

Verbundvorhaben:

Standard Holzbausysteme mit nachwachsenden Rohstoffen zur Förderung der Verwendung von Holz plus nachwachsende Rohstoffe bei öffentlichen Gebäuden

Akronym: HO\_SY

Anhang, 4. A- Bauphysikalische-Analyse-AP5.pdf

Teil1: Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der Holztafelbauweise

Teil 2: Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der Holzmodulbauweise

Teil 3: Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der Holzskelettbauweise

Verbundvorhaben:

Standard Holzbausysteme mit nachwachsenden Rohstoffen zur Förderung der Verwendung von Holz plus nachwachsende Rohstoffe bei öffentlichen Gebäuden

Akronym: HO\_SY

Anhang, 4. A- Bauphysikalische-Analyse-AP5.pdf

Teil1: Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der **Holztafelbauweise**

Im Rahmen der bauphysikalischen Bewertung wurden vier charakteristische Bauteile der Holztafelbauweise ausgewählt: ein typischer Bodenaufbau, eine Geschossdecke, ein Flachdach sowie eine Außenwand.

# Berechnungen zum Wärmeschutz, Feuchteschutz und Hitzeschutz

erstellt am 11.5.2025 23:18

## Inhalt

Bauteil	U-Wert W/m²K	Tauwasser kg	TA- Dämpfung	Dicke cm	Gewicht kg/m²	Seite
1 Holztafelbauweise, Geschossdecke	0,23	-	6,6	23,89	36,2	2
2 Holztafelbauweise, Flachdachaufbau	0,14	0,084	37,9	39,38	133,1	11
3 Holztafelbauweise, Bodenplatte	0,24	-	2000,0	45,65	712,4	20
4 Holztafelbauweise, Außenwand	0,15	-	42,4	37,95	60,6	26

## Vergleich mit verschiedenen Höchstwerten\*

Bauteil	GEG 2020/24 Bestand	EnEV Bestand	BEG Einzelmaßn.	GEG 2023/24 Neubau
Holztafelbauweise, Geschossdecke				
Holztafelbauweise, Flachdachaufbau	✓	✓	✓	✓
Holztafelbauweise, Bodenplatte	✓	✓	✓	✓
Holztafelbauweise, Außenwand	✓	✓	✓	✓

\*Vergleich des U-Werts mit den Höchstwerten aus GEG Anlage 7 (GEG 2020-2024 Bestand); den Höchstwerten aus EnEV 2014 Anlage 3 Tabelle 1 (EnEV Bestand); den techn. Mindestanforderungen für BEG Einzelmaßnahmen; 70% des U-Werts der Referenzausführung aus GEG 2023/2024 Anlage 1 (GEG Neubau)

# Holztafelbauweise, Geschossdecke

Decke

## Wärmeschutz

$U = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Beidseitig beheizt: Keine Anforderung\*



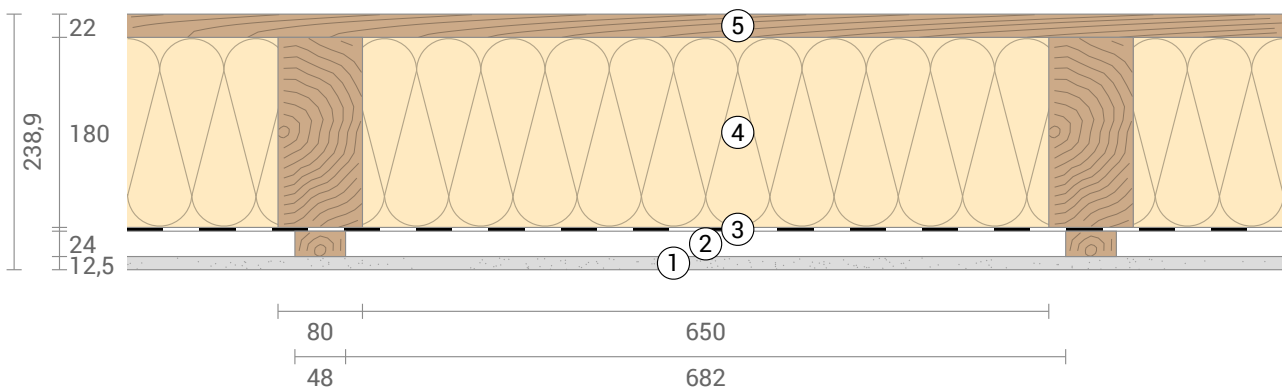
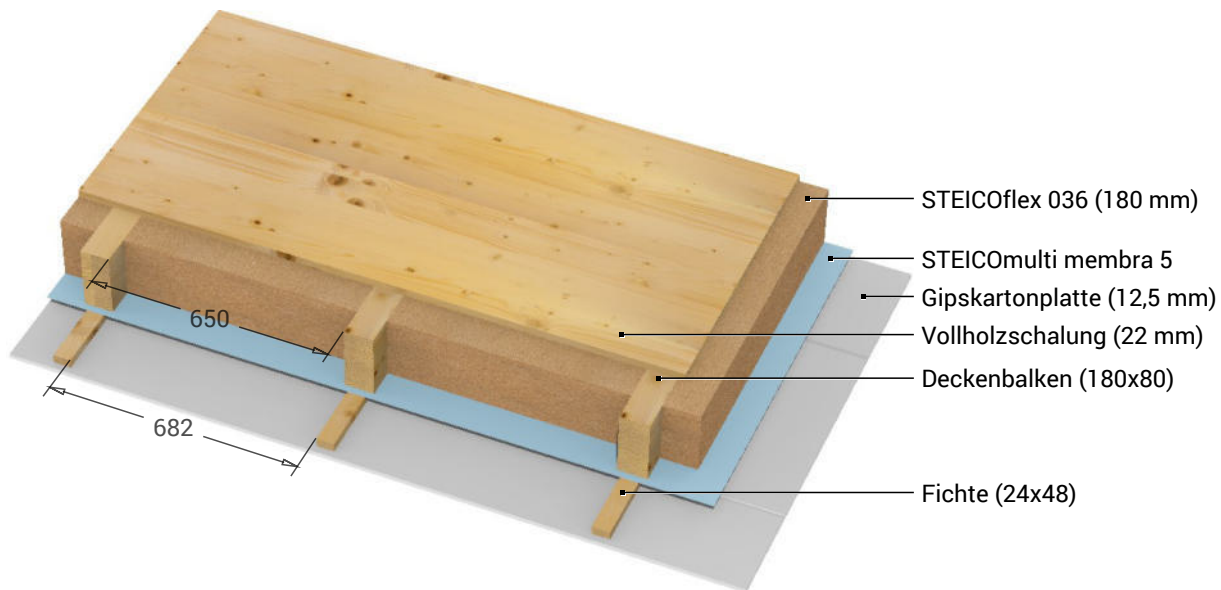
## Feuchteschutz

