

# BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech

Dachkonstruktion  
erstellt am 2.8.2022

## Wärmeschutz

$U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Neubau KfW 40\*:  $U < 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

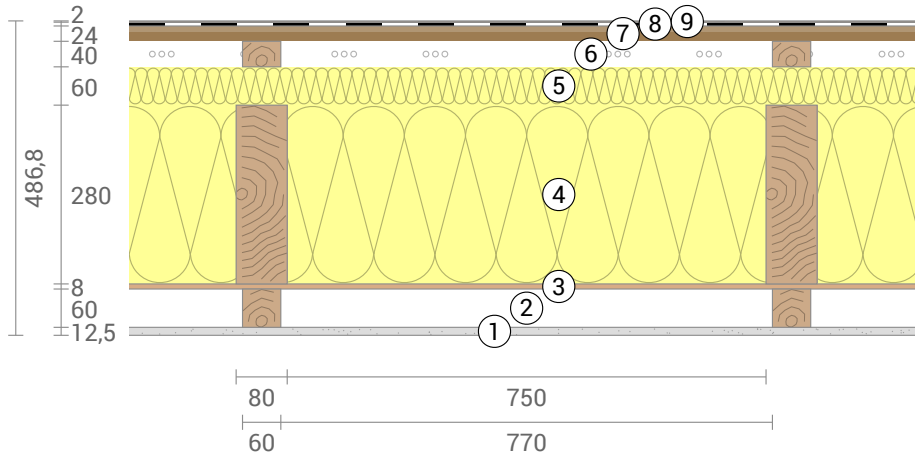


## Feuchteschutz

Trocknungsreserve: 2955 g/m<sup>2</sup>a  
Kein Tauwasser

## Hitzeschutz

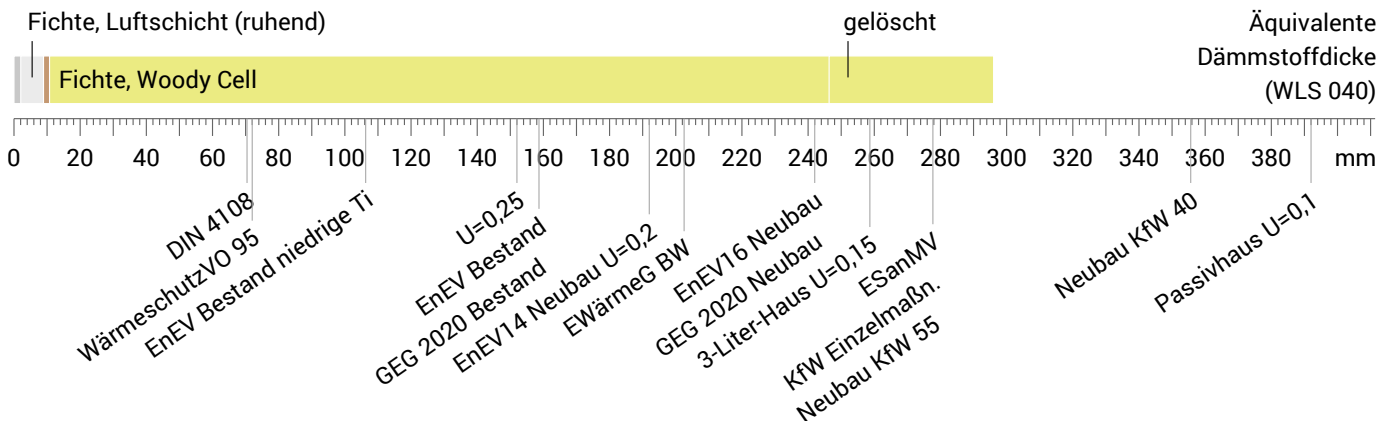
Temperaturamplitudendämpfung: 65  
Phasenverschiebung: 16,3 h  
Wärmekapazität innen: 54 kJ/m<sup>2</sup>K



- |                              |                         |   |
|------------------------------|-------------------------|---|
| ① Gipskartonplatte (12,5 mm) | ④ Woody Cell (280 mm)   | ⑦ Profilholz (24 mm)                        |
| ② Luftschicht (60 mm)        | ⑤ gelöscht (60 mm)      | ⑧ DELTA®-FOL PVG PLUS                       |
| ③ Funderplan (8 mm)          | ⑥ Hinterlüftung (40 mm) | ⑨ Blechfalzdach, Titanzink anthrazit (2 mm) |

