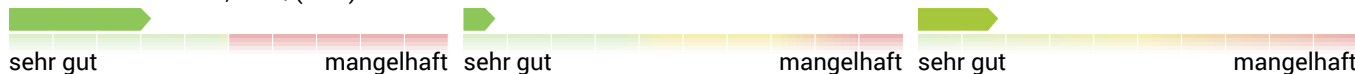


## Wärmeschutz

$U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

EnEV Bestand\*:  $U < 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



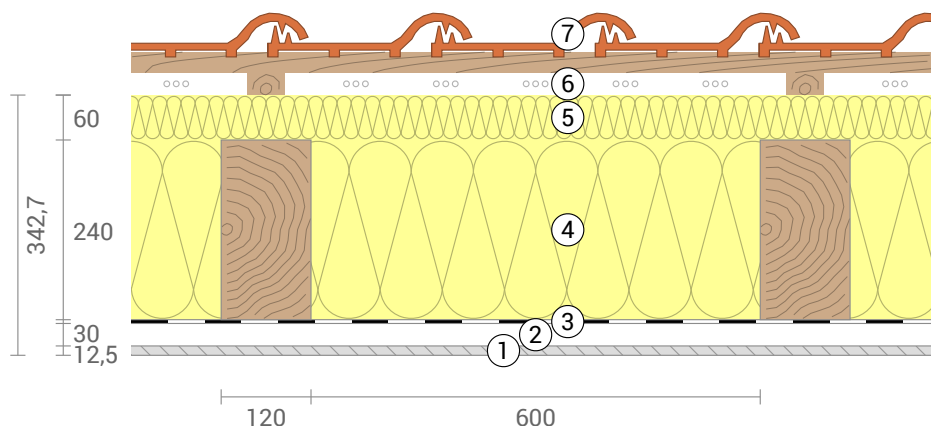
## Feuchteschutz

Trocknungsreserve: 2545 g/m<sup>2</sup>a  
Kein Tauwasser



## Hitzeschutz

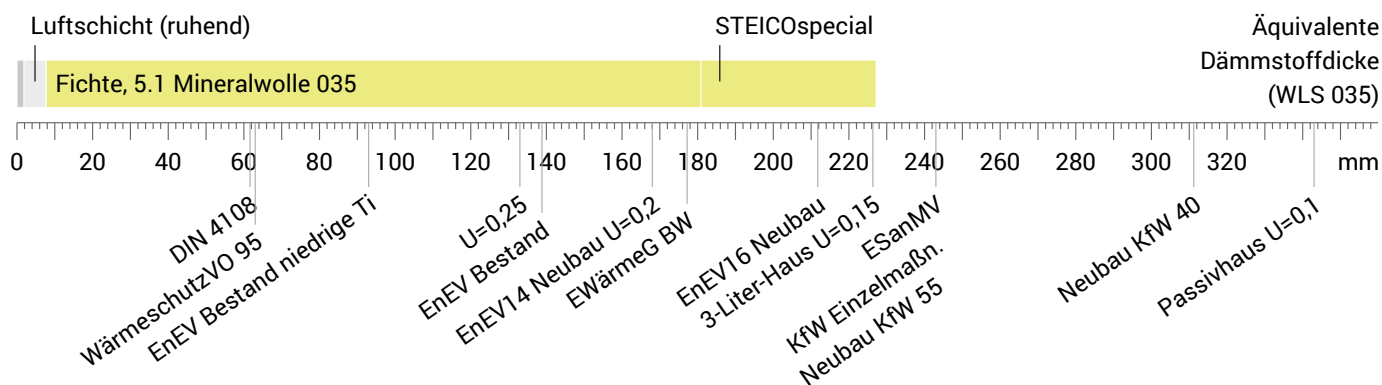
Temperaturamplitudendämpfung: 10  
Phasenverschiebung: 10,5 h  
Wärmekapazität innen: 32 kJ/m<sup>2</sup>K



- |                                   |                                 |                            |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| ① 3.4 Gipskartonplatten (12,5 mm) | ④ 5.1 Mineralwolle 035 (240 mm) | ⑦ Falzziegel inkl. Lattung |
| ② Luftschicht (30 mm)             | ⑤ STEICOspecial (60 mm)         |                            |
| ③ Dampfbremsfolie sd=2m           | ⑥ Hinterlüftung                 |                            |

## Dämmwirkung einzelner Schichten und Vergleich mit Richtwerten

Für die folgende Abbildung wurden die Wärmedurchgangswiderstände (d.h. die Dämmwirkung) der einzelnen Schichten in Millimeter Dämmstoff umgerechnet. Die Skala bezieht sich auf einen Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeit 0,035 W/mK.



