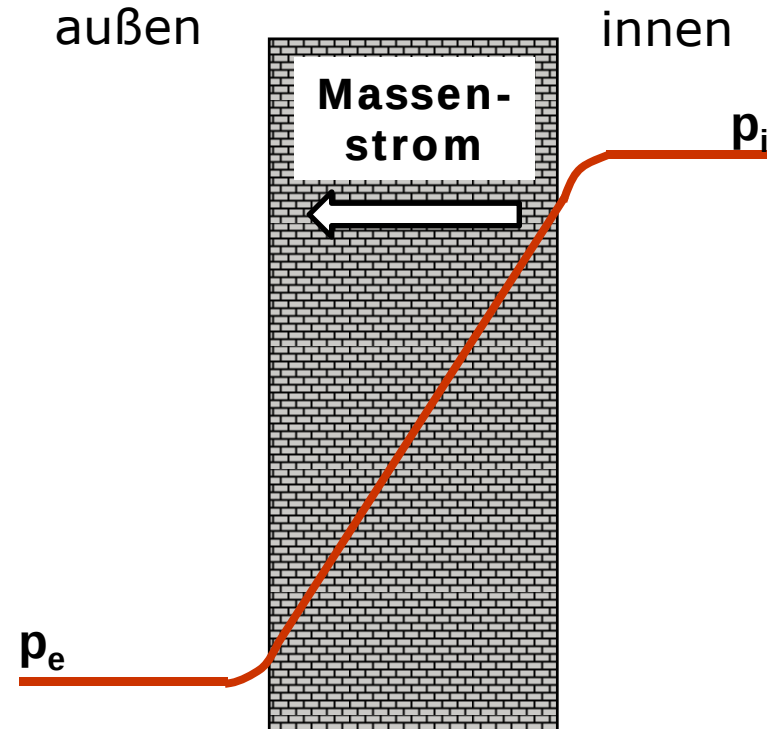
$$g = \delta_0 \frac{(p_i - p_e)}{s_d}$$

g Dampfstromdichte [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

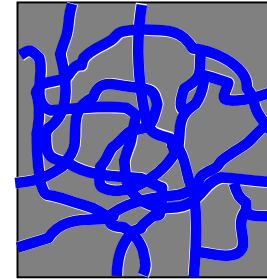
$p_{i/e}$ Partialdrücke der Innen-
bzw. Außenluft [Pa]

δ_0 Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient
in ruhender Luft: $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

s_d wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke Dampfstromdichte [m]



Materialwiderstand gegen Wasserdampfdiffusion



[Dr. Lay]

Bei Dampfdiffusion durch Materialschichten erhöhter Widerstand durch:

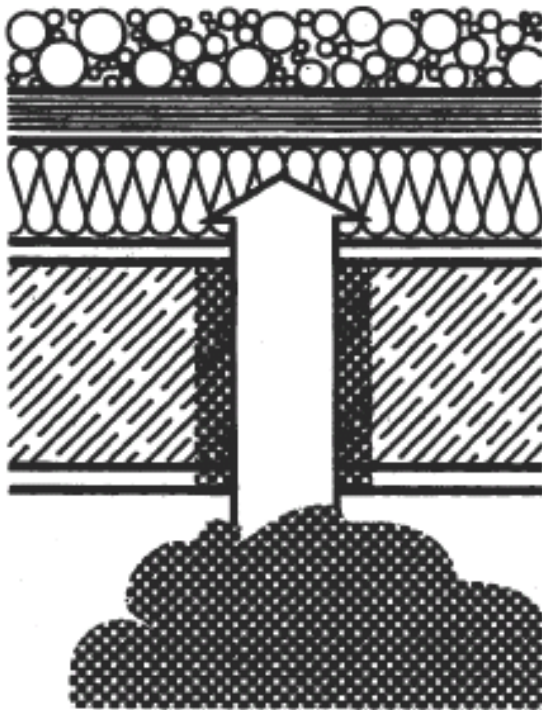
- Verhältnis der von den Poren eingenommenen Fläche zur gesamten Querschnittsfläche (Porosität)
- durch die Porenstruktur erzwungene Umwege
- Querschnittsveränderungen in den Porenkanälen

Berücksichtigung durch die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ

→ Formfaktor, der angibt, um welchen Faktor der Diffusionswiderstand eines Materials größer ist als der einer Luftschicht gleicher Dicke ($\mu_L=1$)

μ -Wert

Baustoffe mit μ -Wert ≥ 1500 werden als Dampfsperren bezeichnet



**Konstruktion ohne
Dampfsperre**



**Konstruktion mit
Dampfsperre**

Wasserdampfdiffusionsdurchlasswiderstand

$$s_d = \mu \times d$$

d Dicke des Bauteils [m]

μ Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl [-]

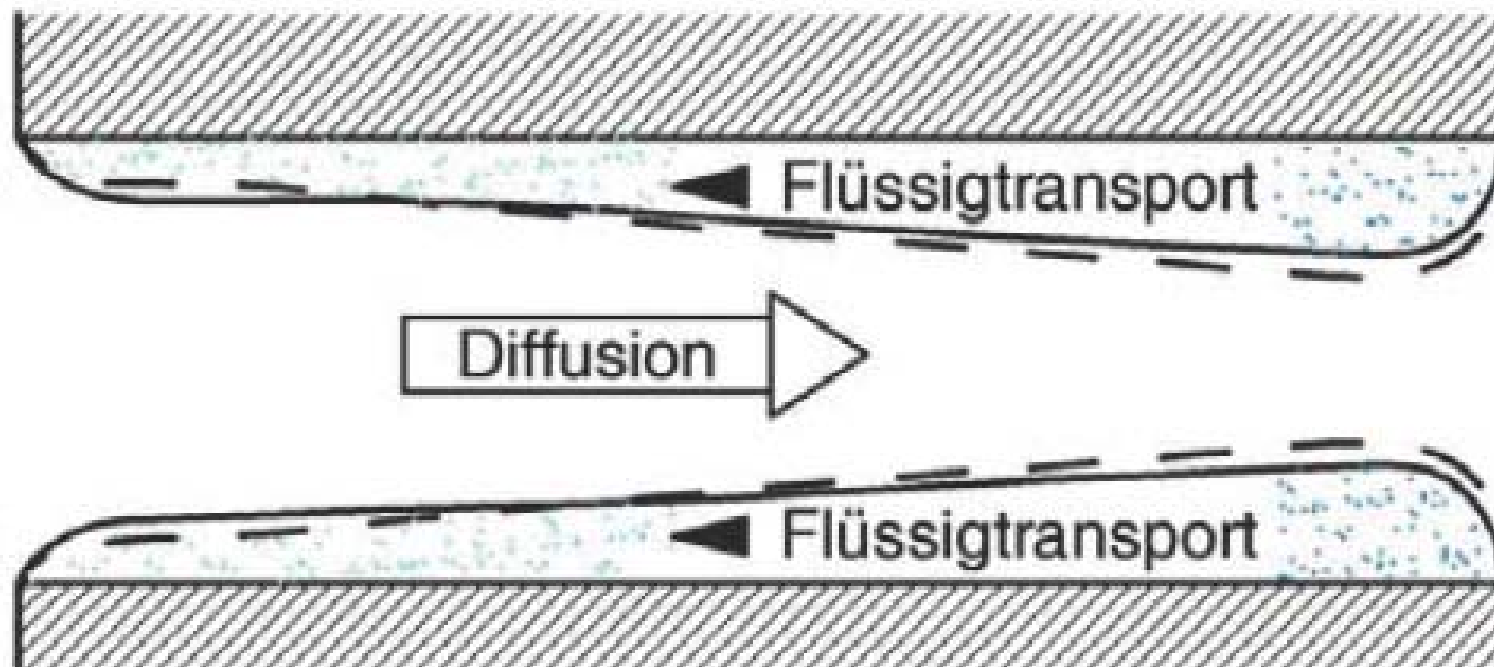
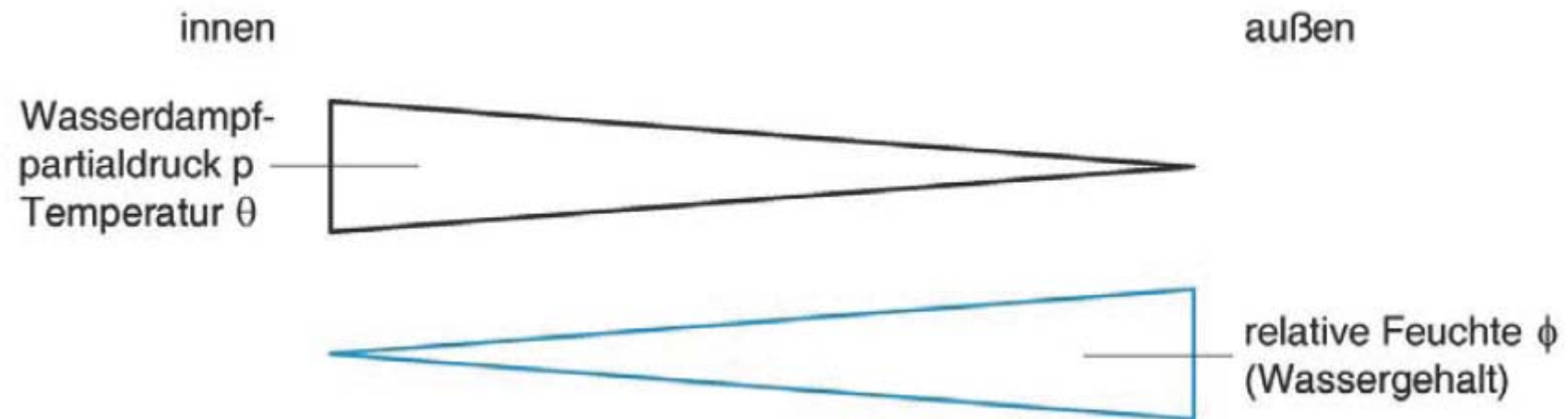
**DIN 4108-4 /
DIN EN ISO 10456**

— Vornorm —

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m · K)	Richtwert der Wasserdampf- Diffusions- widerstands- zahl ^c μ
1.3	Estriche			
1.3.1	Asphalt	Siehe DIN EN 12542		
1.3.2	Zement-Estrich	(2 000)	1,4	15/35
1.3.3	Anhydrit-Estrich	(2 100)	1,2	
1.3.4	Magnesia-Estrich	1 400	0,47	
		2 300	0,70	
2	Beton-Bauteile			
2.1	Beton nach DIN EN 206-1	Siehe DIN EN 12542		
2.2	Leichtbeton und Stahlleichtbeton mit geschlossenem Gefüge nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, hergestellt unter Verwendung von Zuschlägen mit porigem Gefüge nach DIN 4226-2, ohne Quarzsandzusatz ^d	800	0,39	70/150
		900	0,44	
		1 000	0,49	
		1 100	0,55	
		1 200	0,62	
		1 300	0,70	
		1 400	0,79	
		1 500	0,89	
		1 600	1,0	
		1 800	1,3	
		2 000	1,6	
2.3	Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223-1	350	0,11	---
		400	0,13	
		450	0,15	
		500	0,15	
		550	0,18	
		600	0,19	

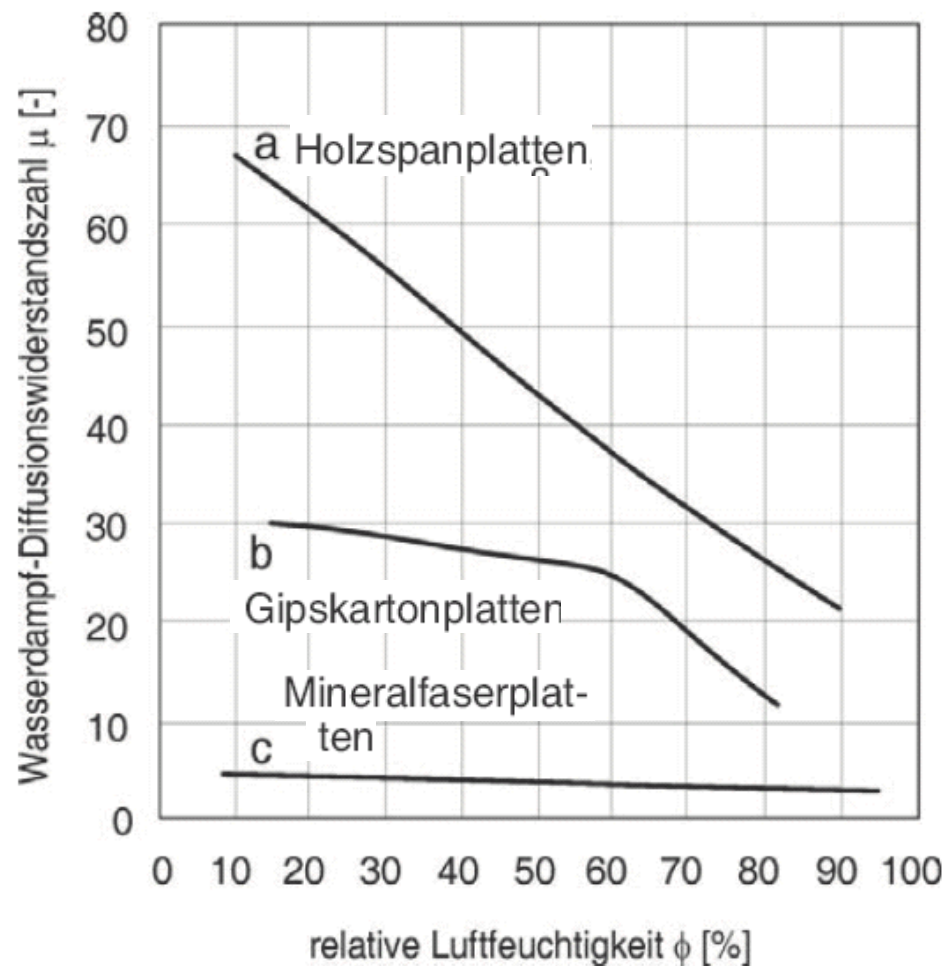
Oberflächendiffusion



Wasserdampfdiffusion -Feuchteeinfluss

DIN 4108-4: Richtwerte für μ Wertebereiche
(z.B. Hochlochziegel: $\mu = 5 / 10$);

Im Anwendungsfall sind die ungünstigeren Werte zu verwenden!