## 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 0,040 W/mK.



Raumluft: 20,0°C / 50%	sd-Wert: 2,3 m	Dicke: 48,7 cm
Außenluft: -5,0°C / 80%	Trocknungsreserve: 2955 g/m <sup>2</sup> a	Gewicht: 82 kg/m <sup>2</sup>
Oberflächentemp.: 19,0°C / -4,9°C		Wärmekapazität: 103 kJ/m <sup>2</sup> K

Neubau KfW 40   
  BEG Einzelmaßn.   
  GEG 2020 Bestand   
  GEG 2020 Neubau

\*Vergleich des U-Werts mit 55% des U-Werts der Referenzausführung aus EnEV 2014 Anlage 1 Tabelle 1 (KfW 40 Neubau); den techn. Mindestanforderungen für BEG Einzelmaßnahmen; den Höchstwerten aus GEG 2020 Anlage 7 (GEG 2020 Bestand); 80% des U-Werts der Referenzausführung aus GEG 2020 Anlage 1 (GEG20 Neubau)

BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech,  $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

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

#	Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,100
1	Gipskartonplatte	1,25	0,250	0,050
2	Luftschicht (ruhend)	6,00	0,375	0,160
	Fichte (7,2%)	6,00	0,130	0,462
3	Funderplan	0,80	0,180	0,044
4	Woody Cell	28,00	0,040	7,000
	Fichte (9,6%)	28,00	0,130	2,154
5	gelöscht	6,00	0,050	1,200
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,100

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung aufwärts

Rse: Wärmestromrichtung aufwärts, außen: Hinterlüftungsebene

Wärmedurchlasswiderstände von ruhenden Luftschichten wurden wie folgt berechnet:

Schicht 2.1: Dicke 6 cm, Breite 77 cm, DIN EN ISO 6946 Tabelle 8, Wärmestromrichtung aufwärts

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot};\text{upper}} = 7,793 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot};\text{lower}} = 7,415 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

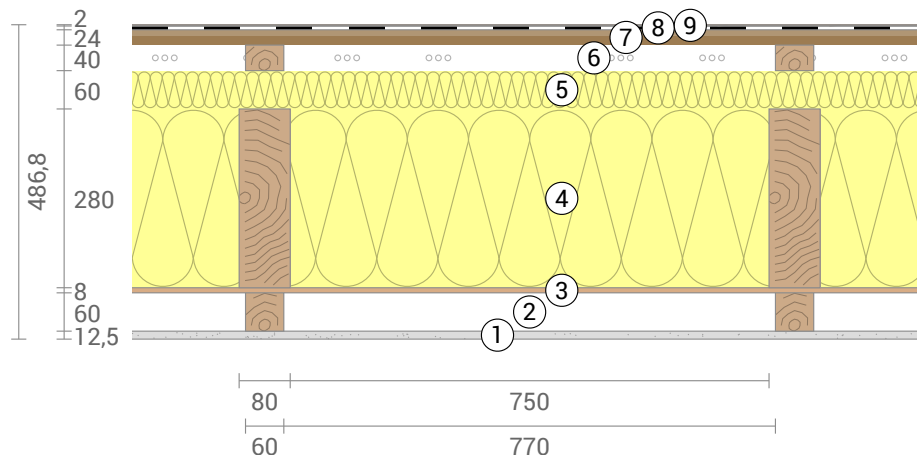
Prüfe Anwendbarkeit:  $R_{\text{tot};\text{upper}} / R_{\text{tot};\text{lower}} = 1,051$  (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand  $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot};\text{upper}} + R_{\text{tot};\text{lower}})/2 = 7,604 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