Raumluft: 20,0°C / 50%		Dicke: 47,6 cm
Außenluft: -5,0°C / 80%	sd-Wert: 3,0 m	Gewicht: 97 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächentemp.: 18,5°C / -4,9°C	Trocknungsreserve: 2545 g/m <sup>2</sup> a	Wärmekapazität: 72 kJ/m <sup>2</sup> K

☒ EnEV Bestand    ☐ ESanMV    ☒ EnEV16 Neubau    ☒ EnEV14 Neubau

## U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (R <sub>si</sub> )			0,100
1	3.4 Gipskartonplatten	1,25	0,250	0,050
2	Luftschicht (ruhend)	3,00	0,188	0,160
3	Dampfbremsfolie sd=2m	0,02	0,330	0,001
4	5.1 Mineralwolle 035	24,00	0,035	6,857
	Fichte (17%)	24,00	0,130	1,846
5	STEICOspecial	6,00	0,048	1,250
	Wärmeübergangswiderstand außen (R <sub>se</sub> )			0,100
	Gesamtes Bauteil	47,57		

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

R<sub>si</sub>: Wärmestromrichtung aufwärts

R<sub>se</sub>: Wärmestromrichtung aufwärts, außen: Hinterlüftete Dachhaut

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot};\text{upper}} = 6,879 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot};\text{lower}} = 6,382 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

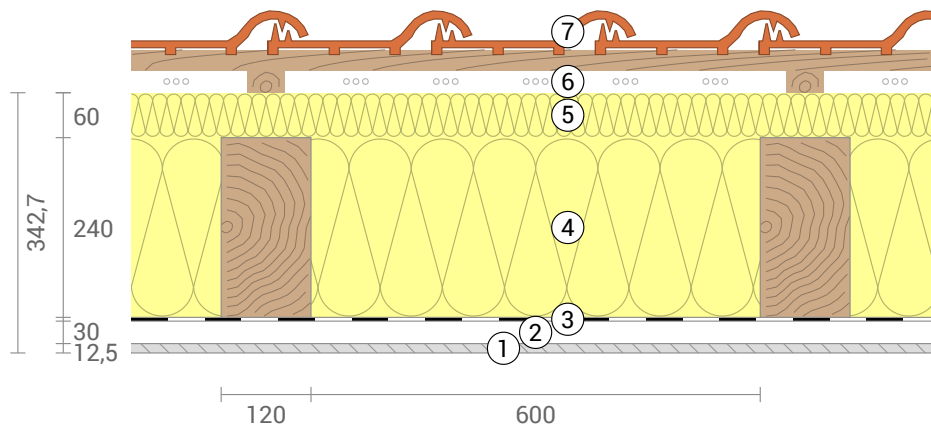
Prüfe Anwendbarkeit:  $R_{\text{tot};\text{upper}} / R_{\text{tot};\text{lower}} = 1,078$  (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