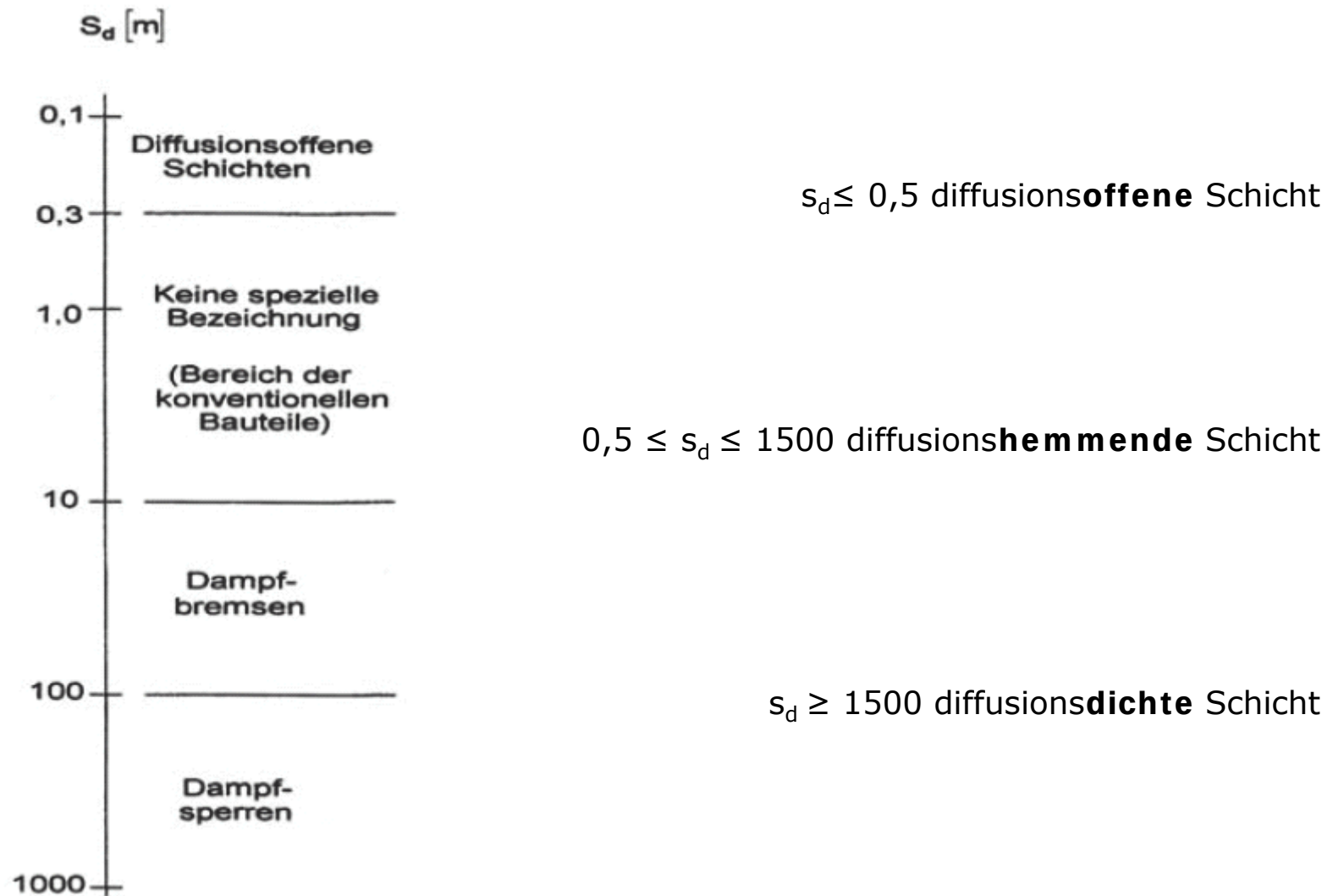


Sd-Wert

Wasserdampfdiffusionsäquivalente
Luftschichtdicke (s_d -Wert) eines Baumaterials

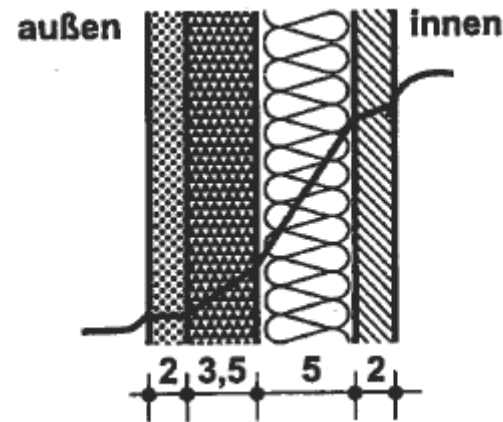
$$s_d = \mu \cdot d \quad [m]$$

Sd-Wert



Bildmaßstäbe

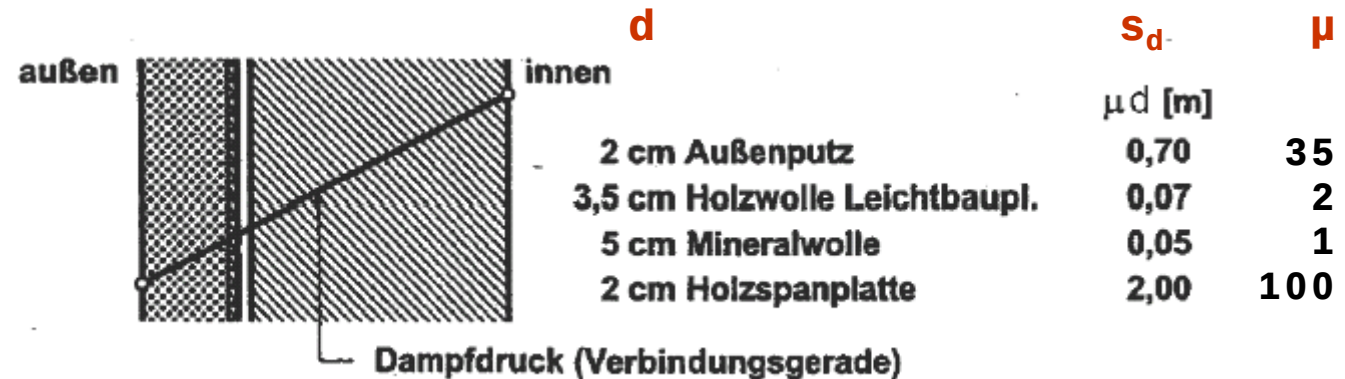
Real- Bildmaßstab



2 cm Außenputz
3,5 cm Holzwolle Leichtbauplatte
5 cm Mineralwolle
2 cm Holzspanplatte

Hygrischer Bildmaßstab

„Diffusions- diagramm“



Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3: **2018-10**

Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und
Ausführung

- **Tauwasserschutz**
- Schlagregenschutz

Vermeidung von Tauwasser

Maßnahmen gegen Tauwasserbildung an Raumbooberflächen

- erhöhtes Lüften
- höhere Innentemperatur
- weniger Feuchteproduktion
- keine Möbel an Außenwänden

Vermeidung von Oberflächentauwasser

- Tauwasserbildung bei Abkühlung unter die Taupunkttemperatur
- zur Verhinderung muss gelten: $\vartheta_{oi} > \vartheta_s$
- Dazu ist ein bestimmter Wärmedurchlasswiderstand R bzw. U-Wert erforderlich

Vermeidung von Tauwasser

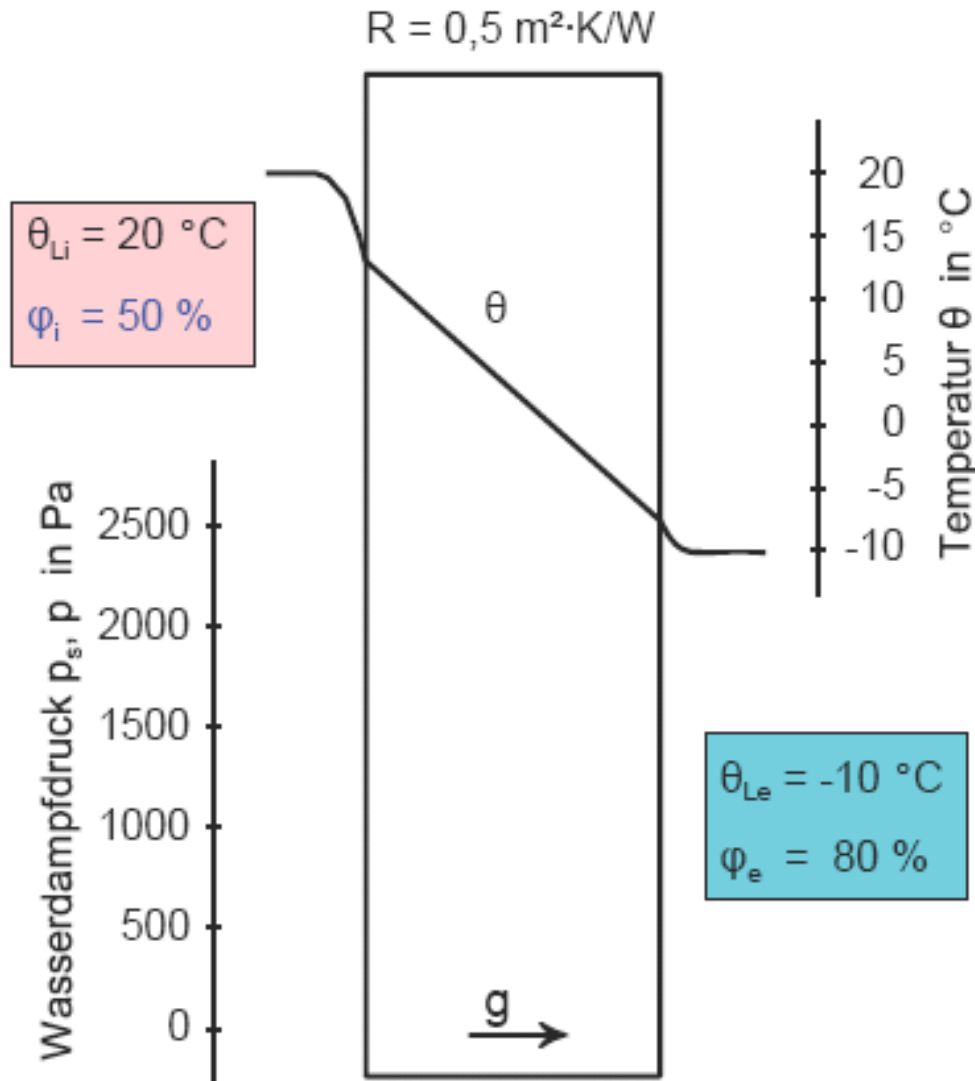
Tauwasser in Bauteilen infolge Wasserdampf-Diffusion

Ermittlung der Tauwassermenge im Inneren von Bauteilen durch ein graphisches Verfahren mittels eines Diffusionsdiagramms „Perioden-Bilanzverfahren“ (früher: „Glaser-Verfahren“)

Vorgehensweise

- Ermittlung der Temperaturverteilung über den Bauteilquerschnitt
- Ermittlung des Wasserdampfsättigungsdruckes p_{sat} über den Bauteilquerschnitt ausgehend von der Temperatur
- Verteilung des tatsächlichen Dampfdruckes im Profil