Trocknungsreserve: 660 g/m²a  
Kein Tauwasser



## Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 6,6  
Phasenverschiebung: 9,2 h  
Wärmekapazität innen: 25 kJ/m²K



- ① Gipskartonplatte (12,5 mm)                      ③ STEICOMulti membra 5                      ⑤ Vollholzschalung (22 mm)  
② Installationsebene (24 mm)                      ④ STEICOflex 036 (180 mm)

Raumluft: 20,0°C / 50%  
Raumluft 2: 20,0°C / 50%  
Oberflächentemp.: 20,0°C / 20,0°C

sd-Wert: 6,9 m

Dicke: 23,9 cm  
Gewicht: 36 kg/m²  
Wärmekapazität: 56 kJ/m²K

☐ GEG 2020/24 Bestand                      ☐ EnEV Bestand                      ☐ BEG Einzelmaßn.                      ☐ GEG 2023/24 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	Gipskartonplatte	1,25	0,250	0,050
2	Installationsebene	2,40	0,150	0,160
	Fichte (6,6%)	2,40	0,130	0,185
3	STEICOMulti membra 5	0,04	0,170	0,002
4	STEICOflex 036	18,00	0,038	4,737
	Deckenbalken (Fichte) (11%)	18,00	0,130	1,385
5	Vollholzschalung (Fichte)	2,20	0,130	0,169
	Wärmeübergangswiderstand außen (R <sub>se</sub> )			0,100

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

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

R<sub>se</sub>: Wärmestromrichtung aufwärts, außen: Beheizter Raum

Wärmedurchlasswiderstände von ruhenden Luftschichten wurden wie folgt berechnet:

Schicht 2.1: Dicke 2.4 cm, Breite 68.2 cm, DIN EN ISO 6946 Tabelle 8, Wärmestromrichtung aufwärts

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot;upper}} = 4,489 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot;lower}} = 4,327 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

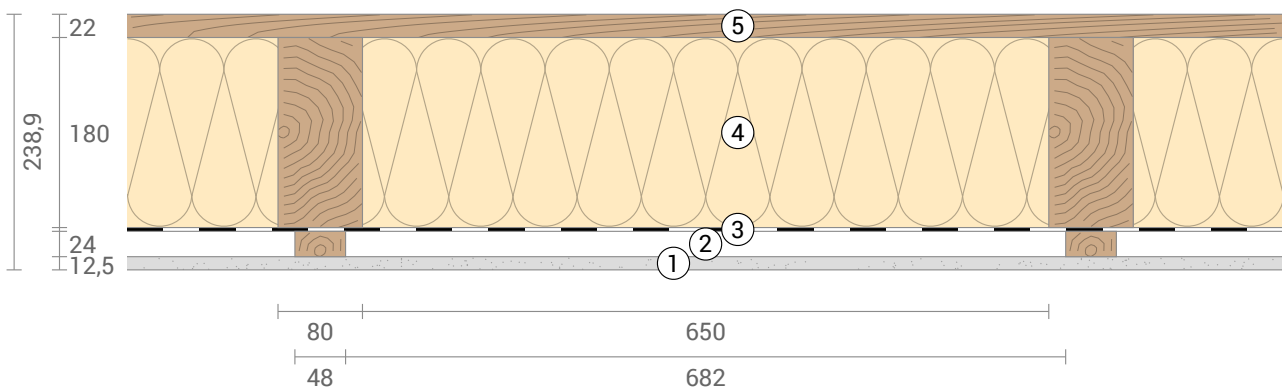
Prüfe Anwendbarkeit:  $R_{\text{tot;upper}} / R_{\text{tot;lower}} = 1,038$  (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand  $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot;upper}} + R_{\text{tot;lower}})/2 = 4,408 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 1,8%

Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



## Ökobilanz

Wärmeverlust:  $18 \text{ kWh}/\text{m}^2$  pro Heizperiode



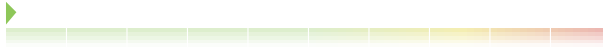
Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter dieses Bauteils während der Heizperiode entweicht. Bitte beachten: Wegen interner und solarer Gewinne ist der Heizwärmebedarf geringer als der Wärmeverlust.