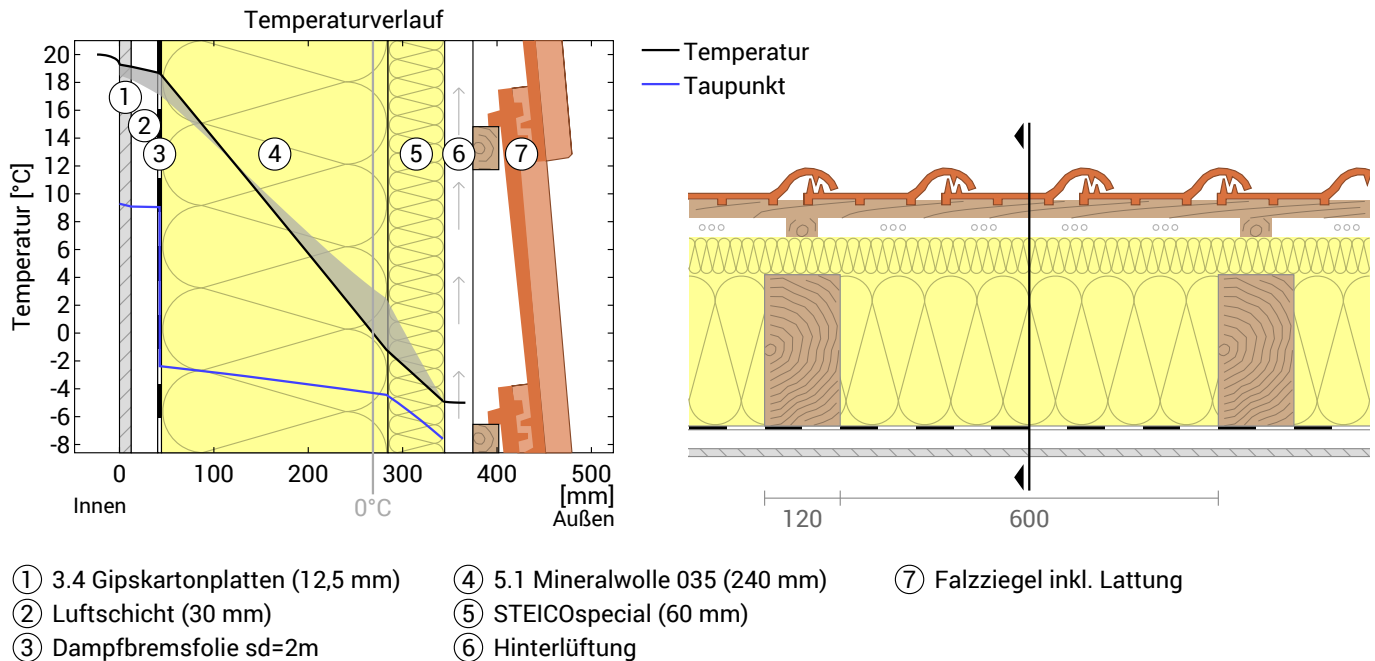
Wärmedurchgangswiderstand  $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot};\text{upper}} + R_{\text{tot};\text{lower}})/2 = 6,631 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 3,8%

Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



## Temperaturverlauf



**Links:** Verlauf von Temperatur und Taupunkt an der in der rechten Abbildung markierten Stelle. Der Taupunkt kennzeichnet die Temperatur, bei der Wasserdampf kondensieren und Tauwasser entstehen würde. Solange die Temperatur des Bauteils an jeder Stelle über der Taupunkttemperatur liegt, entsteht kein Tauwasser. Falls sich die beiden Kurven berühren, fällt an den Berührungspunkten Tauwasser aus.

**Rechts:** Maßstäbliche Zeichnung des Bauteils.

## Schichten (von innen nach außen)

#	Material	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
				min	max	
	Wärmeübergangswiderstand*		0,250	18,5	20,0	
1	1,25 cm 3.4 Gipskartonplatten	0,250	0,050	18,2	19,3	10,0
2	3 cm Luftschicht (ruhend)	0,188	0,160	17,1	19,1	0,0
3	0,02 cm Dampfbremsfolie $s_d=2\text{m}$	0,330	0,001	17,1	18,7	0,2
4	24 cm 5.1 Mineralwolle 035	0,035	6,857	-1,2	18,7	3,0
	24 cm Fichte (17%)	0,130	1,846	2,1	17,6	18,0
5	6 cm STEICOspecial	0,048	1,250	-4,9	2,5	14,4
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,8	
6	Hinterlüftung (Außenluft)			-5,0	-5,0	0,0
7	Falzziegel inkl. Lattung			-5,0	-5,0	51,5
47,57 cm Gesamtes Bauteil			6,677			97,1

\*Wärmeübergangswiderstände gemäß DIN 4108-3 für Feuchteschutz und Temperaturverlauf. Die Werte für die U-Wert-Berechnung finden Sie auf der Seite 'U-Wert-Berechnung'.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 18,5°C 19,1°C 19,3°C  
Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,9°C -4,9°C -4,8°C

## Feuchteschutz

Für die Berechnung der Tauwassermenge wurde das Bauteil 90 Tage lang dem folgenden konstanten Klima ausgesetzt:  
innen:  $20^\circ\text{C}$  und 50% Luftfeuchtigkeit; außen:  $-5^\circ\text{C}$  und 80% Luftfeuchtigkeit. Dieses Klima entspricht DIN 4108-3.

Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

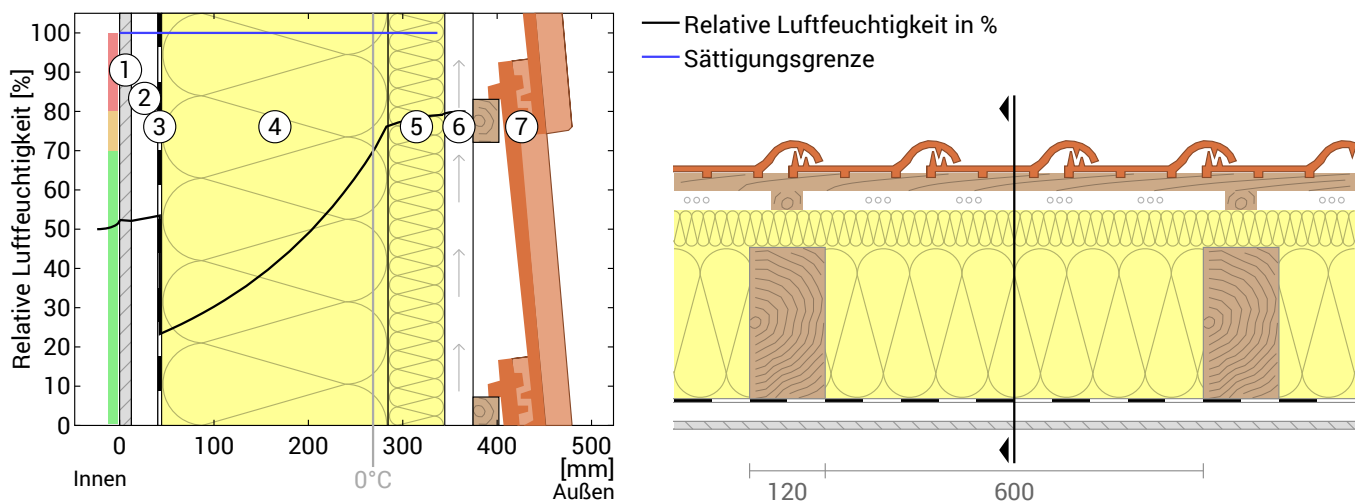
Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2001:  $2545 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$   
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert:  $250 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m <sup>2</sup> ] [Gew.-%]	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
1	1,25 cm 3.4 Gipskartonplatten	0,05	-	10,0
2	3 cm Luftschicht (ruhend)	0,01	-	0,0
3	0,02 cm Dampfbremsfolie sd=2m	2,00	-	0,2
4	24 cm 5.1 Mineralwolle 035	0,24	-	3,0
	24 cm Fichte (17%)	12,00	-	18,0
5	6 cm STEICOspecial	0,30	-	14,4
	47,57 cm Gesamtes Bauteil	2,96		97,1

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur der Wandinnenseite beträgt  $18,5^\circ\text{C}$  was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 55% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



- ① 3.4 Gipskartonplatten (12,5 mm)      ④ 5.1 Mineralwolle 035 (240 mm)      ⑦ Falzziegel inkl. Lattung
- ② Luftschicht (30 mm)      ⑤ STEICOspecial (60 mm)
- ③ Dampfbremsfolie sd=2m      ⑥ Hinterlüftung

Hinweise: Berechnung mittels Ubakus 2D-FE Verfahren. Konvektion und die Kapillarität der Baustoffe wurden nicht berücksichtigt. Die Trocknungsdauer kann unter ungünstigen Bedingungen (Beschattung, feuchte/kühle Sommer) länger dauern als hier berechnet.

## Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2018 Anhang A

Dieser Feuchteschutznachweis ist nur bei **nicht klimatisierten** Wohn- oder wohnähnlich genutzten Gebäuden gültig.

Bei Dachkonstruktionen mit **Plattenbelägen und Holzrosten** darf diese Norm nicht angewendet werden. Ob diese Konstruktion darunter fällt, ist vom Planer zu prüfen.

Bitte beachten Sie die Hinweise am Ende dieser Feuchteschutzberechnungen.