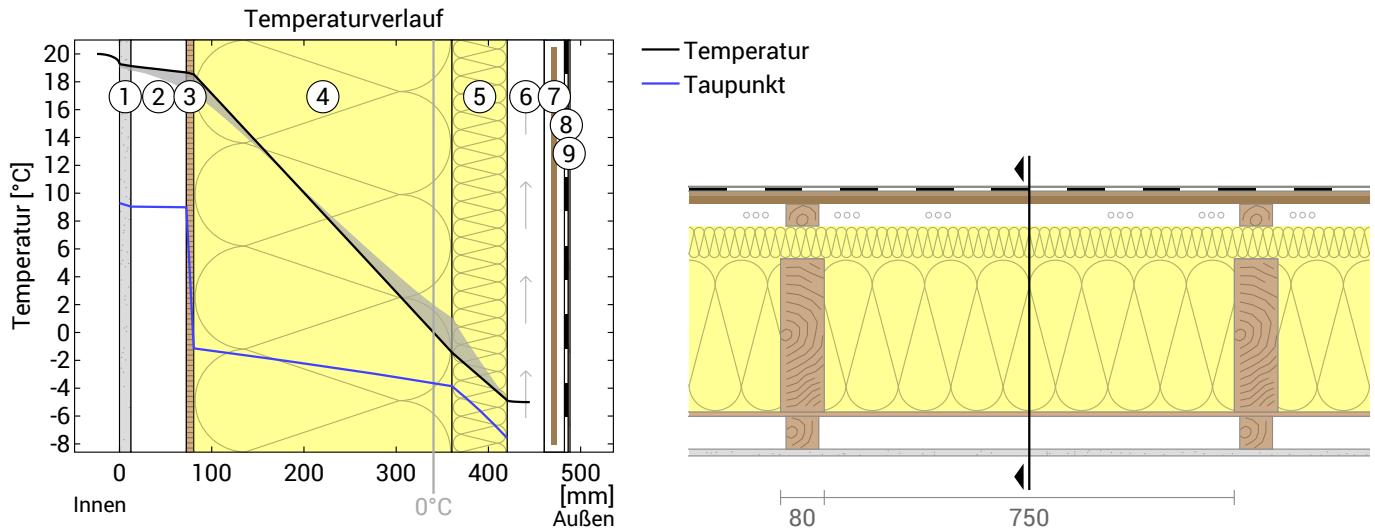
Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 2,5%

Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech, U=0,13 W/(m²K)

## Temperaturverlauf



- |                              |                         |   |
|------------------------------|-------------------------|---|
| ① Gipskartonplatte (12,5 mm) | ④ Woody Cell (280 mm)   | ⑦ Profilholz (24 mm)                    |
| ② Luftschicht (60 mm)        | ⑤ gelöscht (60 mm)      | ⑧ DELTA®-FOL PVG PLUS                   |
| ③ Funderplan (8 mm)          | ⑥ Hinterlüftung (40 mm) | ⑨ Blechfalzdach, Titanzink anthrazit... |

**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	λ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m²]
				min	max	
	Wärmeübergangswiderstand*		0,250	19,0	20,0	
1	1,25 cm Gipskartonplatte	0,250	0,050	18,8	19,3	8,5
2	6 cm Luftschicht (ruhend)	0,375	0,160	17,7	19,1	0,1
	6 cm Fichte (7,2%)	0,130	0,462	17,4	18,9	2,0
3	0,8 cm Funderplan	0,180	0,044	17,2	18,7	8,0
4	28 cm Woody Cell	0,040	7,000	-1,4	18,5	10,1
	28 cm Fichte (9,6%)	0,130	2,154	0,8	17,7	12,1
5	6 cm gelöscht	0,050	1,200	-4,9	1,1	15,9
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,8	
6	4 cm Hinterlüftung (Außenluft)			-5,0	-5,0	0,0
7	2,4 cm Profilholz (Nut und Feder)			-5,0	-5,0	8,4
8	0,03 cm DELTA®-FOL PVG PLUS			-5,0	-5,0	0,3
9	0,2 cm Blechfalzdach, Titanzink anthrazit			-5,0	-5,0	15,8
48,68 cm Gesamtes Bauteil			7,587			82,5

\*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): 19,0°C 19,2°C 19,3°C  
 Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,9°C -4,9°C -4,8°C

BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech,  $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## Feuchteschutz