Primärenergie (nicht erneuerbar):  $50 \text{ kWh}/\text{m}^2$



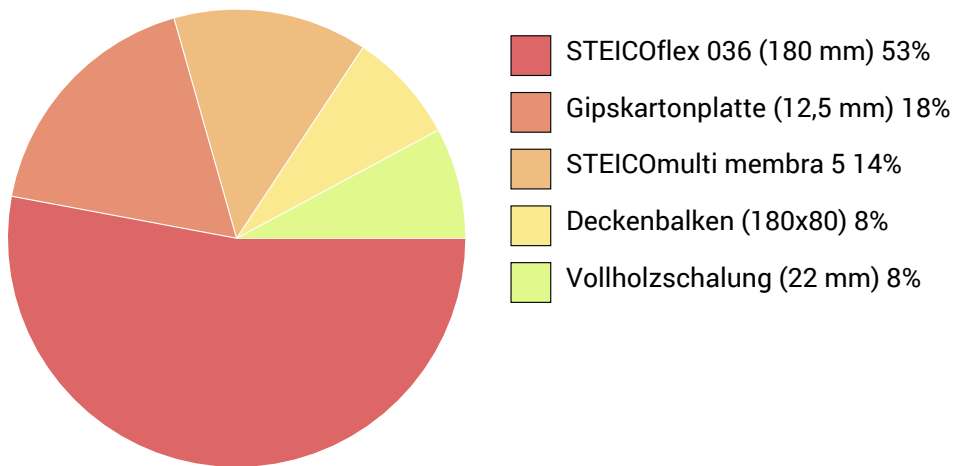
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

Treibhauspotential:  $-34 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv.}/\text{m}^2$

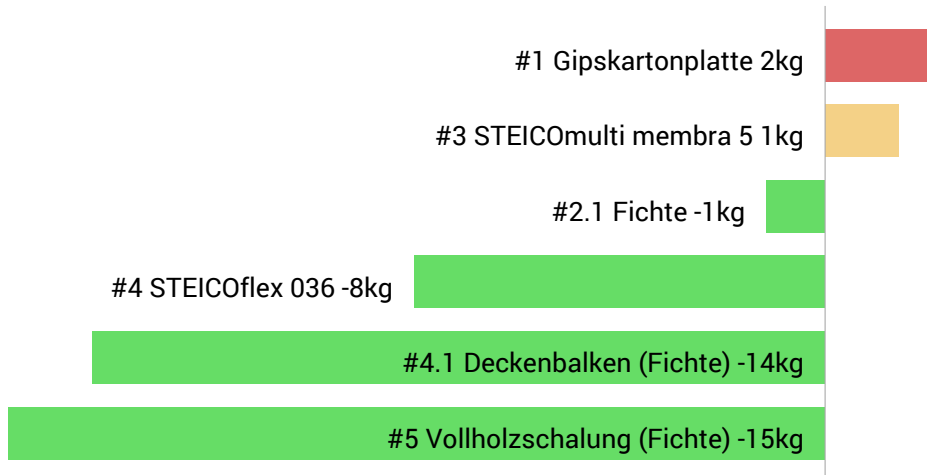


Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

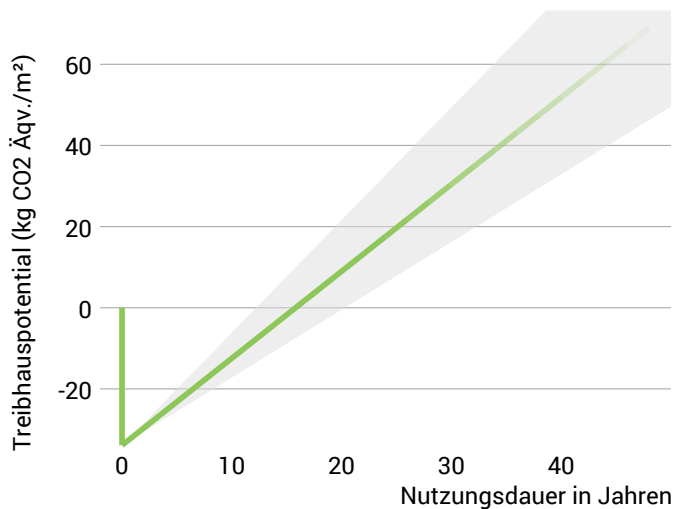
Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:



Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



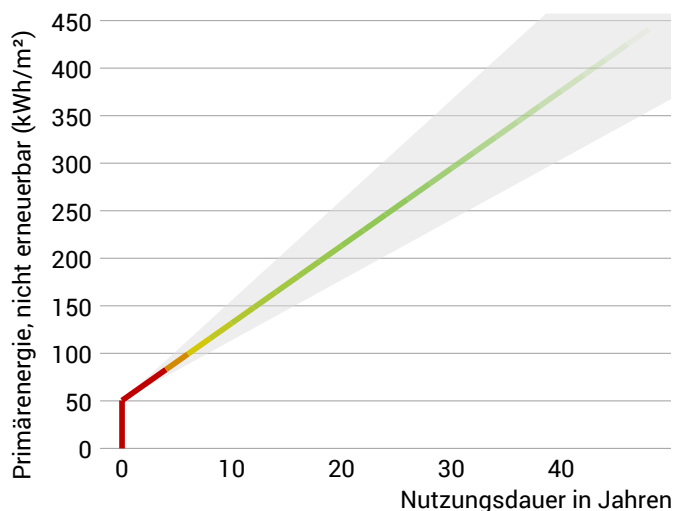
## Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



Die **Abbildung links** zeigt im senkrechten Teil der Kurve das Treibhauspotential der Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes entstehenden Treibhausgasemissionen (durch die Beheizung) sind durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Die **Abbildung links unten** zeigt im senkrechten Teil der Kurve den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand für die Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes benötigte Primärenergie (durch die Beheizung) ist durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Je länger das Bauteil unverändert genutzt wird, umso umweltfreundlicher ist es, weil der Herstellungsaufwand weniger zu den Gesamtemissionen beiträgt (angedeutet durch die Farbe der Kurve).