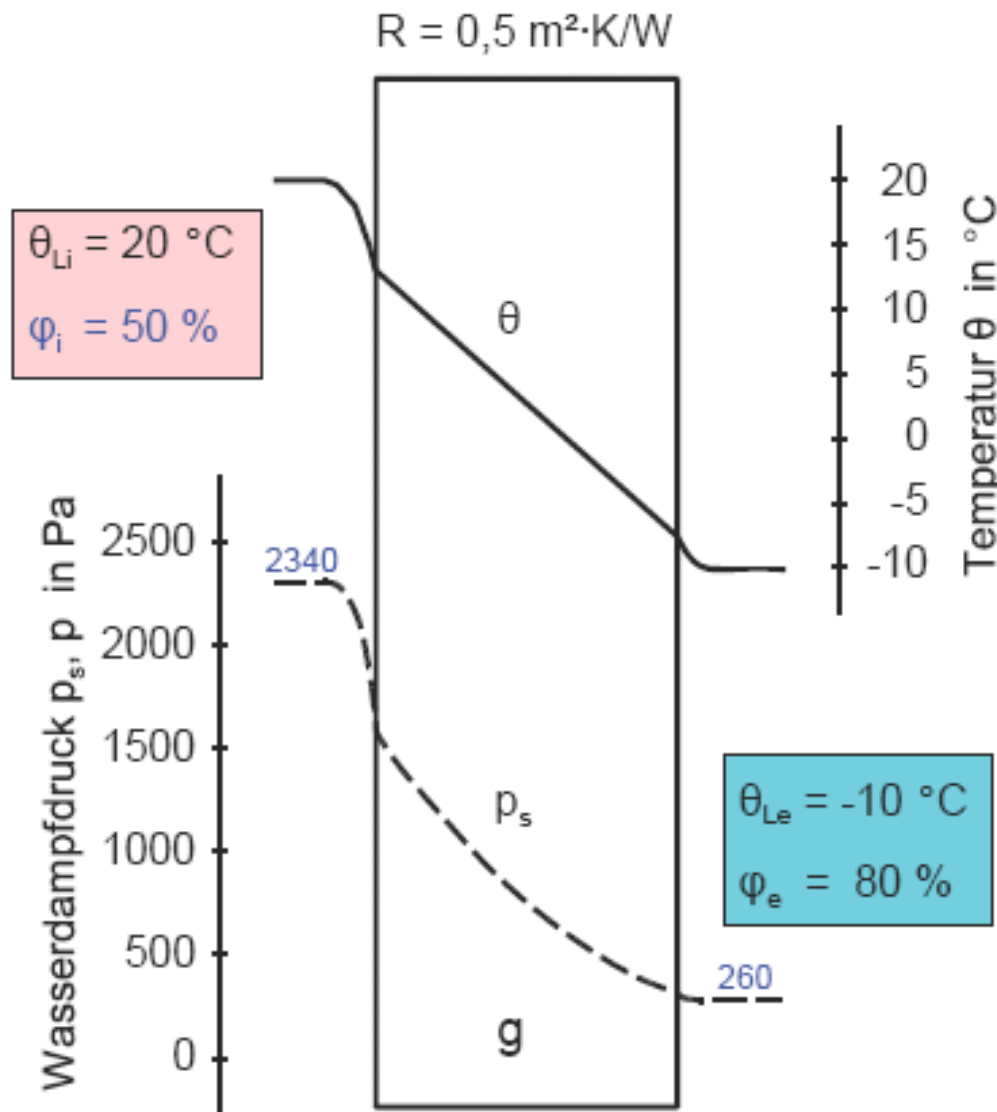
Temperatur- und Dampfdruckverlauf



Hinweis: Normvorgabe
heute -5°C

Temperatur und Dampf-
druckverlauf in einer ein-
schichtigen Außenwand.
(Beispiel nach Diem)

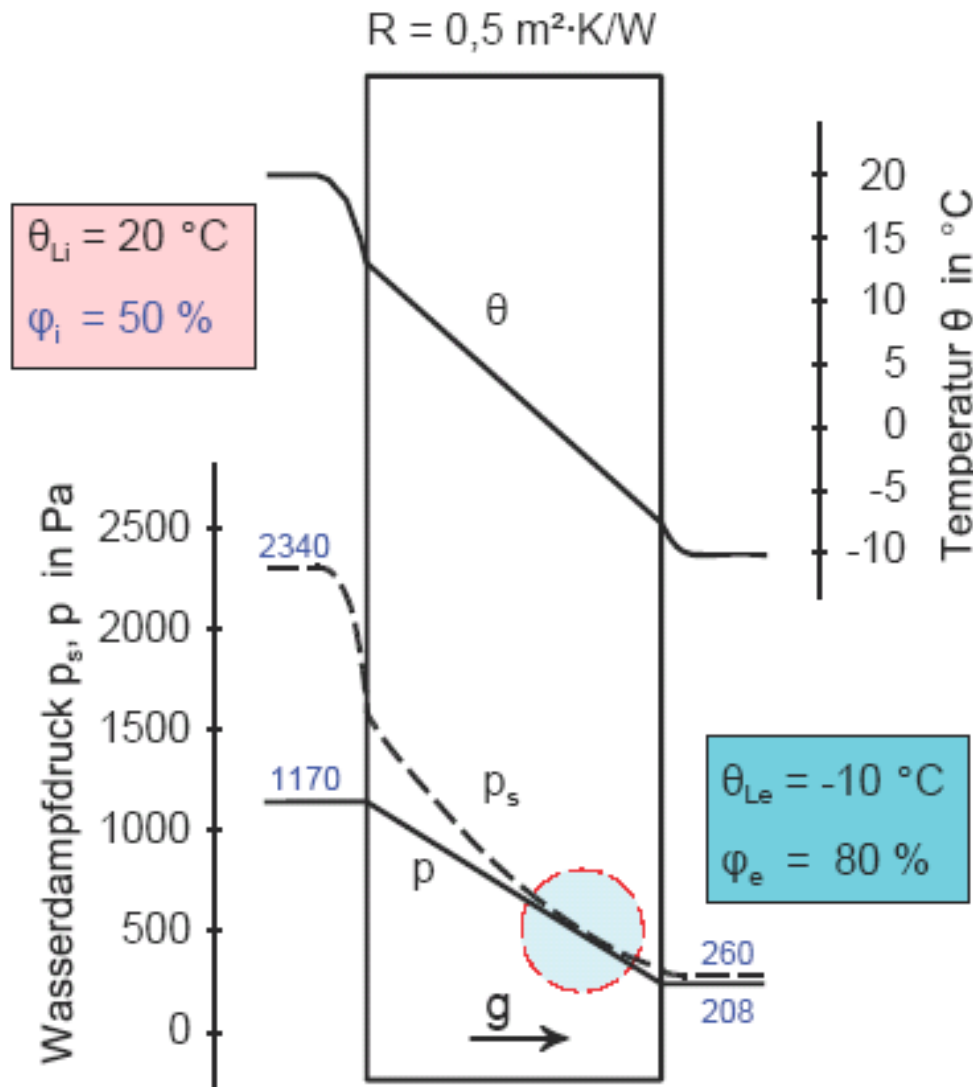
Temperatur- und Dampfdruckverlauf



Hinweis: Normvorgabe
heute -5°C ,
 $p_s (=p_{\text{sat}})$ leicht
abweichend

Temperatur und Dampf-
druckverlauf in einer ein-
schichtigen Außenwand.
(Beispiel nach Diem)

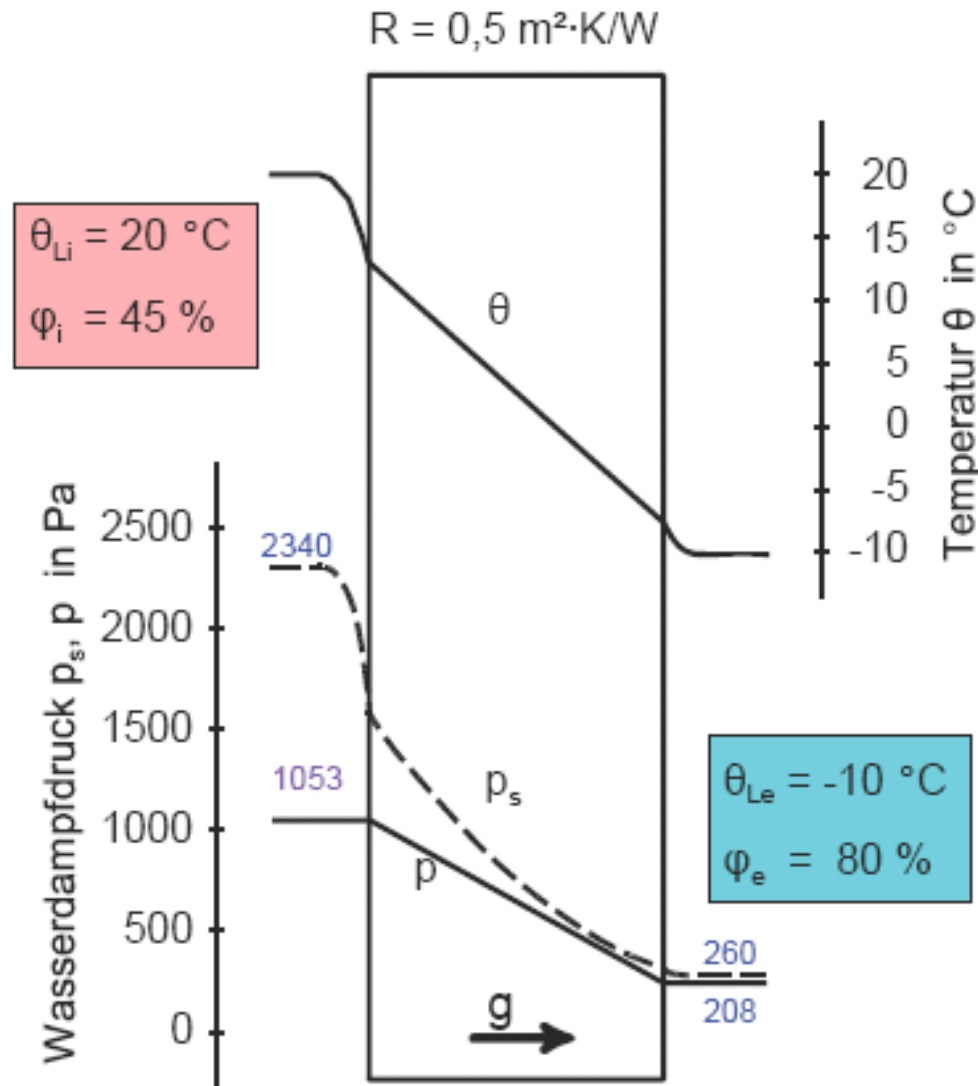
Temperatur- und Dampfdruckverlauf



Hinweis: Normvorgabe
heute -5°C ,
 $p_s (=p_{\text{sat}})$ leicht
abweichend

Temperatur und Dampf-
druckverlauf in einer ein-
schichtigen Außenwand.
(Beispiel nach Diem)

Temperatur- und Dampfdruckverlauf



Hinweis: Normvorgabe
heute -5°C ,
 $p_s (=p_{\text{sat}})$ leicht
abweichend

Temperatur und Dampf-
druckverlauf in einer ein-
schichtigen Außenwand.
(Beispiel nach Diem)

Randbedingungen: Klima

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						
Wasserdampfdruck Innenklima			1 200	90	2 160	$7\,776 \cdot 10^3$
Wasserdampfdruck Außenklima			1 200			
Sättigungsdampfdruck im Tauwasserbereich:			1 700			
— Wände, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen; Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen						
— Dächer, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen			2 000			

^a In der Verdunstungsperiode werden im Rahmen des Perioden-Bilanzverfahrens nicht die Temperaturen und Luftfeuchten, sondern nur die gerundeten Wasserdampfdrucke als Klima-Randbedingung vorgegeben.

Standard-Klimabedingungen **ALTE NORM !!!!**

Tabelle A.1 — Vereinfachte Klimabedingungen

Zeile	Klima	Temperatur	Relative Luftfeuchte	Dauer	
		θ °C	ϕ %	n	d
1	Tauperiode				
1.1	Außenklima ^a	- 10	80	1 440	60
1.2	Innenklima	20	50		
2	Verdunstungsperiode				
2.1	Wandbauteile und Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen				
2.1.1	Außenklima	12	70	2 160	90
2.1.2	Innenklima				
2.1.3	Klima im Tauwasserbereich		100		
2.2	Dächer, die Aufenthaltsräume gegen die Außenluft abschließen ^b				
2.2.1	Außenklima	12	70	2 160	90
2.2.2	Temperatur der Dachoberfläche	20	—		
2.2.3	Innenklima	12	70		
^a Gilt auch für nicht beheizte, belüftete Nebenräume, z. B. belüftete Dachräume, Garagen.					
^b Vereinfachend können bei diesen Dächern auch die Klimabedingungen für Bauteile der Zeile 2.1 zu Grunde gelegt werden.					

Randbedingungen: Wärmeübergang

Wärmeübergangswiderstände R_s zur Berechnung der Temperaturverteilung für das Perioden-Bilanzverfahren:

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

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

Achtung: Werte weichen von den Wärmeübergangswiderständen nach DIN EN ISO 6946 ab. (**Werte nach alter Norm**)

Randbedingungen: Stoffeigenschaften

Die **Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen μ** sind aus DIN 4108-4 bzw. DIN EN ISO 10456 zu entnehmen.