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

Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

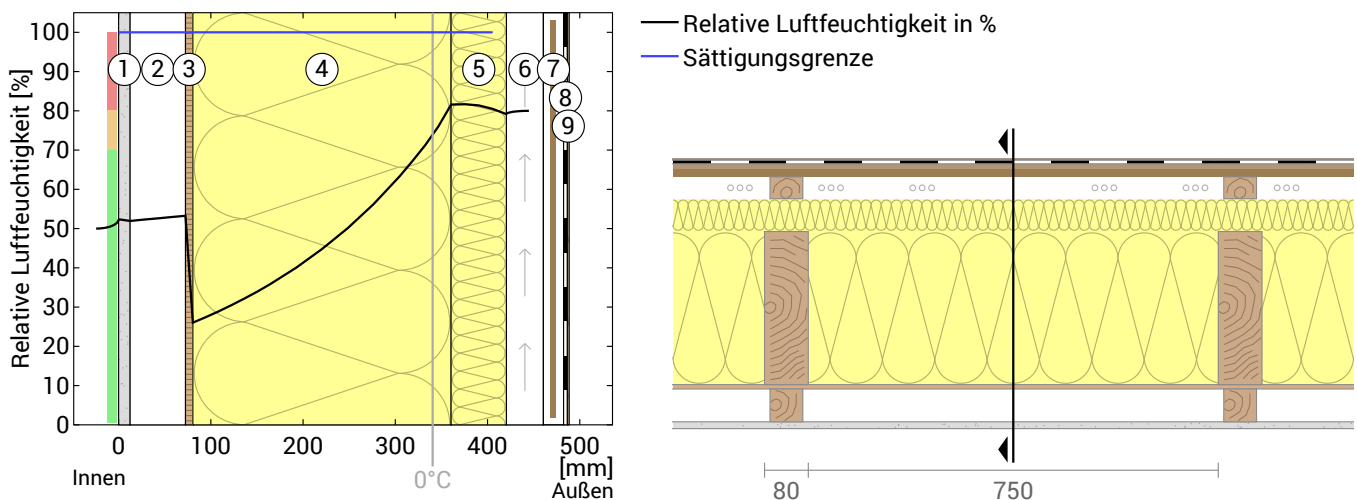
Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2014: 2955 g/(m<sup>2</sup>a)  
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert: 250 g/(m<sup>2</sup>a)

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser		Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
			[kg/m <sup>2</sup> ]	[Gew.-%]	
1	1,25 cm Gipskartonplatte	0,05	-	-	8,5
2	6 cm Luftschicht (ruhend)	0,01	-	-	0,1
	6 cm Fichte (7,2%)	1,20	-	-	2,0
3	0,8 cm Funderplan	1,48	-	-	8,0
4	28 cm Woody Cell	0,28	-	-	10,1
	28 cm Fichte (9,6%)	14,00	-	-	12,1
5	6 cm gelöscht	0,30	-	-	15,9
	48,68 cm Gesamtes Bauteil	2,30			82,5

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 19,0 °C was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 53% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



- |                              |                         |   |
|------------------------------|-------------------------|---|
| ① Gipskartonplatte (12,5 mm) | ④ Woody Cell (280 mm)   | ⑦ Profilholz (24 mm)                    |
| ② Luftschicht (60 mm)        | ⑤ gelöscht (60 mm)      | ⑧ DELTA®-FOL PVG PLUS                   |
| ③ Funderplan (8 mm)          | ⑥ Hinterlüftung (40 mm) | ⑨ Blechfalzdach, Titanzink anthrazit... |

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.

BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech,  $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2014 Anhang A

Dieser Feuchteschutznachweis ist nur bei **nicht klimatisierten** Wohn- oder wohnähnlich genutzten Gebäuden gültig.  
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 Gipskartonplatte	0,250	0,050	0,05	680	19,29	2236	0
2	6 cm Luftschicht (ruhend)	0,375	0,160	0,01	1	19,14	2216	0,05
3	0,8 cm Funderplan	0,180	0,044	1,48	1000	18,68	2154	0,06
4	28 cm Woody Cell	0,040	7,000	0,28	40	18,56	2137	1,54
5	6 cm gelöscht	0,050	1,200	0,3	265	-1,45	542	1,82
Wärmeübergangswiderstand			0,040			-4,89	405	2,12