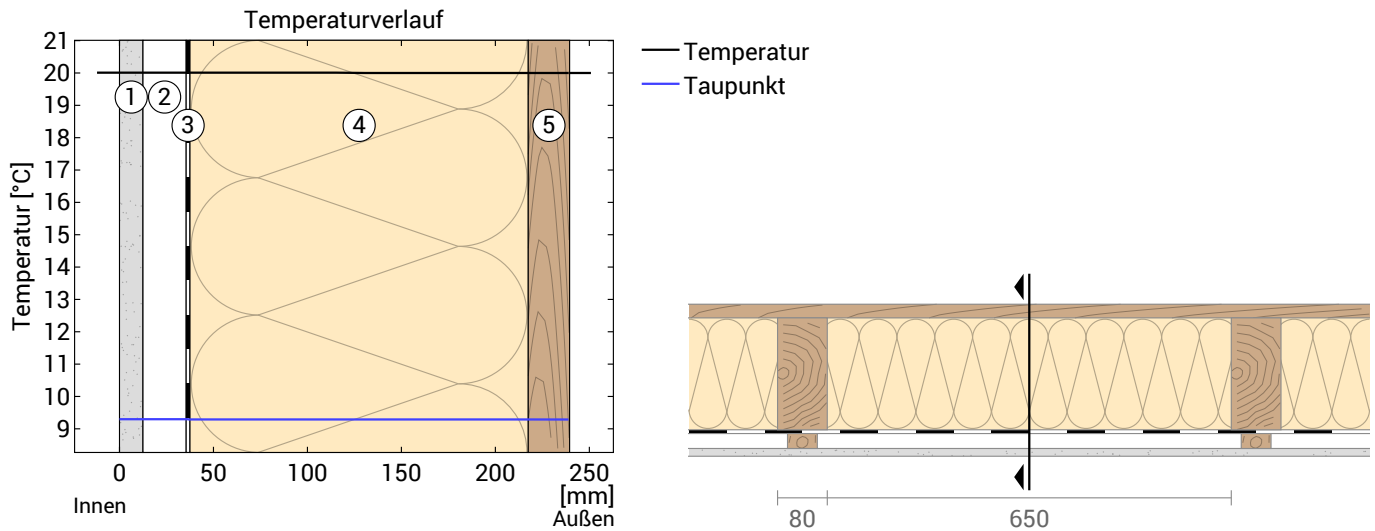
Wegen unbekannter solarer und interner Gewinne kann der Heizwärmebedarf nur geschätzt werden. Dementsprechend sind Primärenergieaufwand und Treibhauspotential während der Nutzungsphase nur ungenau bekannt. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass solare und interne Gewinne mit 4 kWh/a/m<sup>2</sup> Bauteilfläche beitragen. Die hellgrauen Fläche kennzeichnen den Bereich, in dem die Kurve mit großer Sicherheit liegt. Für die Wärmeerzeugung wurde ein Primärenergieaufwand von 0,60 kWh pro kWh Wärme und ein Treibhauspotential von 0,16 kg CO<sub>2</sub> Äqv/m<sup>2</sup> pro kWh Wärme angesetzt. Wärmequelle: Wärmepumpe (Luft).

### Hinweise

Berechnet für den Standort DIN V 18599, Heizperiode von Mitte Oktober bis Ende April. Die Berechnung basiert auf monatlichen Temperatur-Mittelwerten. Quelle: DIN V 18599-10:2007-02

Die dieser Berechnung zugrunde liegenden Klima- und Energiedaten können zum Teil starke Schwankungen aufweisen und im Einzelfall erheblich vom tatsächlichen Wert abweichen.

## Temperaturverlauf



- ① Gipskartonplatte (12,5 mm)      ③ STEICOMulti membra 5      ⑤ Vollholzschalung (22 mm)  
② Installationsebene (24 mm)      ④ STEICOflex 036 (180 mm)

**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	20,0	20,0	
1	1,25 cm Gipskartonplatte	0,250	0,050	20,0	20,0	8,5
2	2,4 cm Installationsebene	0,150	0,160	20,0	20,0	0,0
	2,4 cm Fichte (6,6%)	0,130	0,185	20,0	20,0	0,7
3	0,04 cm STEICOMulti membra 5	0,170	0,002	20,0	20,0	0,1
4	18 cm STEICOflex 036	0,038	4,737	20,0	20,0	8,0
	18 cm Deckenbalken (Fichte) (11%)	0,130	1,385	20,0	20,0	8,9
5	2,2 cm Vollholzschalung (Fichte)	0,130	0,169	20,0	20,0	9,9
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	20,0	20,0	
	23,89 cm Gesamtes Bauteil		4,431			36,2

\*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): 20,0°C 20,0°C 20,0°C  
Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): 20,0°C 20,0°C 20,0°C



## Feuchteschutz

Für die Berechnung der Tauwassermenge wurde das Bauteil 90 Tage lang dem folgenden konstanten Klima ausgesetzt:  
innen:  $20,01^\circ\text{C}$  und 50% Luftfeuchtigkeit; außen:  $20^\circ\text{C}$  und 50% Luftfeuchtigkeit (Klima gemäß Benutzereingabe).