#	Material	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	sd [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	T [°C]	ps [Pa]	$\Sigma sd$ [m]
Wärmeübergangswiderstand			0,250					
1	1,25 cm 3.4 Gipskartonplatten	0,250	0,050	0,05	800	19,27	2235	0
2	3 cm Luftschicht (ruhend)	0,188	0,160	0,01	1	19,13	2214	0,05
3	0,02 cm Dampfbremsfolie sd=2m	0,330	0,001	2	920	18,66	2151	0,06
4	24 cm 5.1 Mineralwolle 035	0,035	6,857	0,24	15	18,66	2151	2,06
5	6 cm STEICOspecial	0,048	1,250	0,3	240	-1,25	551	2,3
Wärmeübergangswiderstand			0,040			-4,88	405	2,6

Temperatur (T), Dampfsättigungsdruck (ps) und die Summe der sd-Werte ( $\Sigma sd$ ) gelten jeweils an den Schichtgrenzen.

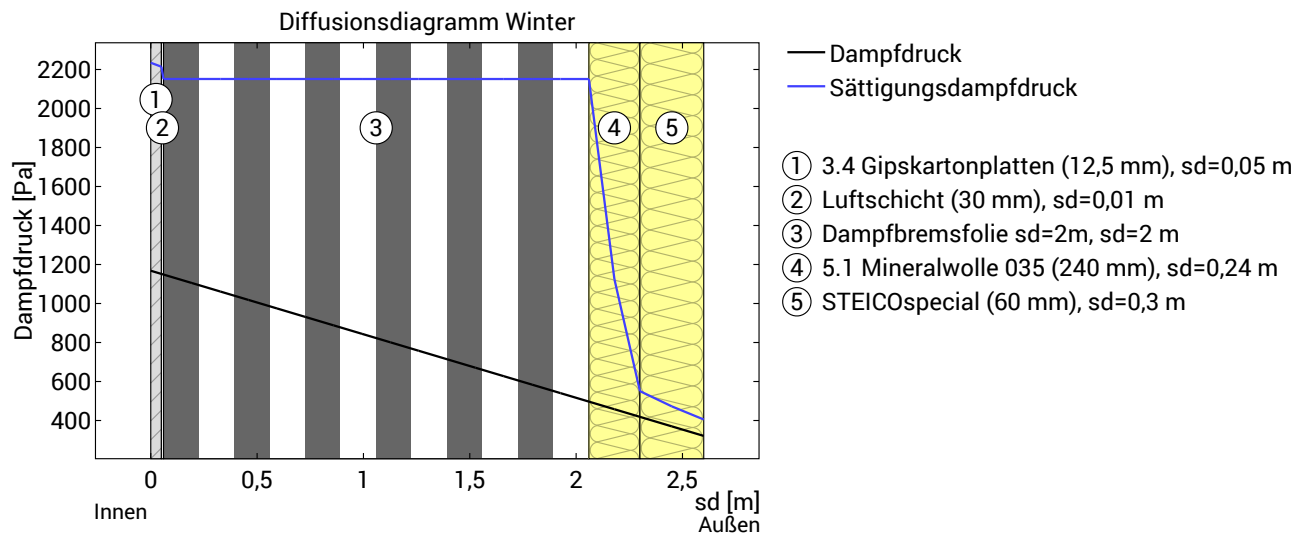
### Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche

Die relative Luftfeuchtigkeit auf der raumseitigen Bauteiloberfläche beträgt 52%. Anforderungen zur Vermeidung von Baustoffkorrosion hängen von Material und Beschichtung ab und wurden nicht untersucht.



### Tauperiode (Winter)

Randbedingungen	
Dampfdruck innen bei 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit	$p_i = 1168 \text{ Pa}$
Dampfdruck außen bei -5°C und 80% Luftfeuchtigkeit	$p_e = 321 \text{ Pa}$
Dauer Tauperiode (90 Tage)	$t_c = 7776000 \text{ s}$
Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in ruhender Luft	$\delta_0 = 2.0 \text{ E-}10 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
sd-Wert (gesamtes Bauteil)	$s_{de} = 2,60 \text{ m}$



Unter den angenommenen Bedingungen ist der untersuchte Querschnitt frei von Tauwasserbildung im Bauteilinneren.