Welcher μ -Wert ist zu verwenden?

Im Rechenverfahren ist der für die jeweilige Schichtposition in der Tauperiode ungünstigere μ -Wert anzuwenden, welcher dann auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten ist.

Schichten mit $s_d < 0,1$ m

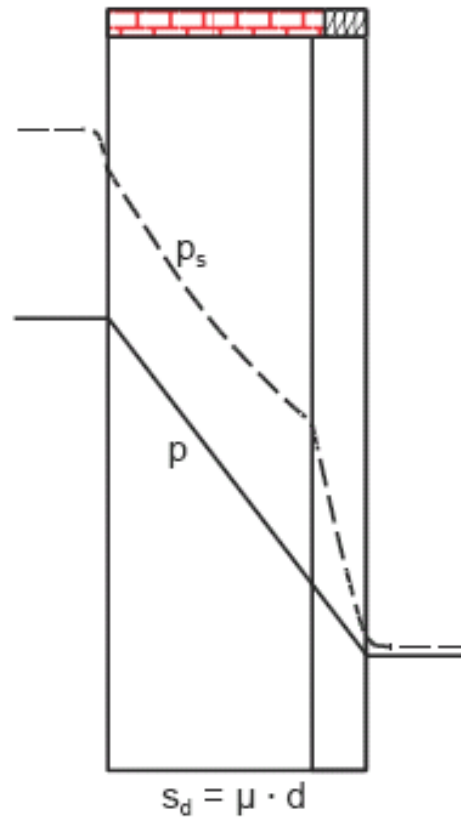
- äußerseitig der Wärmedämmung: $s_d = 0,1$ m
- sonst Untersuchung mit $s_d = 0,1$ m und $s_d = 0$ m, kritischer Fall maßgebend

Luftschichten

- R-Werte für die Temperaturberechnung (p_{sat}) nach DIN EN ISO 6946
- s_d -Werte für ruhende Luftschichten unabhängig von Lage und Dicke: $s_d = 0,01$ m

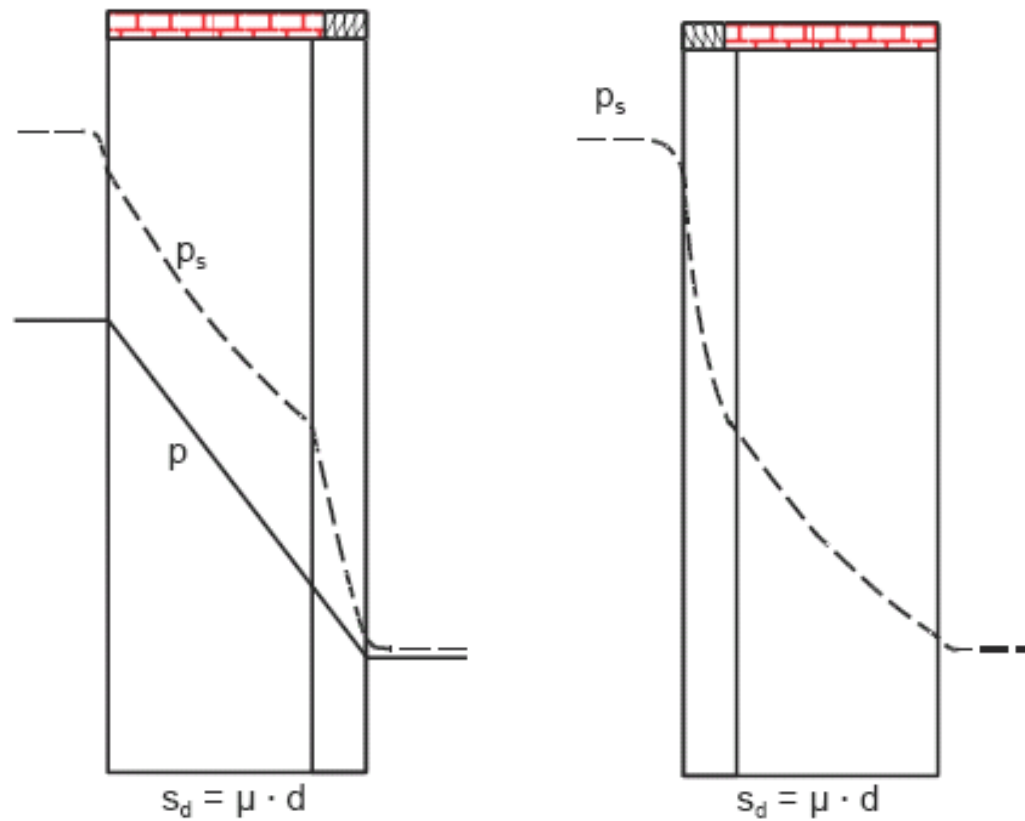
Diffusionsdiagramm

Dampfdruckverlauf in einer zweischichtigen Wand
in Abhängigkeit von der Lage der Wärmedämmung



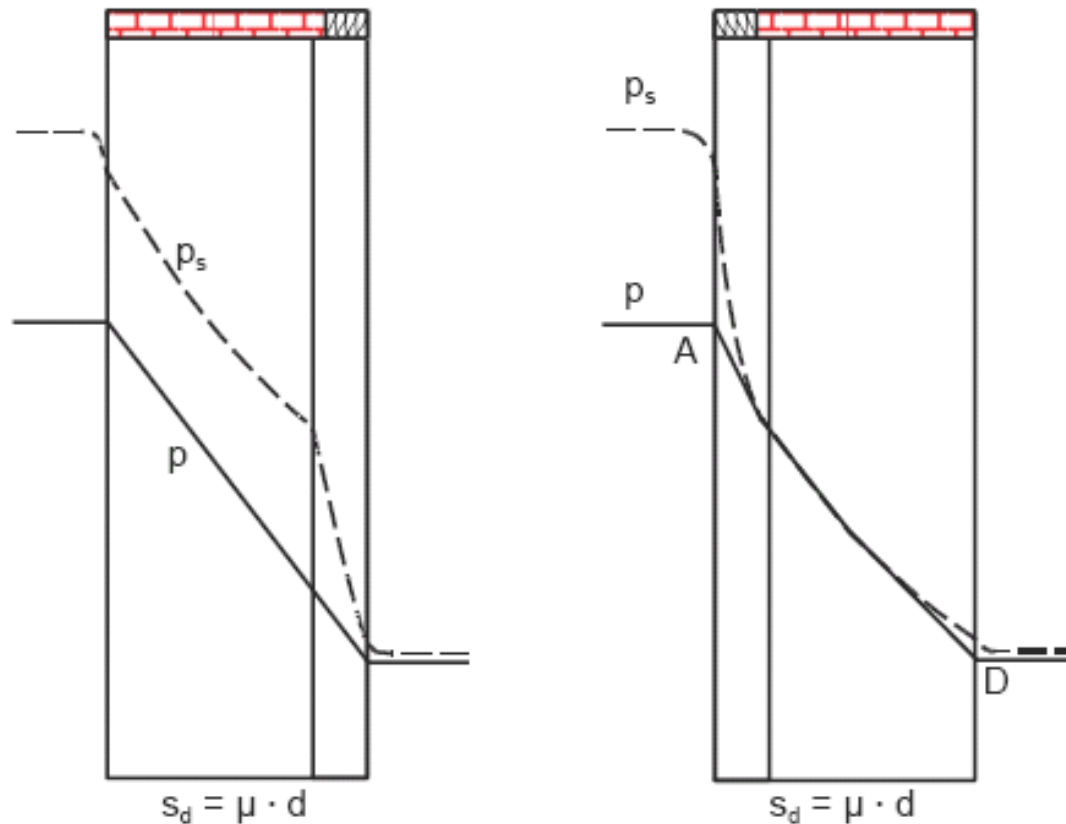
Diffusionsdiagramm

Dampfdruckverlauf in einer zweischichtigen Wand
in Abhängigkeit von der Lage der Wärmedämmung



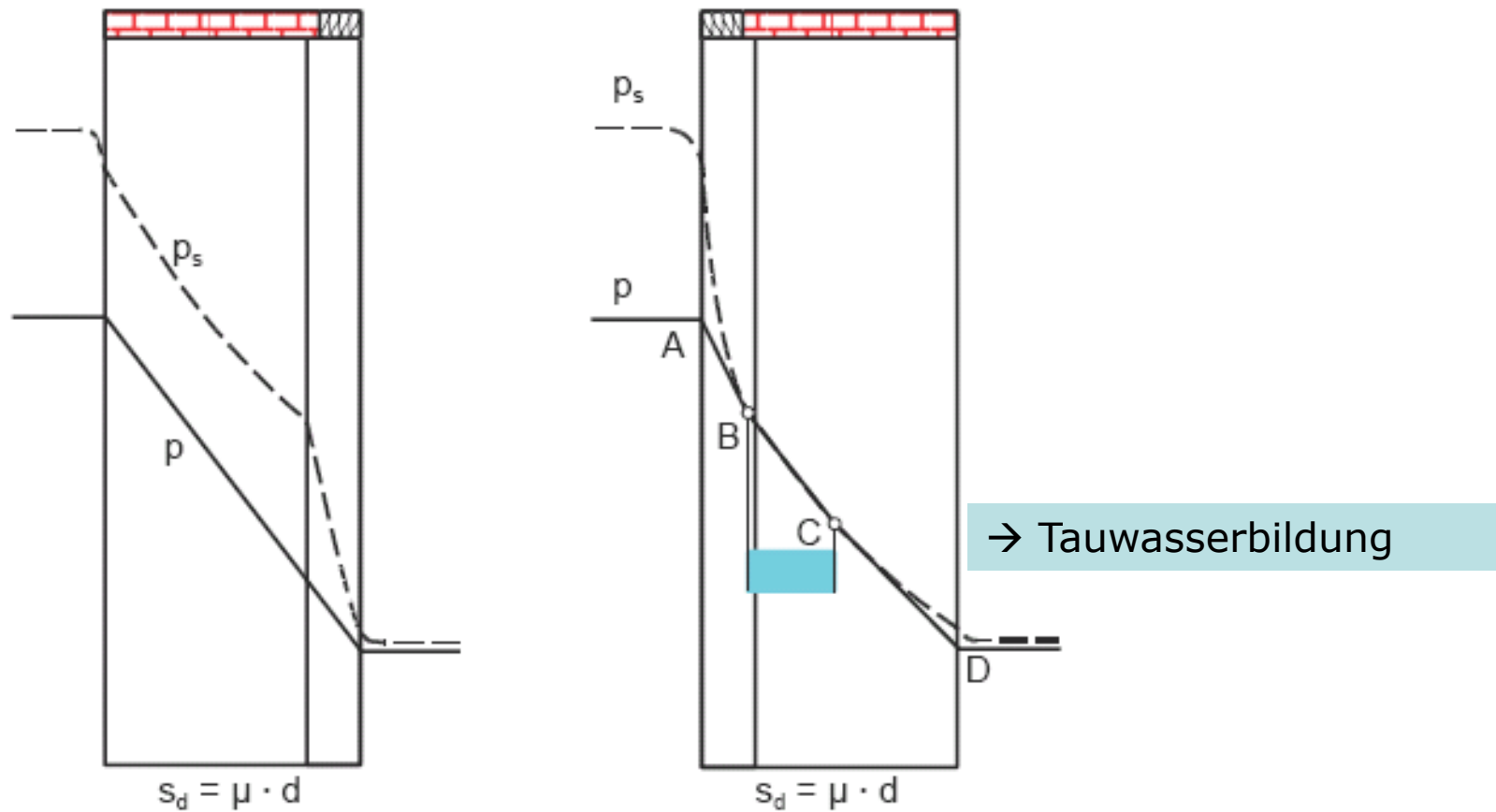
Diffusionsdiagramm

Dampfdruckverlauf in einer zweischichtigen Wand
in Abhängigkeit von der Lage der Wärmedämmung