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

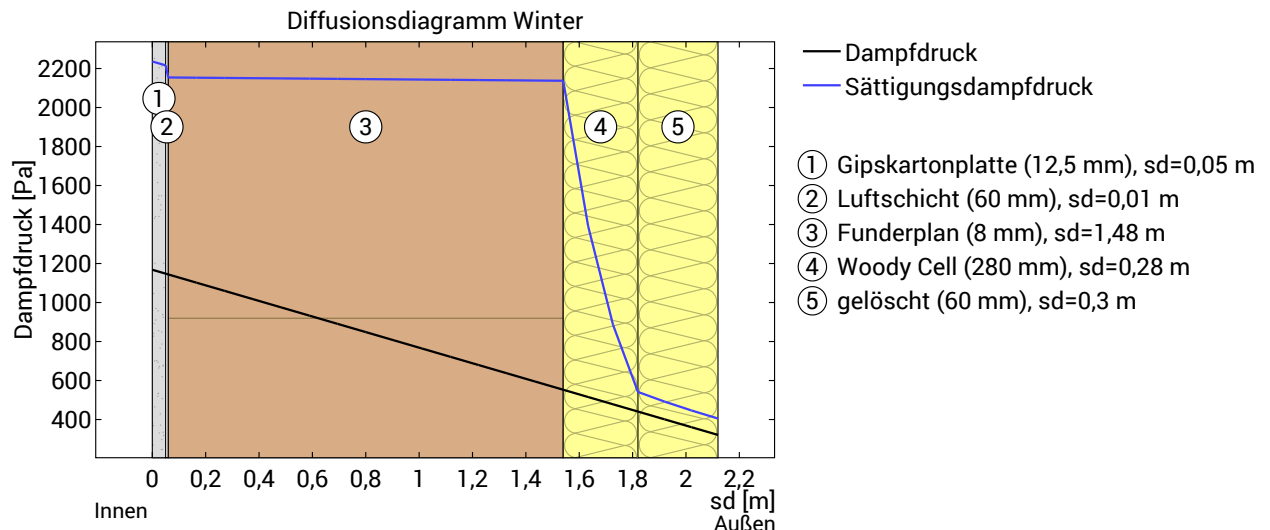
### Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche

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	$\delta_0 = 2.0E-10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s}\cdot\text{Pa})$
sd-Wert (gesamtes Bauteil)	$s_{de} = 2,12 \text{ m}$



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:

$s_d=1,82 \text{ m}$ ;  $x=36,05 \text{ cm}$ ;  $p_s=542 \text{ pa}$ :

Schichtgrenze zwischen Woody Cell und gelöscht

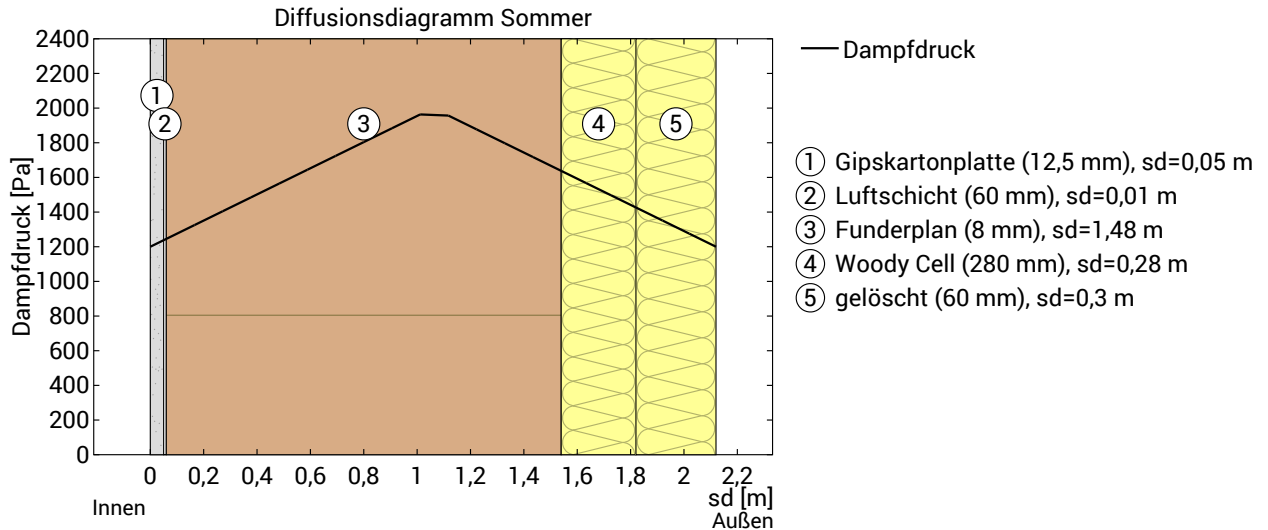
$$M_{ev, \text{Tauperiode}} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d_{ev}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{ev}})) = \mathbf{0,608 \text{ kg}/\text{m}^2}$$

BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech,  $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

### Verdunstungsperiode (Sommer)

#### Randbedingungen

Dampfdruck innen	$p_i = 1200 \text{ Pa}$
Dampfdruck außen	$p_e = 1200 \text{ Pa}$
Sättigungsdampfdruck in der Tauwasserebene	$p_s = 2000 \text{ Pa}$ (Dach gegen Außenluft)
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 mit der geringsten Verdunstungsmasse innerhalb des Holz enthaltenden Bereichs: bei  $sd=1,06 \text{ m}$ , innerhalb Schicht Funderplan:

Verdunstungsmenge:  $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot \left[ \frac{(p_s - p_i)}{sd} + \frac{(p_s - p_e)}{(sde - sd)} \right] = 2,35 \text{ kg/m}^2$

#### Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

#### Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.