Berechne Verdunstungspotential für die Trocknungsreserve in der Tauperiode für die Ebene mit dem geringsten

Verdunstungspotential:

$s_d=2,30 \text{ m}$ ;  $x=28,27 \text{ cm}$ ;  $p_s=551 \text{ Pa}$ :

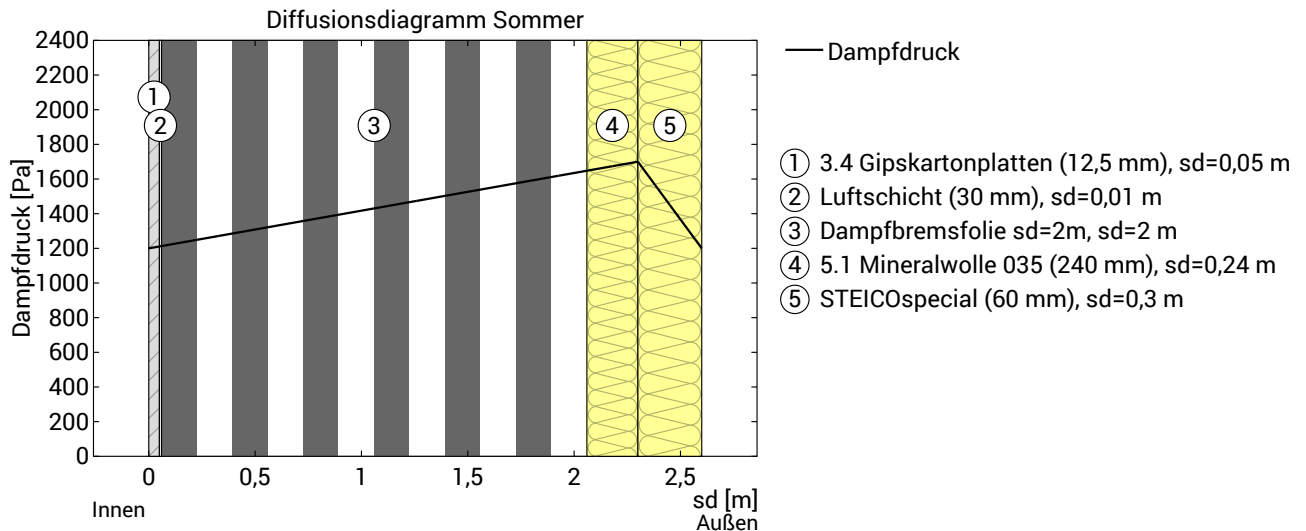
Schichtgrenze zwischen 5.1 Mineralwolle 035 und STEICOspecial

$$M_{ev, \text{Tauperiode}} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d_{ev}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{ev}})) = 0,773 \text{ kg/m}^2$$

## Verdunstungsperiode (Sommer)

### Randbedingungen

Dampfdruck innen	$p_i = 1200 \text{ Pa}$
Dampfdruck außen	$p_e = 1200 \text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	$p_s = 1700 \text{ Pa}$
Dauer Verdunstungsperiode (90 Tage)	$t_{ev} = 7776000 \text{ s}$
sd-Werte bleiben unverändert.	



Tauwasserfreies Bauteil: Es wird die maximal mögliche Verdunstungsmasse für die Trocknungsreserve berechnet.

Betrachtet wird die Ebene, die in der Tauperiode das geringste Verdunstungspotential aufweist bei  $s_d=2,30 \text{ m}$ ;  $x=28,27 \text{ cm}$ :

Schichtgrenze zwischen 5.1 Mineralwolle 035 und STEICOspecial

Verdunstungsmenge:  $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot [(p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_d - s_{de})] = 2,93 \text{ kg/m}^2$

## Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Verwende das Blockklima aus DIN 4108-3:2001 für die Berechnung der Trocknungsreserve. Dieses Klima wurde verwendet, als die Grenzwerte in DIN 68800-2 festgelegt wurden.

#	Material	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$s_d$ [m]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	T [°C]	$p_s$ [Pa]	$\Sigma s_d$ [m]
Wärmeübergangswiderstand			0,100					
1	1,25 cm 3.4 Gipskartonplatten	0,250	0,050	0,05	800	19,65	2287	0
2	3 cm Luftschicht (ruhend)	0,188	0,160	0,01	1	19,47	2262	0,05
3	0,02 cm Dampfbremsfolie $s_d=2\text{m}$	0,330	0,001	2	920	18,91	2183	0,06
4	24 cm 5.1 Mineralwolle 035	0,035	6,857	0,24	15	18,90	2183	2,06
5	6 cm STEICOspecial	0,048	1,250	0,3	240	-5,30	391	2,3
Wärmeübergangswiderstand			0,080			-9,72	266	2,6

Temperatur (T), Dampfsättigungsdruck ( $p_s$ ) und die Summe der  $s_d$ -Werte ( $\Sigma s_d$ ) gelten jeweils an den Schichtgrenzen.