Diffusionsdiagramm

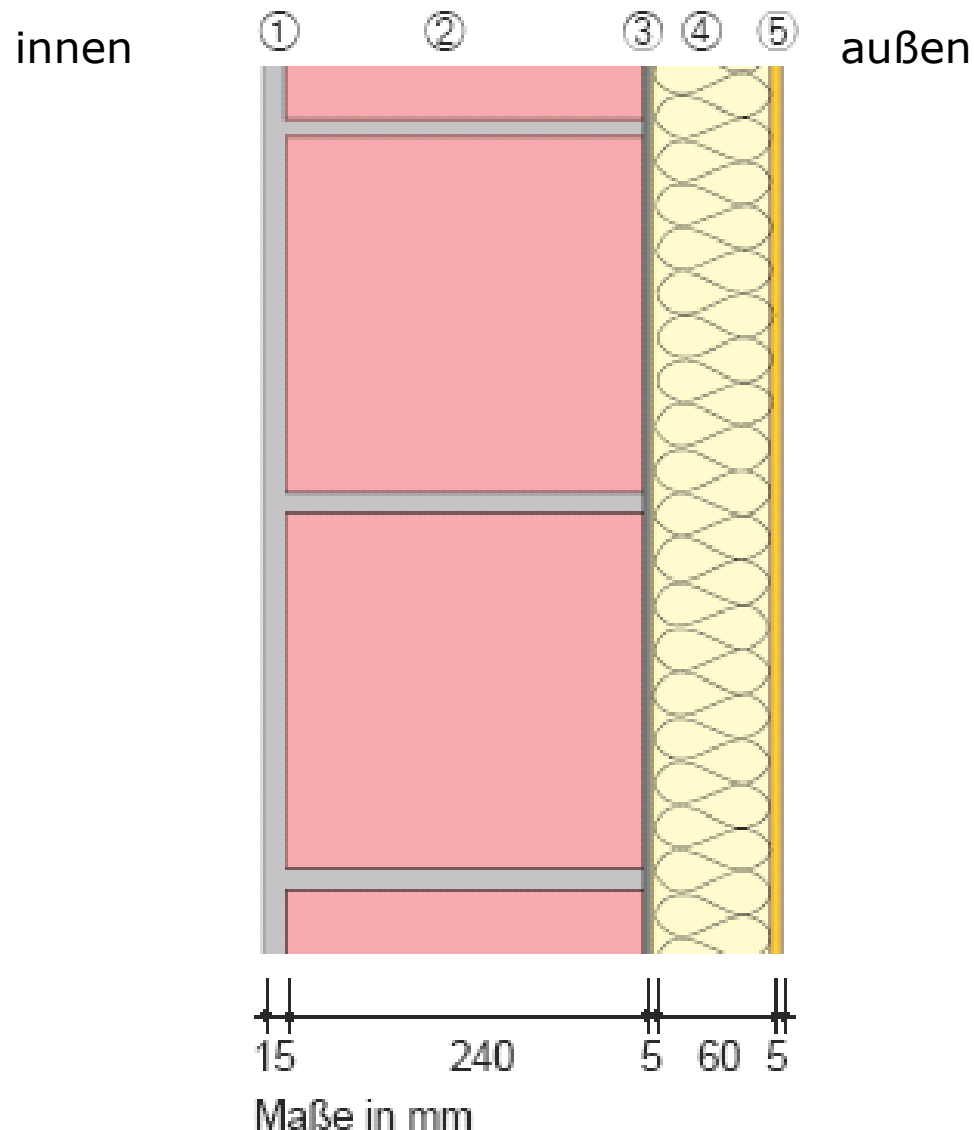
Dampfdruckverlauf in einer zweischichtigen Wand
in Abhängigkeit von der Lage der Wärmedämmung



bis hier 11.12.2013

[Prof. Schulz, nach Diem]

Berechnungsbeispiel



1: Gipsmörtel

2: Hochlochziegel
 $\rho_R = 1400 \text{ kg/m}^3$

3: Zementmörtel

4: Polyurethan-Hartschaum
(PUR)
nach DIN EN 13165,
Kategorie I, Nennwert 0,033

5: Kunstharzputz

Berechnungsbeispiel (A-D Wiederholung)

Aufgabenstellung

- A) Erfüllt der Wärmedurchlasswiderstand die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2?**
- B) Wie groß ist der Wärmedurchgangswiderstand bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient der betrachteten Außenwand?**
- C) Welche Temperatur sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -5°C , Innenlufttemperatur: 20°C)?**
- D) Welcher Sättigungsdampfdruck ist an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten?**
- E) Führen Sie den Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3.**

Berechnungsbeispiel (A-D Wiederholung)

Aufgabenstellung

- A) Erfüllt der Wärmedurchlasswiderstand die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2?
- B) Wie groß ist der Wärmedurchgangswiderstand bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient der betrachteten Außenwand?
- C) Welche Temperatur sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)?
- D) Welcher Sättigungsdampfdruck ist an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten?
- E) Führen Sie den Feuchteschutznachweis nach DIN 4108-3.**

für das Diffusions-
Diagramm

Schicht Nr.	d [m]	μ [-]	S_d [m]	$\Sigma S_d / S_{d,IT}$	λ [W/mK]	$R_n (R_{s,i}, R_{s,e})$ [m²K/W]	ΔT [K]	Θ [°C]	p_{sat} [Pa]
W-Übergang innen									
1 Gipsmörtel	0,015								
2 Hochlochziegel	0,24								
3 Zementmörtel	0,005								
4 PUR-Dämmung	0,06								
5 Kunstharzputz	0,005								
W-Übergang außen									
$R = \Sigma R_n$									
R_T									
U									

Übervbereitung: Tabelle zeichnen, Materialkennwerte zusammentragen (d, μ, λ)
 λ, μ aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Achtung: im Video weicht die Umrechnung von Nenn- auf Bemessungswert von den aktuell gültigen Werten ab. In diesen Folien wurde die Aufgabe mit allen aktuell gültigen Kennwerten ermittelt. Ansonsten bleibt die Vorgehensweise die Gleiche!

Die ergänzenden Folien zu dem Übungsbeispiel enthalten zur besseren Nachvollziehbarkeit den Rechenweg entsprechend des Videos.

f _s Diffusionsdichtung						WÄRME → FEUCHTE				
Nr.	Schicht	d [m]	μ	S _d [m]	Σ S _d / S _{d,T} [G]	λ [W/mK]	R _{si} (R _{si} ; R _{se}) [mK/W]	ΔT [K]	⊖ [°C]	p _{sat} [Pa]
	W-Übergang innen						0,13	10,25	2,5	2333
1	Gipsmörtel	0,015	10	0,15	0,03	0,70	0,021	0,2	17,5	1999
2	Hochlochziegel	0,24	5/10	1,2	0,28	0,58	0,414	4,1	17,3	1974
3	Zementmörtel	0,005	15/20	0,075	0,30	1,6	0,003	0,0	13,2	1517
4	PUR-Dämmung	0,06	40/60	2,4	0,79	0,034	1,765	12,7	13,2	1517
5	Kunstharzputz	0,005	50/60	1,0	1,0	0,70	0,007	0,1	-4,5	419
	W-Übergang außen						0,04	0,04	-4,6	415

$$[S_d - \mu \cdot d]$$

$$\Sigma S_d = S_{d,T} = 4,825 \text{ m}$$

$$R = \Sigma R_n$$

$$R_T$$

$$U$$

$$2,710$$

$$2,380$$

$$0,42$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

$$0,4$$

Vorbereitung:

Tabelle zeichnen. Materialkennwerte zusammentragen (d, μ , λ) - λ aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Nennwert nach neuer Norm 4108-4 (2017):

$$\lambda_B = \lambda_0 \cdot x$$

Bemessungswert

Kennwert

X variiert von Dämmstoff zu Dämmstoff, vgl. Fußboden

$$\text{hier } x = 1,03$$

$$\Rightarrow \lambda_B = 0,03 \cdot 1,03 = 0,034 \text{ W/mK}$$

mind. 1 mW/(mK)

NEU!!!

WÄRME

- A) Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2 erfüllt? $R_{soll} \leq R_{ist} = \Sigma R_n$; $R = \frac{d}{\lambda}$
- Schweres oder leichtes Bauteil? $m = \rho \cdot d = \dots + 1400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,24 \text{ m} + \dots = 336 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$
 - $\Rightarrow$ Tabelle 3, 5.2.1 aus DIN 4108-2 gilt:
 - $R_{soll} = 1,2 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$, da Temp $> 19^\circ\text{C} \Rightarrow R_{soll} < R_{ist} \Rightarrow \text{Schweres Bauteil!}$

Achtung: im Video weicht die Umrechnung von Nenn- auf Bemessungswert von den aktuell gültigen Werten ab. Ansonsten bleibt die Vorgehensweise die Gleiche!

FEUCHTE

Temperaturverteilung, ACHTUNG andere Wert für R_{si} als bei wärmeschutz-technischer Betrachtung:

WÄRME

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2K}{W} \text{ oder } 0,17 \text{ je nach Wärmestromrichtung}$$

FEUCHTE

$$R_{si} = 0,25 \frac{m^2K}{W}$$

egal in welche Richtung der Wärmestrom geht

→ Kenngrößen U-Wert (EnEV-Nachweis)

→ Hilfsgröße zur Temperaturberechnung beim Feuchtschutz-Nachweis

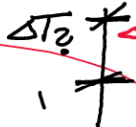
1. Temperaturgradienten innerhalb der einzelnen Bauteilschichten

$$\Delta T_n = q \cdot R_n$$

$$q = \frac{1}{R_T} \cdot \Delta T_{ges} = \frac{1}{2,500 \frac{m^2K}{W}} 25 K = 10 \frac{W}{m^2}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{si} &= 10 \frac{W}{m^2} \cdot 0,25 \frac{m^2K}{W} = 2,5 K \\ \Delta T_1 &= 10 \frac{W}{m^2} \cdot 0,021 \frac{m^2K}{W} = 0,2 K \\ \Delta T_2 &= 10 \cdot 0,414 = 4,1 K \\ \Delta T_3 &= 10 \cdot 0,003 = 0,0 K \\ \Delta T_4 &= 10 \cdot 1,765 = 17,7 K \\ \Delta T_5 &= 10 \cdot 0,007 = 0,1 K \\ \Delta T_{se} &= 10 \cdot 0,04 = 0,4 K \end{aligned}$$

$$\text{Kontrolle } \leq 25 K \quad \text{😊}$$



$$\begin{aligned} q &= U \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \\ q &= \frac{1}{R_T} (\Theta_i - \Theta_e) \\ q_n &= \frac{1}{R_n} \cdot \Delta T_n \end{aligned}$$

→ weil stationäre Bedingungen vorliegen

$$\begin{aligned} \Delta T_2 &= 10 \cdot (R_{si} + R_1 + R_2) \\ &= 10 \cdot (0,685) \\ &= 6,8 K \end{aligned}$$

Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: Vorgehensweise

1. Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall in der Winterperiode zu rechnen ist

2. Berechnung der Tauwassermenge

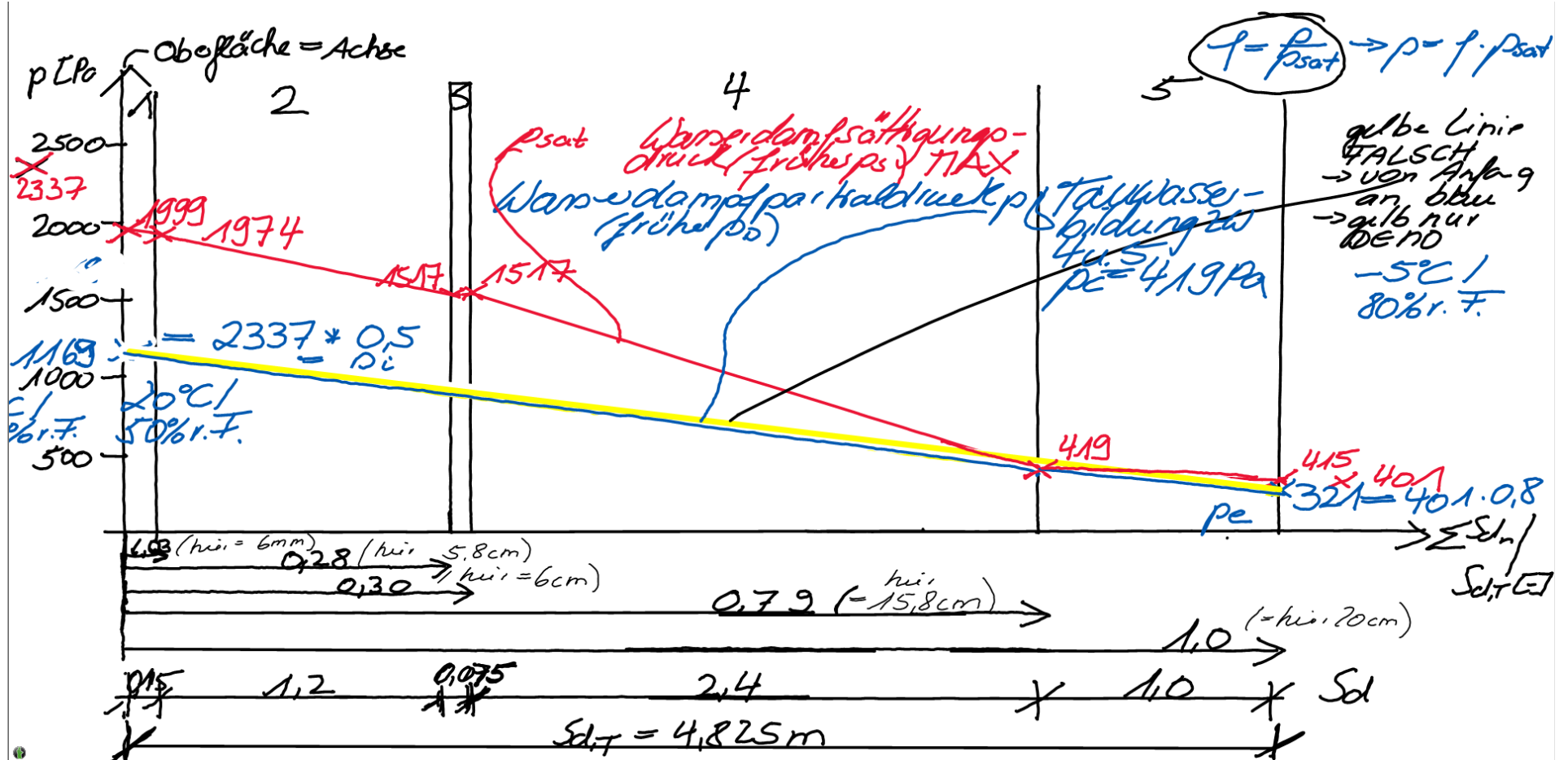
3. Berechnung der Verdunstungsmenge in der Sommerperiode