Trocknungsreserve:  $M_r = (M_{ev} + M_{ev, \text{Tauperiode}}) \cdot 1000 = 2955 \text{ g/m}^2/\text{a}$

Mindestens gefordert bei Dächern:  $250 \text{ g/m}^2/\text{a}$



#### 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.

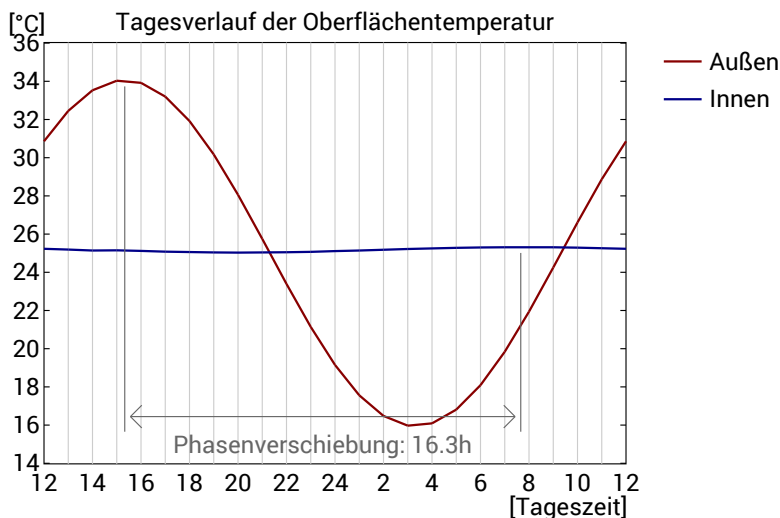
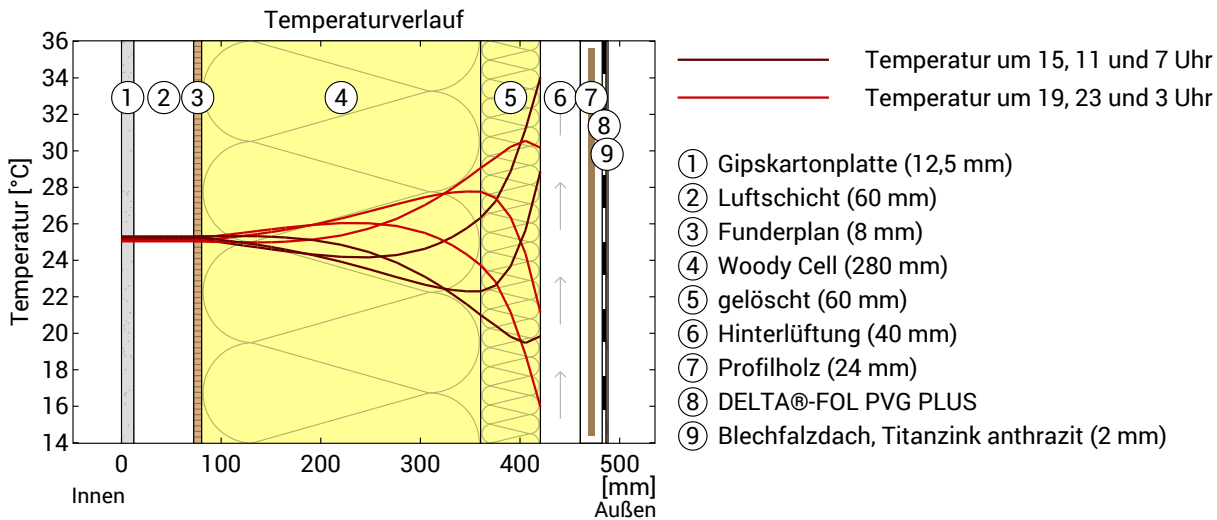
DIN 4108-3 beschreibt in Abschnitt 5.3 Bauteile, für die kein rechnerischer Tauwassernachweis erforderlich ist, da kein Tauwasserrisiko besteht oder das Verfahren für die Beurteilung nicht geeignet ist. Ob das hier untersuchte Bauteil darunter ist, kann mit den vorliegenden Informationen nicht beurteilt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

Die DIN 4108-3 geht davon aus, dass das Dach nicht überwiegend verschattet ist und keine sehr helle Oberfläche hat. Dies wirkt sich positiv auf das Trocknungsvermögen aus.

BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech,  $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## Hitzeschutz

Die folgenden Ergebnisse sind Eigenschaften des untersuchten Bauteils allein und machen keine Aussage über den Hitzeschutz des gesamten Raums:



**Obere Abbildung:** Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

**Untere Abbildung:** Temperatur auf der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche im Verlauf eines Tages. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Lage der Temperaturhöchstwerte. Das Maximum der inneren Oberflächentemperatur sollte möglichst während der zweiten Nachthälfte auftreten.

Phasenverschiebung*	16,3 h	Wärmespeicherkapazität (gesamtes Bauteil):	103 kJ/m <sup>2</sup> K
Amplitudendämpfung**	64,5	Wärmespeicherkapazität der inneren Schichten:	54 kJ/m <sup>2</sup> K
TAV***	0,016		

\* Die Phasenverschiebung gibt die Zeitdauer in Stunden an, nach der das nachmittägliche Hitzemaximum die Bauteilinnenseite erreicht.

\*\* Die Amplitudendämpfung beschreibt die Abschwächung der Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die Temperatur auf der Außenseite 10x stärker variiert, als auf der Innenseite, z.B. außen 15-35°C, innen 24-26°C.

\*\*\* Das Temperaturamplitudenverhältnis TAV ist der Kehrwert der Dämpfung:  $TAV = 1/\text{Amplitudendämpfung}$

Hinweis: Der Hitzeschutz eines Raumes wird von mehreren Faktoren beeinflusst, im Wesentlichen aber von der direkten Sonneneinstrahlung durch Fenster und der Gesamtmenge an Speichermasse (darunter auch Fußboden, Innenwände und Einbauten/Möbel). Ein einzelnes Bauteil hat auf den Hitzeschutz des Raumes in der Regel nur einen sehr geringen Einfluss.

Die oben dargestellten Berechnungen wurden für einen 1-dimensionalen Querschnitt des Bauteils erstellt.

BVKrafft neu Nicht Sicht 28cm Blech,  $U=0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

## Hinweise

### Hinterlüftungsebene

Die Stärke der Hinterlüftungsebene beträgt 4 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.

### Ruhende Luftschichten

Eine ruhende Luftschicht ist ein allseitig umschlossener Hohlraum, der keinerlei Verbindung zur Raum- oder Außenluft hat. Zwei aneinander grenzende Luftschichten werden nur dann korrekt berechnet, wenn kein Luftaustausch zwischen den beiden Schichten möglich ist, z.B. wenn die Luftschichten durch eine dünne Folie voneinander getrennt sind. Andernfalls muss der gesamte Hohlraum als eine einzige Schicht modelliert werden.

Eine Luftschicht als erste oder letzte Schicht eines Bauteils, die somit Verbindung zur Raum- bzw. Außenluft hat, wird nicht als ruhende Luftschicht betrachtet. In diesem Fall versucht der U-Wert-Rechner, die Luftschicht als Hinterlüftungsebene, Raum- oder Außenluft zu behandeln. Das Berechnungsergebnis kann dann jedoch signifikante Unsicherheiten enthalten.

Ruhende Luft hat eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit. Ab einer gewissen Schichtdicke entsteht jedoch Konvektion, die die Isolationswirkung stark reduziert. Beträgt die Schichtdicke mehr als 30 cm, kann die Luftschicht nicht mehr korrekt berücksichtigt werden.

Wenn die Luftschicht Öffnungen zur Außenluft hat, deren Größe  $1.500 \text{ mm}^2$  je m Länge für vertikale Luftschichten oder  $1.500 \text{ mm}^2$  je  $\text{m}^2$  Oberfläche für horizontale Luftschichten übersteigt, handelt es sich um eine Hinterlüftungsebene. Hinterlüftungsebenen finden Sie im Baustoffmenü unter Verschiedenes.