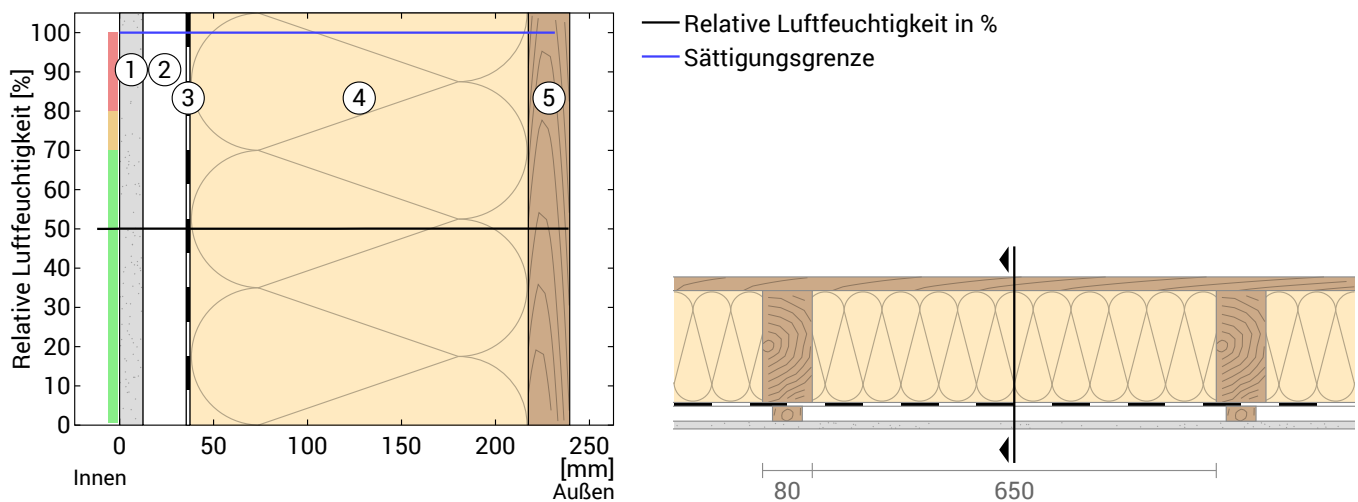
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

Trocknungsreserve gemäß Ubakus 2D-FE-Verfahren:  $660 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$   
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert:  $100 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$

#	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	2,4 cm Installationsebene	0,01	-		0,0
	2,4 cm Fichte (6,6%)	0,48	-	-	0,7
3	0,04 cm STEICOMulti membra 5	5,00	-		0,1
4	18 cm STEICOflex 036	0,36	-		8,0
	18 cm Deckenbalken (Fichte) (11%)	9,00	-	-	8,9
5	2,2 cm Vollholzschalung (Fichte)	1,10	-	-	9,9
	23,89 cm Gesamtes Bauteil	6,89	0		36,2

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt  $20,0^\circ\text{C}$  was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 50% 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)      ③ STEICOMulti membra 5      ⑤ Vollholzschalung (22 mm)  
② Installationsebene (24 mm)      ④ STEICOflex 036 (180 mm)

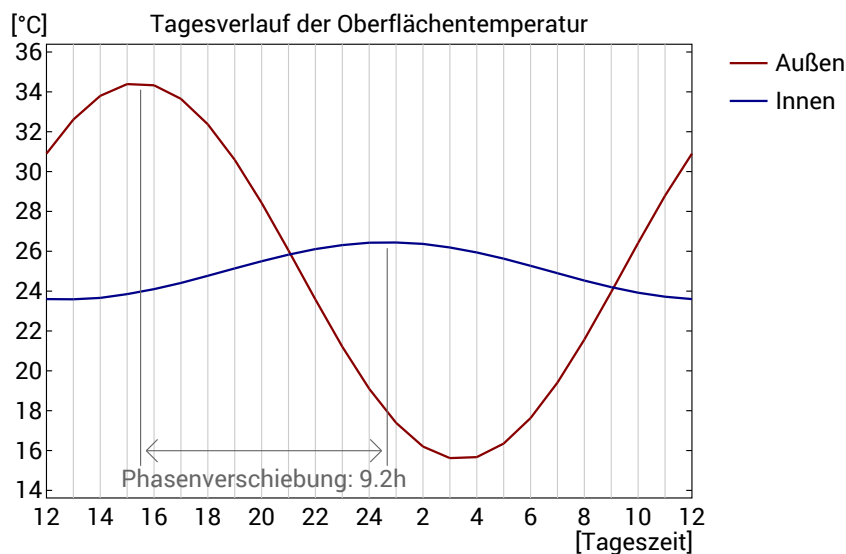
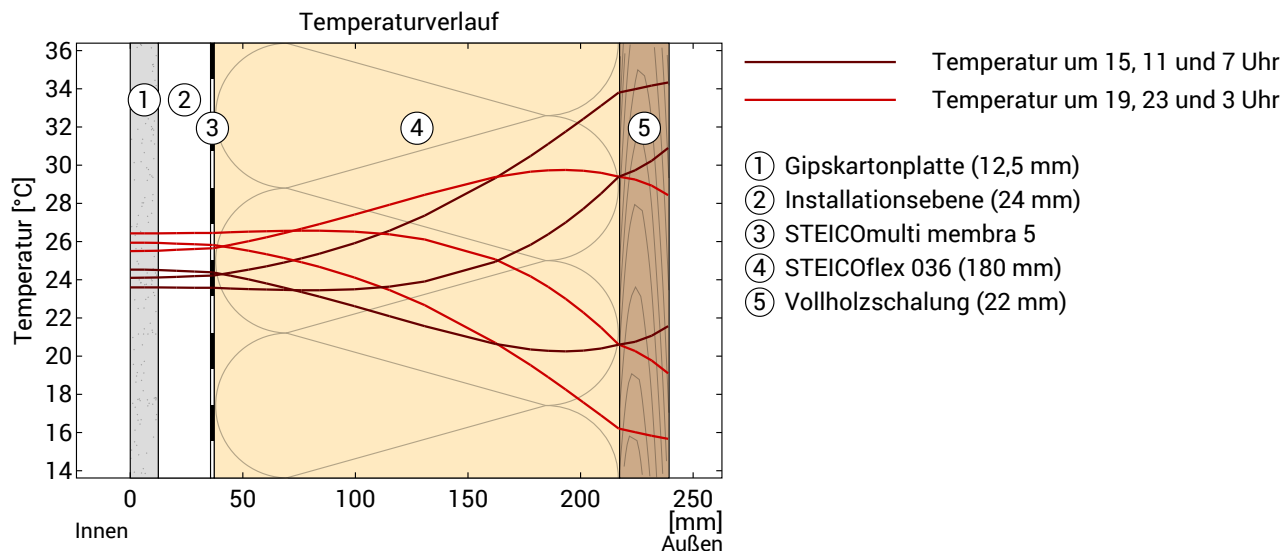
Hinweise: Berechnung mittels Ubakus 2D-FE Verfahren. Konvektion und die Kapillarität der Baustoffe wurden nicht berücksichtigt. Die Trocknungsdauer kann unter ungünstigen Bedingungen (Beschattung, feuchte/kühle Sommer) länger dauern als hier berechnet.

## Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2024 Anhang A

Die von Ihnen angegebenen Temperaturen und/oder Luftfeuchtigkeiten entsprechen nicht der DIN 4108-3. Von der DIN 4108-3 sind folgende Werte fest vorgegeben: 20°C / 50% Luftfeuchtigkeit innen und -5°C / 80% Luftfeuchtigkeit außen. Ändern Sie die Werte im Eingabeformular entsprechend um die Berechnung nach DIN 4108-3 zu ermöglichen.

## 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*	9,2 h	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	56 kJ/m <sup>2</sup> K
Amplitudendämpfung**	6,6	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	25 kJ/m <sup>2</sup> K
TAV***	0,152		

\* 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.

## Hinweise

### 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 Ubakus, 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.

# Holztafelbauweise, Flachdachaufbau

Flachdach

## Wärmeschutz

$U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

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



## Feuchteschutz

Trocknungsreserve:  $99 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$   
(führt zur Abwertung)

84  $\text{g}/\text{m}^2$  42 Tage +0,8%

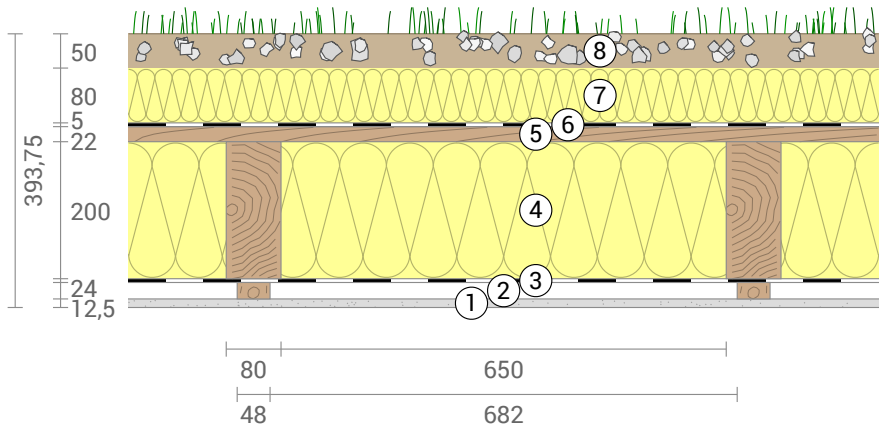
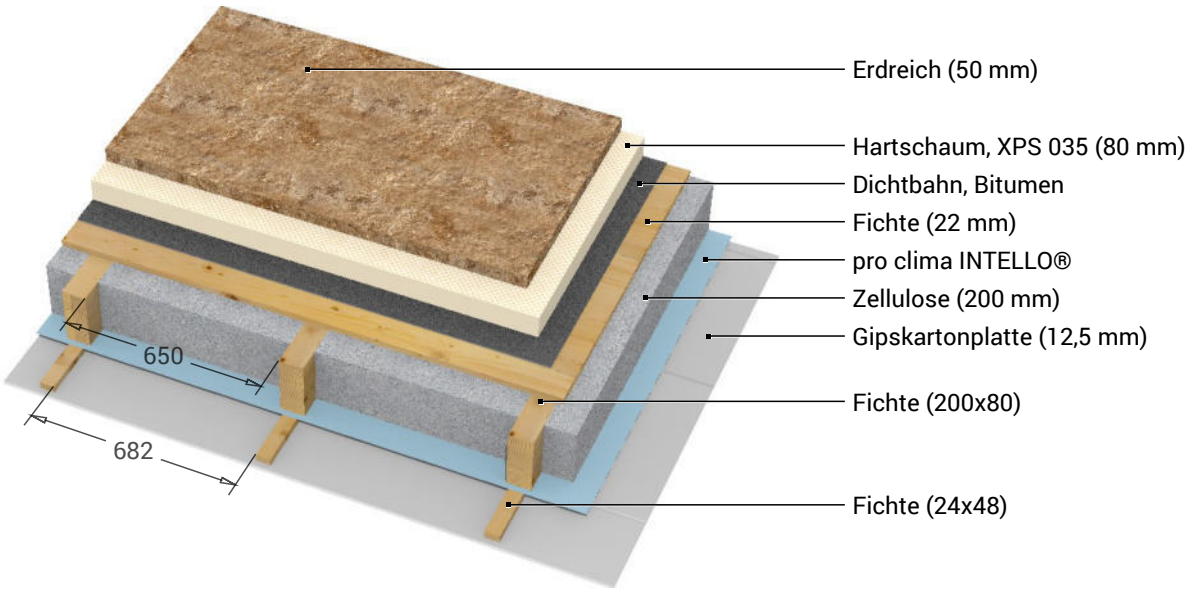


## Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 38

Phasenverschiebung: 14,3 h

Wärmekapazität innen:  $40 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- |                              |                      |                               |
|------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| ① Gipskartonplatte (12,5 mm) | ④ Zellulose (200 mm) | ⑦ Hartschaum, XPS 035 (80 mm) |
| ② Luftschicht (24 mm)        | ⑤ Fichte (22 mm)     | ⑧ Erdreich (50 mm)            |
| ③ pro clima INTELLO®         | ⑥ Dichtbahn, Bitumen |                               |

Raumluft:  $20,0^\circ\text{C} / 50\%$   
Außenluft:  $-5,0^\circ\text{C} / 80\%$   
Oberflächentemp.:  $18,7^\circ\text{C} / -4,9^\circ\text{C}$

sd-Wert: 276,3 m

Dicke: 39,4 cm  
Gewicht:  $133 \text{ kg}/\text{m}^2$   
Wärmekapazität:  $153 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

☒ GEG 2020/24 Bestand ☒ EnEV Bestand ☒ BEG Einzelmaßn. ☒ GEG 2023/24 Neubau

## 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)	2,40	0,150	0,160
	Fichte (6,6%)	2,40	0,130	0,185
3	pro clima INTELLO®	0,03	0,040	0,006
4	Zellulose	20,00	0,040	5,000
	Fichte (11%)	20,00	0,130	1,538
5	Fichte	2,20	0,130	0,169
6	Dichtbahn, Bitumen	0,50	0,230	0,022
7	Hartschaum, XPS 035	8,00	0,035	2,286
8	Erdreich	5,00	1,750	0,029
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung aufwärts

Rse: Wärmestromrichtung aufwärts, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Wärmedurchlasswiderstände von ruhenden Luftschichten wurden wie folgt berechnet:

Schicht 2.1: Dicke 2.4 cm, Breite 68.2 cm, DIN EN ISO 6946 Tabelle 8, Wärmestromrichtung aufwärts

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot;upper}} = 7,242 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot;lower}} = 6,874 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

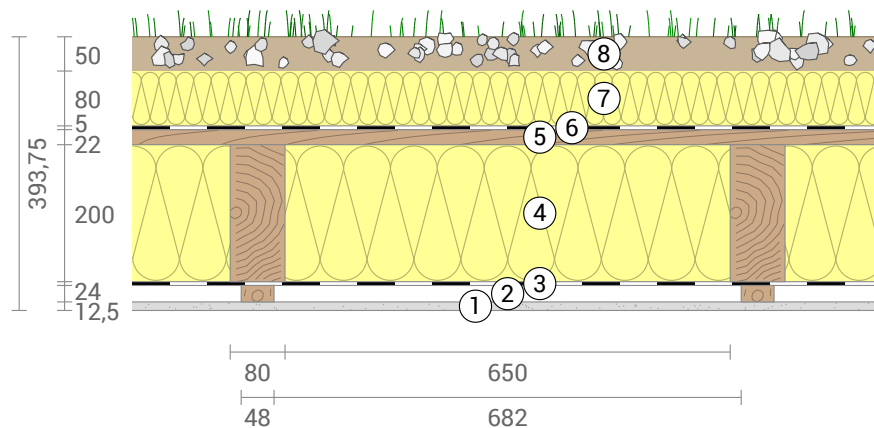
Prüfe Anwendbarkeit:  $R_{\text{tot;upper}} / R_{\text{tot;lower}} = 1,054$  (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand  $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot;upper}} + R_{\text{tot;lower}})/2 = 7,058 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 2,6%

Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



## Ökobilanz

Wärmeverlust: 11 kWh/m<sup>2</sup> pro Heizperiode



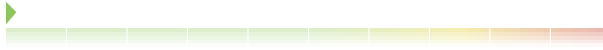
Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter dieses Bauteils während der Heizperiode entweicht. Bitte beachten: Wegen interner und solarer Gewinne ist der Heizwärmebedarf geringer als der Wärmeverlust.

Primärenergie (nicht erneuerbar): 161 kWh/m<sup>2</sup>



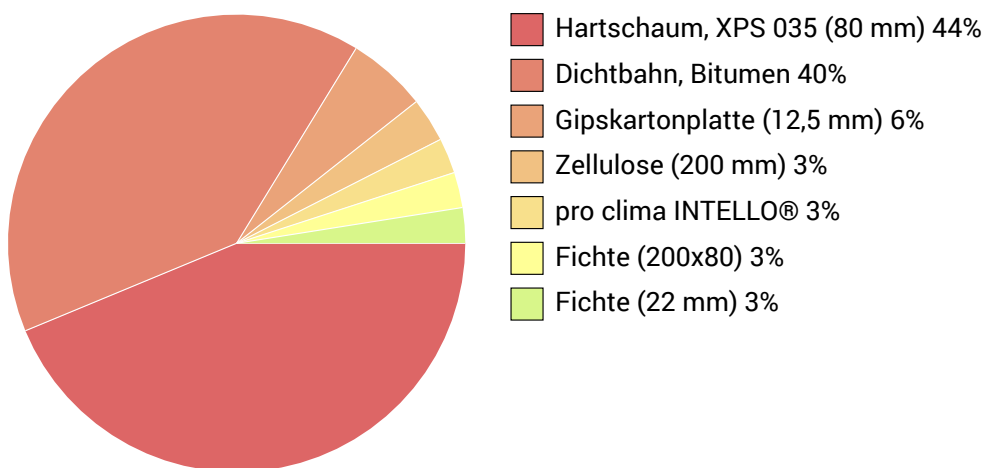
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