Überprüfung der geforderten Kriterien

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3: 2018-10

Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und
Ausführung



Berechnungsbeispiel 1

- Für die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ ist der für die Tauperiode ungünstigere Wert zu verwenden; dieser ist auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten.
(s. Hinweis mit Verweis auf DIN 4108-3)

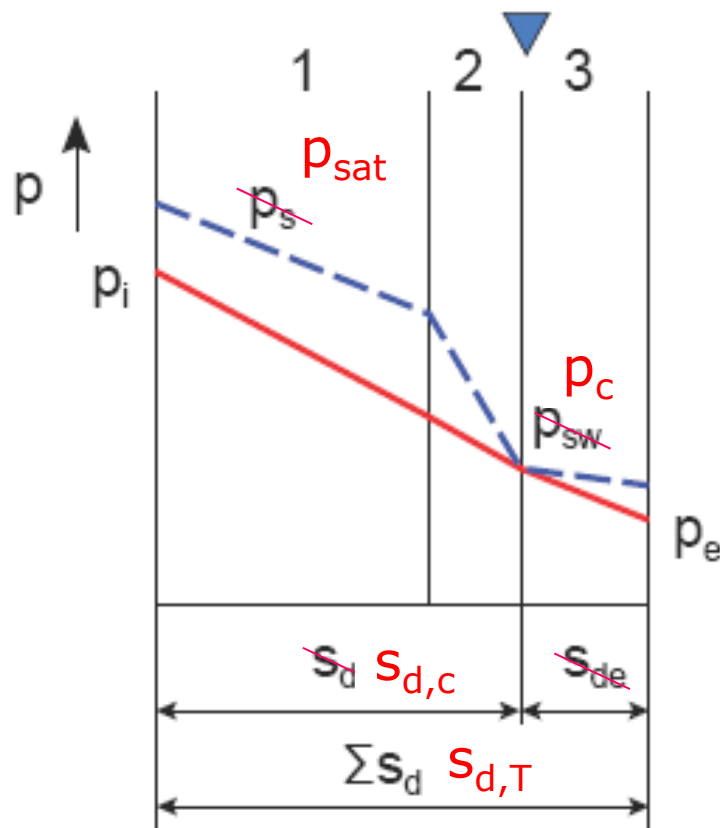
innen

- Gipsputz: **10**
- Hochlochziegel: **5** oder 10?
- Zementmörtel: **15** oder 35?
- Wärmedämmung: **40** oder 200?
- Kunstharzputz: 50 oder **200**?

außen

Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: Vorgehensweise

1. Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall in der Winterperiode zu rechnen ist



„Berechnung“

1. Temperatur θ an den Schichtgrenzen
2. Sättigungsdampfdrücke ~~p_s~~ p_{sat} an den Schichtgrenzen
3. Wasserdampfpartialdrücke p_i und p_e an den Oberflächen
4. S_d -Wert der einzelnen Schichten

Grafische Auswertung

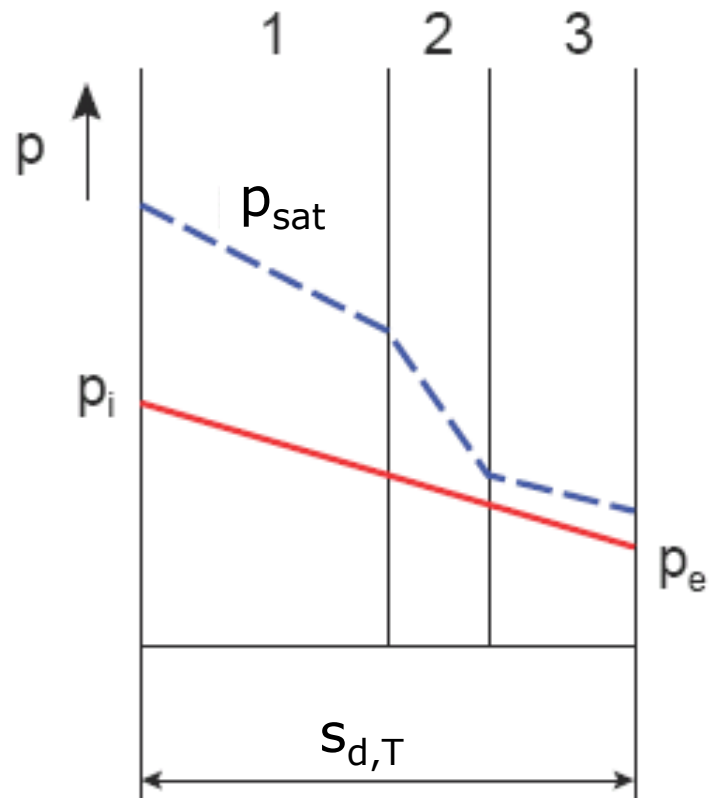
1. Wasserdampfsättigungskurve ~~p_s~~ p_{sat} über der wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicke ~~s_d~~ $s_d/s_{d,T}$ auftragen.
2. Kurve des Wasserdampfpartialdrucks p konstruieren; „Methode des gespannten Seiles“ – Bestimmung der Tauwasserbereiche

Anmerkung: Neue Bezeichnungen sind rot dargestellt, alte Bezeichnungen durchgestrichen

Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: mögliche Fälle

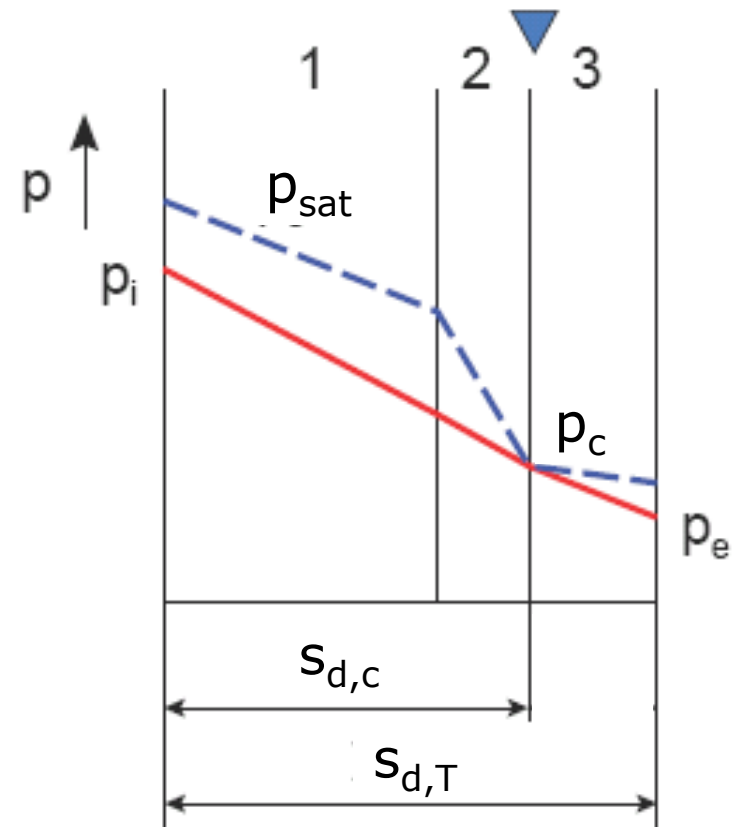
Mögliche Ergebnisse der grafischen Auswertung

Fall a



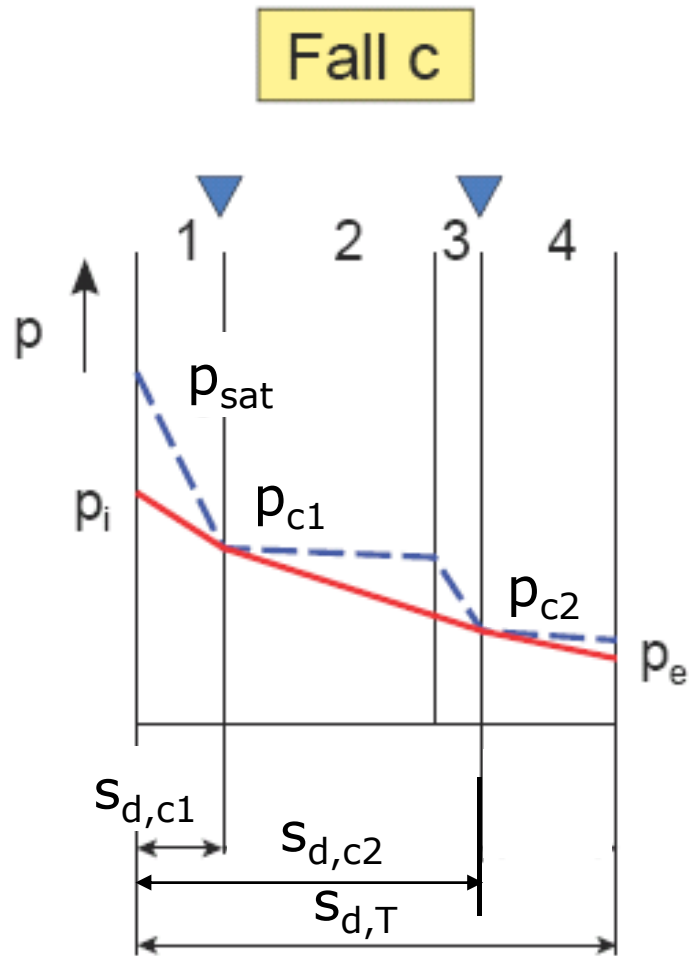
kein Tauwasserausfall

Fall b

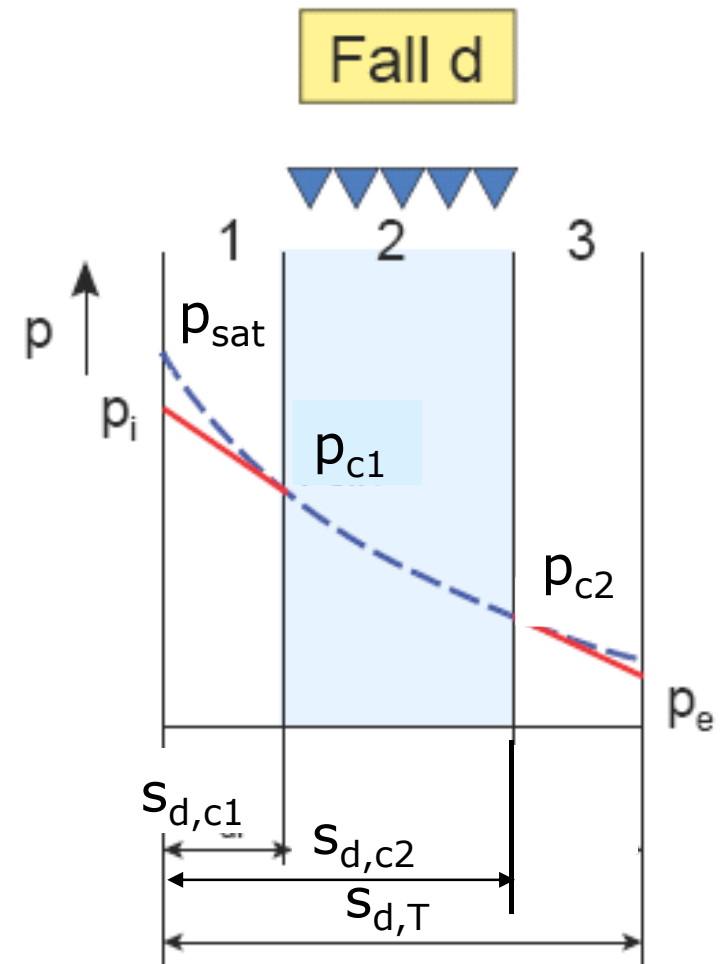


**Tauwasserausfall
in einer Ebene**

Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: mögliche Fälle



**Tauwasserausfall
in zwei Ebenen**



**Tauwasserausfall
in einem Bereich**

Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: Vorgehensweise

1. Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall in der Winterperiode zu rechnen ist