## Tauperiode (Winter)

### Randbedingungen

Dampfdruck innen bei 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit	$p_i = 1168 \text{ Pa}$
Dampfdruck außen bei -10°C und 80% Luftfeuchtigkeit	$p_e = 208 \text{ Pa}$
Dauer Tauperiode (60 Tage)	$t_c = 5184000 \text{ s}$
Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in ruhender Luft	$\delta_0 = 1.852 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
sd-Wert (gesamtes Bauteil)	$s_{de} = 2,60 \text{ m}$

Unter den angenommenen Bedingungen ist der untersuchte Querschnitt frei von Tauwasserbildung im Bauteilinneren.

Berechne Verdunstungspotential für die Trocknungsreserve in der Tauperiode für die Ebene mit dem geringsten

Verdunstungspotential:

$s_d=2,30 \text{ m}$ ;  $x=28,27 \text{ cm}$ ;  $p_s=391 \text{ Pa}$ :

Schichtgrenze zwischen 5.1 Mineralwolle 035 und STEICOspecial

$M_{ev, \text{Tauperiode}} = t_c \cdot \delta_0 \cdot [(p_s - p_i)/s_{de} + (p_s - p_e)/(s_d - s_{de})] = 0,261 \text{ kg/m}^2$

Dachkonstruktion,  $U=0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## Verdunstungsperiode (Sommer)

### Randbedingungen

Dampfdruck innen	$p_i = 982 \text{ Pa}$
Dampfdruck außen	$p_e = 982 \text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	$p_s = 1403 \text{ Pa}$
Dauer Verdunstungsperiode (90 Tage)	$t_{ev} = 7776000 \text{ s}$
sd-Werte bleiben unverändert.	

Tauwasserfreies Bauteil: Es wird die maximal mögliche Verdunstungsmasse für die Trocknungsreserve berechnet. Betrachtet wird die Ebene, die in der Tauperiode das geringste Verdunstungspotential aufweist bei  $s_d=2,30 \text{ m}$ ;  $x=28,27 \text{ cm}$ : Schichtgrenze zwischen 5.1 Mineralwolle 035 und STEICOspecial  
Verdunstungsmenge:  $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot [(p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_{de} - s_d)] = 2,28 \text{ kg/m}^2$

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.  
Trocknungsreserve:  $M_r = (M_{ev} + M_{ev, Tauperiode}) \cdot 1000 = 2545 \text{ g/m}^2/\text{a}$   
Mindestens gefordert bei Dächern:  $250 \text{ g/m}^2/\text{a}$



## Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

### Hinweise

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 Ausnahmefällen ist die hier durchgeführte Berechnung ungültig.

DIN 4108-3 beschreibt in Abschnitt 5.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist, da kein Tauwasserrisiko besteht oder das Verfahren für die Beurteilung nicht geeignet ist. Ob das hier untersuchte Bauteil darunter ist, kann mit den vorliegenden Informationen nicht beurteilt werden.

## Hinweise

### Hinterlüftungsebene

Die Stärke der Hinterlüftungsebene beträgt 3 cm. Als Faustwert gilt: Mindestens 3 cm. Ist die Neigung der Hinterlüftungsebene kleiner als  $40^\circ$ , z.B. bei (Flach-)Dächern, muss ein größerer Wert gewählt werden. Gleiches gilt wenn Lufteintritt und Luftaustritt besonders weit auseinander liegen.

Der für die Berechnung relevante Teil Ihres Bauteils endet an der Innenseite der Hinterlüftungsebene. Weiter außen liegende Schichten müssen nicht eingegeben werden.

Balken und Träger, die die Hinterlüftungsebene durchstoßen, werden nur bis zur Innenseite der Hinterlüftungsebene berücksichtigt.

Beachten Sie: Der U-Wert-Rechner geht grundsätzlich davon aus, dass eine Hinterlüftungsebene ausreichend von Außenluft durchströmt wird. Ob dies tatsächlich der Fall ist, hängt nicht nur von der Dicke der Hinterlüftungsebene ab, sondern auch von deren Breite und Länge sowie möglichen Hindernissen am Luft Ein- und Auslass und kann vom U-Wert-Rechner nicht beurteilt werden.