2. Berechnung der Tauwassermenge

3. Berechnung der Verdunstungsmenge in der Sommerperiode

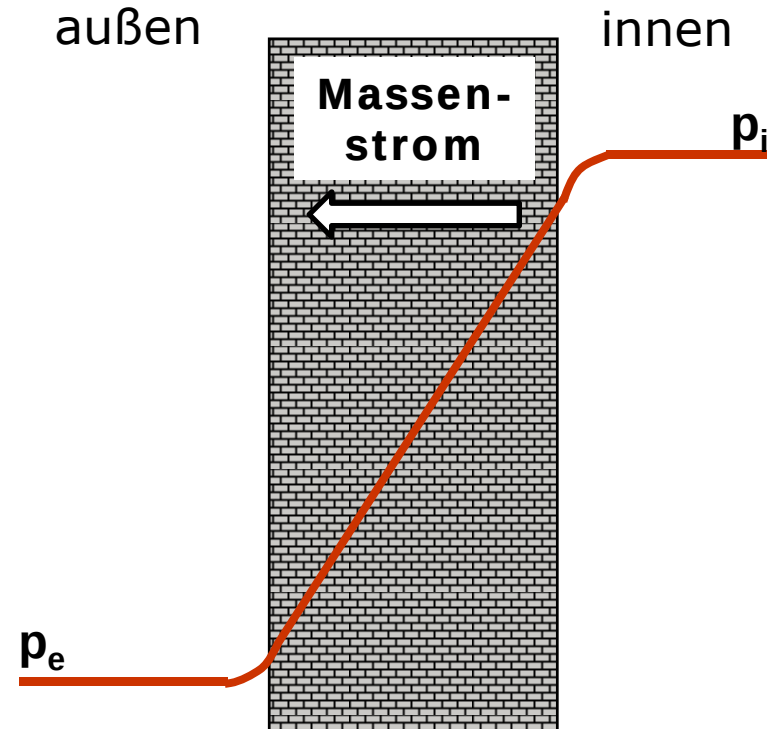
Überprüfung der geforderten Kriterien

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3: **2018-10**

Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und
Ausführung

Wasserdampfdiffusionsstromdichte

$$g = \delta_0 \frac{(p_i - p_e)}{s_d}$$



g Dampfstromdichte [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

$p_{i/e}$ Partialdrücke der Innen-
bzw. Außenluft [Pa]

δ_0 Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient
in ruhender Luft: $\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

Dampfdiffusion

$$g = \frac{(p_i - p_e)}{Z}$$

g Dampfstromdichte [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

$p_{i/e}$ Partialdrücke der Innen-
bzw. Außenluft [Pa]

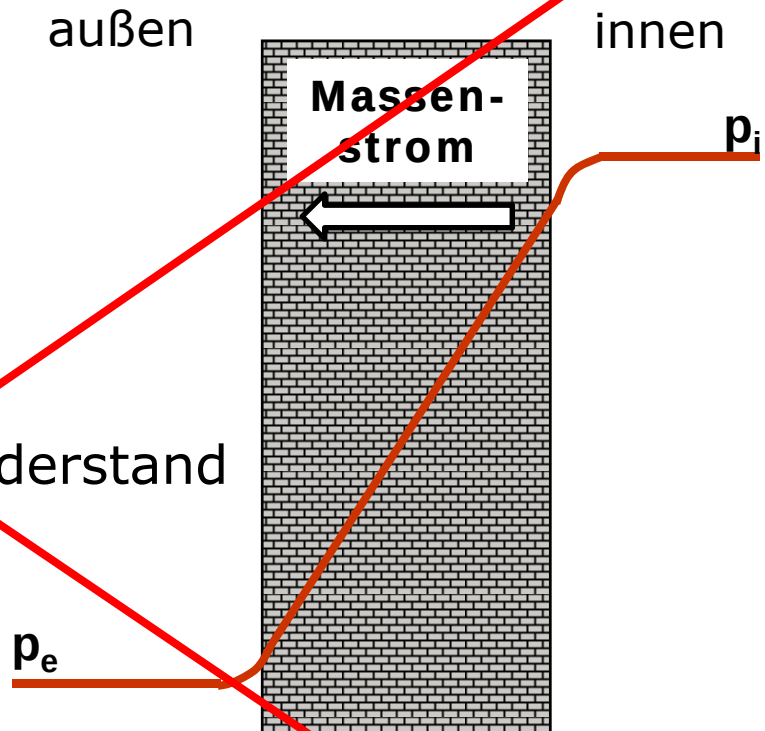
Z Wasserdampfdiffusionsdurchlasswiderstand
eines Baustoffs [$\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$]

$$\text{mit: } Z = 1,5 \times 10^6 \times \mu \times d$$

d_M Dicke des Bauteils [m]

μ_M Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl [-]

Dampfdiffusion



Tauwasserausfall in einer Ebene des Bauteils

Diffusionsstromdichte zur Tauwasserebene

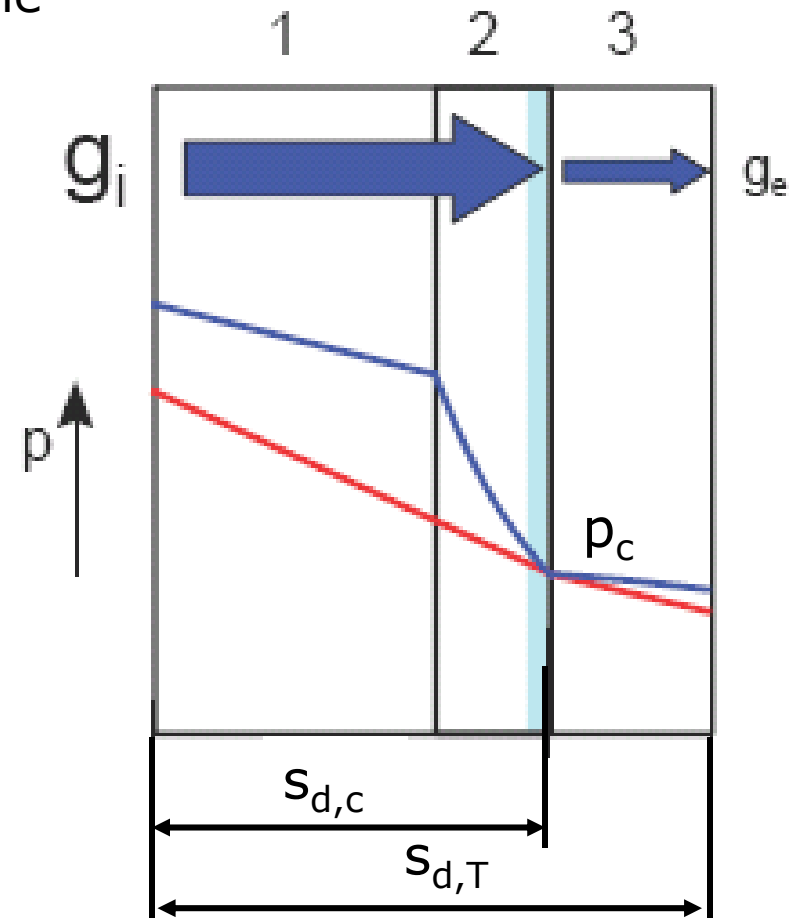
$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s_{d,T} - s_{d,c}} \right)$$

g_i
Diffusions-
stromdichte
vom Innen-
raum zur
Tauwasser-
ebene

g_e
Diffusions-
stromdichte
von der
Tauwasser-
ebene nach
außen

Tauwassermasse in der Tauwasserebene

$$M_c = g_c \times t_c$$



Diffusionsberechnungen

Tauwasserausfall in einer Ebene des Bauteils

Diffusionsstromdichte von der raumseitigen Bauteiloberfläche bis zur Tauwasserebene

$$g_i = \frac{p_i - p_{sw}}{Z_i}$$

$$\text{mit } Z_i = 1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{di}$$

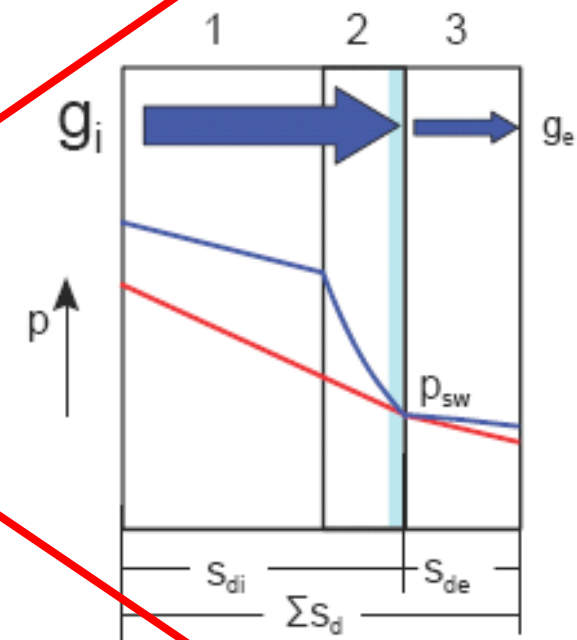
Diffusionsstromdichte von der Tauwasserebene bis zur außenliegenden Bauteiloberfläche

$$g_e = \frac{p_{sw} - p_e}{Z_e}$$

$$\text{mit } Z_e = 1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{de}$$

Während der Tauperiode in der Ebene ausfallende Tauwassermenge

$$m_{wT} = t_T \cdot (g_i - g_e) \quad \text{in kg/m}^2$$



Berechnung der Tauwärmemenge im Winter (= Tauperiode)

$$\text{Diffusionsstromdichte } g_c = \delta_0 \cdot \left(\underbrace{\frac{p_i - p_c}{S_{d,c}}}_{g_c} - \underbrace{\frac{p_c - p_e}{(S_{d,T} - S_{d,c})}}_{g_e} \right)$$

mit:

$$\delta_0 = 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$$

$$p_i = p_{si} \cdot f = 2337 \cdot 0,5 = 1169 \text{ Pa}$$

$$p_e = p_{se} \cdot f = 401 \cdot 0,8 = 321 \text{ Pa}$$

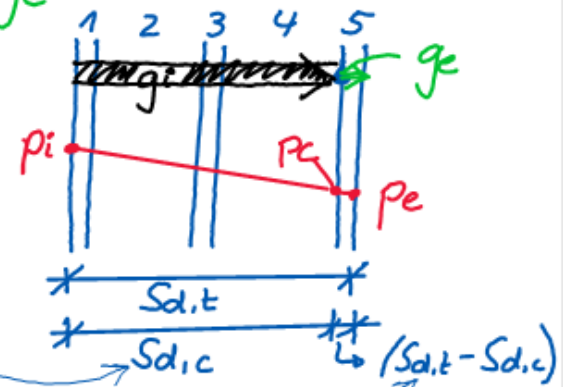
$$p_c = 419 \text{ Pa (aus Diagramm)}$$

$$S_{d,T} = 4,825 \text{ m (aus Diagramm)}$$

$$S_{d,c} = S_{d,1} + S_{d,2} + S_{d,3} + S_{d,4} = 3,825 \text{ m}$$

$$(S_{d,T} - S_{d,c}) = 1,0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow g_c &= 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}} \cdot \left(\frac{1169 \text{ Pa} - 419 \text{ Pa}}{3,825 \text{ m}} - \frac{419 \text{ Pa} - 321 \text{ Pa}}{(4,825 - 3,825) \text{ m}} \right) \\ &= 1,96 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_c &= g_c \cdot t_c \\ &= 1,96 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot 7776 \cdot 10^3 \text{ s} \\ &= 0,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \text{ --- fällt in die Tauperiode} \\ &< 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \Rightarrow \text{Anforderung 2. bzw. 3. nach} \\ &\quad \text{Norm erfüllt} \end{aligned}$$

Berechnungsbeispiel 1

- Für die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ ist der für die Tauperiode ungünstigere Wert zu verwenden; dieser ist auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten.
(s. Hinweis mit Verweis auf DIN 4108-3)

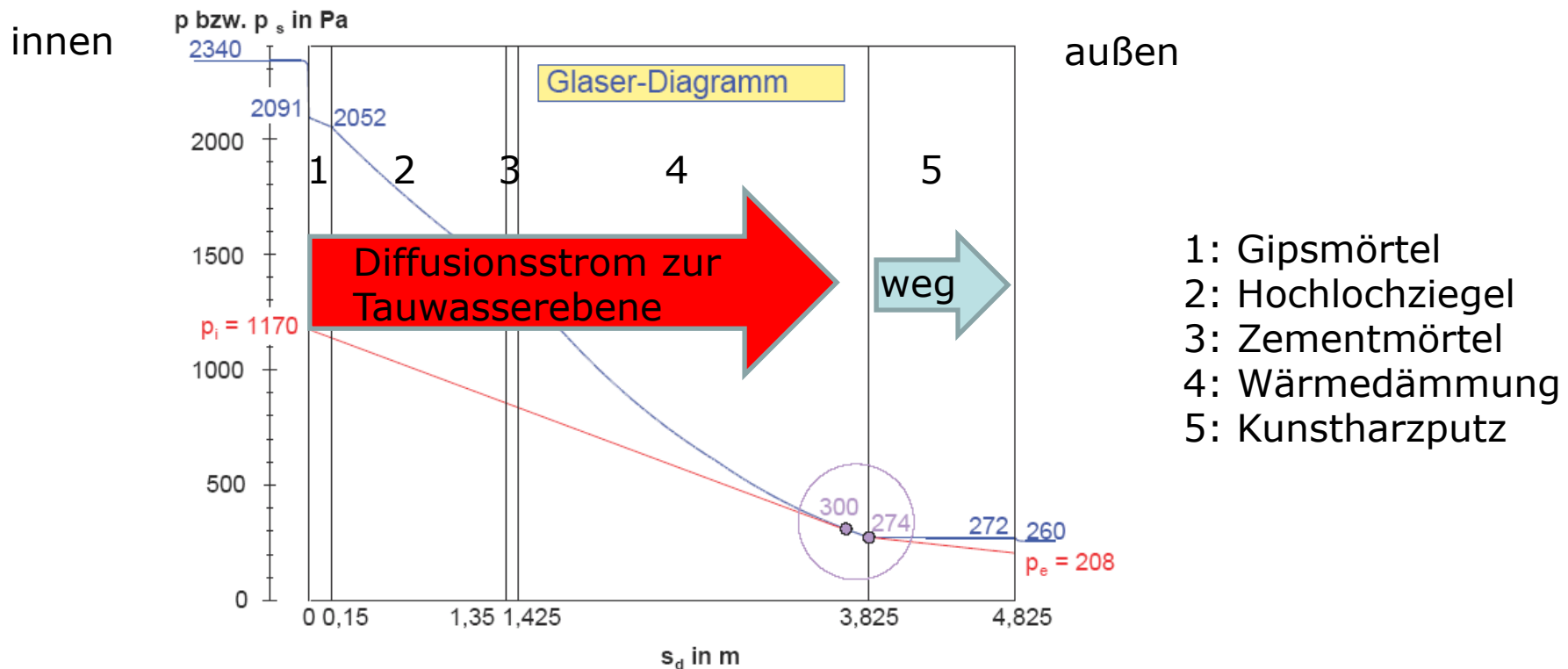
innen

- Gipsputz: **10**
- Hochlochziegel: **5** oder 10?
- Zementmörtel: **15** oder 35?
- Wärmedämmung: **40** oder 200?
- Kunstharzputz: 50 oder **200**?

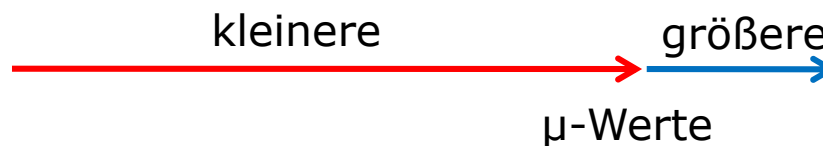
außen

Berechnungsbeispiel 1

- Für die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ ist der für die Tauperiode **ungünstigere** Wert zu verwenden; dieser ist auch für die Verdunstungsperiode beizubehalten. (s. Hinweis)



Was sind ungünstige μ -Werte?



Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: Vorgehensweise

1. Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall in der Winterperiode zu rechnen ist
2. Berechnung der Tauwassermenge
3. **Berechnung der Verdunstungsmenge in der Sommerperiode**



Überprüfung der geforderten Kriterien

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3: **2018-10**

Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und
Ausführung

Randbedingungen: Klima

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						
Wasserdampfdruck Innenklima			1 200	90	2 160	$7\,776 \cdot 10^3$
Wasserdampfdruck Außenklima			1 200			
Sättigungsdampfdruck im Tauwasserbereich:			1 700			
— Wände, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen; Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen						
— Dächer, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen			2 000			

^a In der Verdunstungsperiode werden im Rahmen des Perioden-Bilanzverfahrens nicht die Temperaturen und Luftfeuchten, sondern nur die gerundeten Wasserdampfdrucke als Klima-Randbedingung vorgegeben.

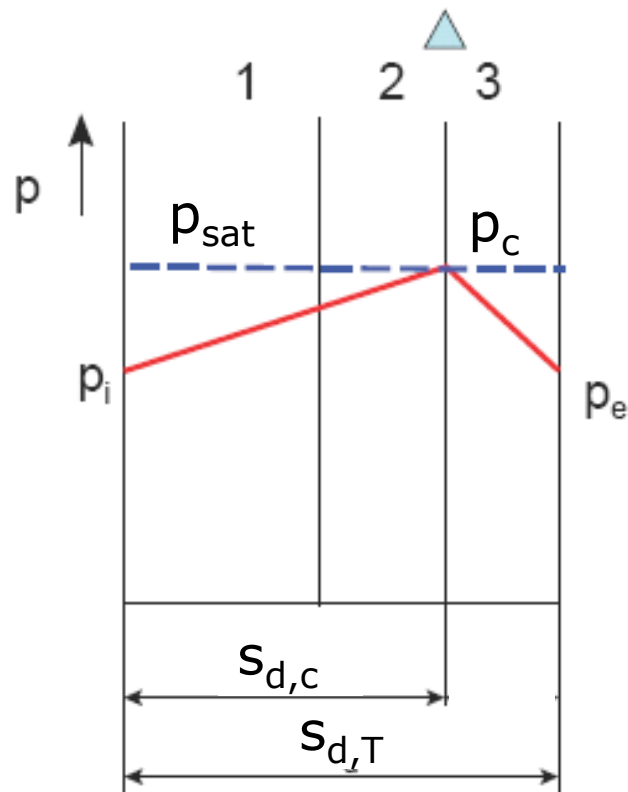
[DIN 4108-3:2018]

Standard-Klimabedingungen

Tabelle A.1 — Vereinfachte Klimabedingungen

Zeile	Klima	Temperatur	Relative Luftfeuchte	Dauer	
		θ °C	ϕ %	n	d
1	Tauperiode				
1.1	Außenklima ^a	− 10	80	1 440	60
1.2	Innenklima	20	50		
2	Verdunstungsperiode				
2.1	Wandbauteile und Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen				
2.1.1	Außenklima	12	70	2 160	90
2.1.2	Innenklima				
2.1.3	Klima im Tauwasserbereich		100		
2.2	Dächer, die Aufenthaltsräume gegen die Außenluft abschließen ^b				
2.2.1	Außenklima	12	70	2 160	90
2.2.2	Temperatur der Dachoberfläche	20	—		
2.2.3	Innenklima	12	70		
^a Gilt auch für nicht beheizte, belüftete Nebenräume, z. B. belüftete Dachräume, Garagen.					
^b Vereinfachend können bei diesen Dächern auch die Klimabedingungen für Bauteile der Zeile 2.1 zu Grunde gelegt werden.					

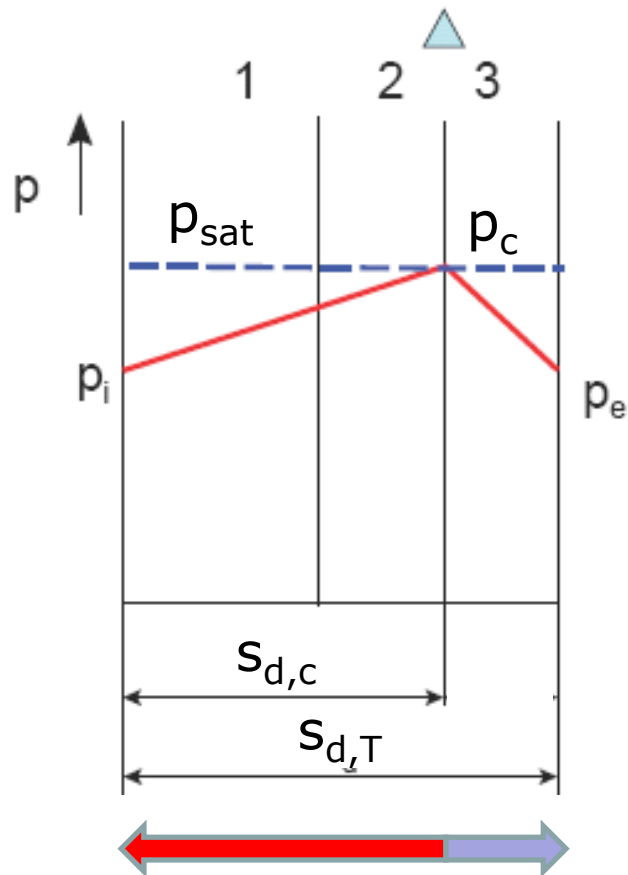
3. Berechnung der Verdunstungswassermenge in der Sommerperiode



1. Wasserdampfpartial-drücke p_c an den Schicht(en)/-grenzen zum Tauwasserbereich (entsprechend Klima)
2. Wasserdampfpartialdrücke an den Oberflächen (entsprechend Klima)
3. Herauslesen der s_d -Werte (vgl. Tauperiode)
4. Bestimmung der Verdunstungsmenge

Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: Vorgehensweise

Verdunstungswassermenge aus einer Ebene des Bauteils (Fall b)



Diffusionsstromdichte aus der Tauwasserebene

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



Tauwassermasse aus der Tauwasserebene

$$M_{\text{ev}} = g_{\text{ev}} \times t_{\text{ev}}$$

Tauwasserausfall in einer Ebene,
z. B. zwischen den Schichten 2 und 3

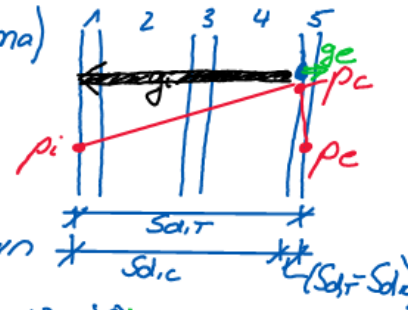
Berechnung der Verdunstungswarmemenge im Sommer
(= Verdunstungsperiode)

$$p_i = 1200 \text{ Pa}, p_e = 1200 \text{ Pa}, p_c = 1700 \text{ Pa (vgl. Normklima)}$$

$$S_{d,c} = 3,825 \text{ m}; (S_{d,r} - S_{d,c}) = 1 \text{ m}$$

$$g_{ev} = \delta_0 \cdot \left(\underbrace{\frac{p_c - p_i}{S_{d,c}}}_{g_i} + \underbrace{\frac{p_c - p_e}{(S_{d,r} - S_{d,c})}}_{g_e} \right)$$

von d. Tau-
warneebene
Austrocknung
in beide Richtungen



$$= 2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}} \cdot \left(\frac{1700 - 1200}{3,825} + \frac{1700 - 1200}{1,0} \right)$$

$$= 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$M_{ev} = g_{ev} \cdot t_{ev} = 1,26 \cdot 10^{-7} \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \cdot 7776 \cdot 10^3 \text{ s} = 0,98 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

→ trocknet im Sommer aus

$$M_c < M_{ev}$$

$$\left(0,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) \quad \left(0,98 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$$



Äquivalentes Perioden-Bilanzverfahren: Vorgehensweise

1. Überprüfung, ob mit Tauwasserausfall in der Winterperiode zu rechnen ist
2. Berechnung der Tauwassermenge
3. Berechnung der Verdunstungsmenge in der Sommerperiode



Überprüfung der geforderten Kriterien

Klimabedingter Feuchteschutz nach DIN 4108-3: 2018-10

Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und
Ausführung

Anforderungen nach DIN 4108-3

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

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

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

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

Anforderungen nach DIN 4108-3

Anforderungen:

Nach DIN 4108 müssen nachweispflichtige Bauteile folgende Anforderungen an den Tauwasserschutz erfüllen:

1. Die während der Tauperiode anfallende Tauwassermenge M_c darf nicht größer als die Verdunstungsmenge M_{ev} sein.
2. Bei Dach- und Wandkonstruktionen muss gelten:
$$M_c \leq 1 \text{ kg/m}^2$$
3. An Berührungsflächen von kapillar nicht wasseraufnahmefähigen Schichten, $M_c \leq 0,5 \text{ kg/m}^2$
4. Die Baustoffe, die mit dem Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht beschädigt werden (z.B. durch Korrosion, Pilzbefall).
5. Unzulässig sind folgende Erhöhungen des massebezogenen Feuchtegehaltes:
Holz um mehr als 5 %
Holzwerkstoffe um mehr als 3 %

Anforderungen nach DIN 4108-3

Vereinfachungen:

- keine Kopplung zwischen Wärme- und Feuchtetransport
- keine Feuchtespeicherung
- kein Flüssigtransport
- stationäre Randbedingungen ohne Strahlung und Niederschlag

Grenzen des Perioden-Bilanzverfahrens (ehemals Glaser-Verfahrens)

Anwendungsgrenzen (nicht erfassbar sind):

- Austrocknung von Baufeuchte
- Schlagregeneinflüsse
- Sommerkondensation
- Tauwasserbildung auf Außenbauteilen durch nächtliche Unterkühlung
- Aufsteigende Feuchte
- Feuchtepufferungseffekte
- Energetische Auswirkungen der Feuchte

→ Das Perioden-Bilanzverfahren liefert dann zutreffende Ergebnisse, wenn der Feuchtetransport maßgeblich nur durch Dampfdiffusion erfolgt.