Treibhauspotential: -32 kg CO<sub>2</sub> Äqv./m<sup>2</sup>

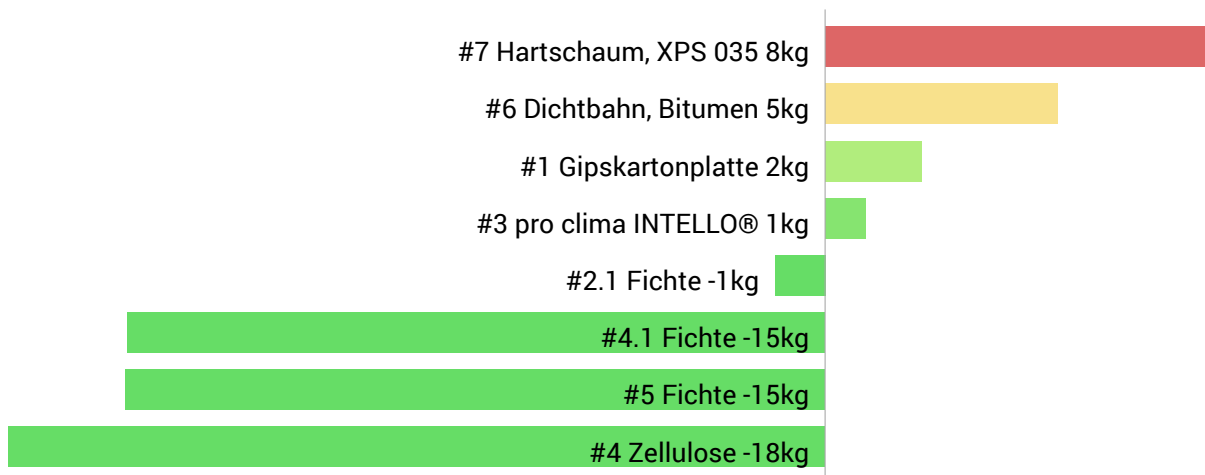


Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

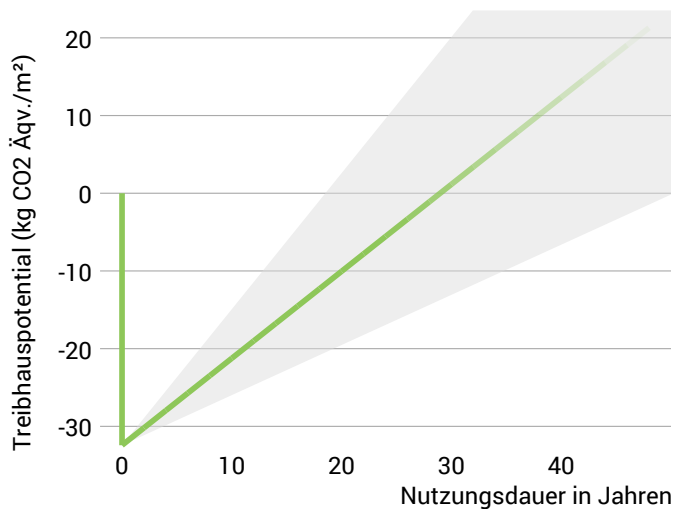
Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:



Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



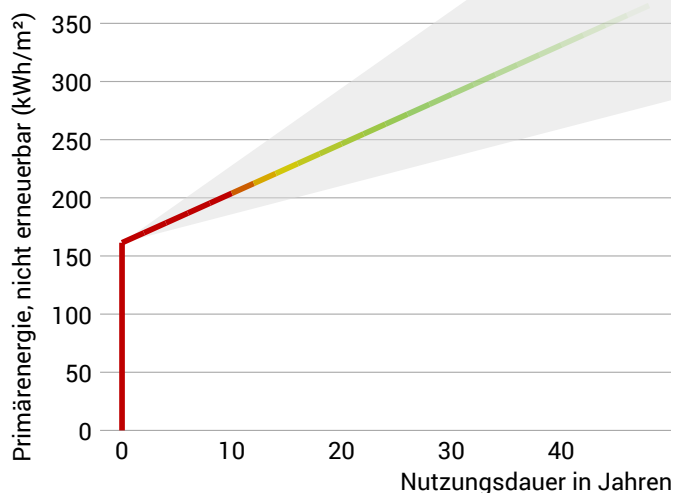
## Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



Die **Abbildung links** zeigt im senkrechten Teil der Kurve das Treibhauspotential der Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes entstehenden Treibhausgasemissionen (durch die Beheizung) sind durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Die **Abbildung links unten** zeigt im senkrechten Teil der Kurve den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand für die Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes benötigte Primärenergie (durch die Beheizung) ist durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Je länger das Bauteil unverändert genutzt wird, umso umweltfreundlicher ist es, weil der Herstellungsaufwand weniger zu den Gesamtemissionen beiträgt (angedeutet durch die Farbe der Kurve).



Wegen unbekannter solarer und interner Gewinne kann der Heizwärmebedarf nur geschätzt werden. Dementsprechend sind Primärenergieaufwand und Treibhauspotential während der Nutzungsphase nur ungenau bekannt. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass solare und interne Gewinne mit  $4 \text{ kWh/a/m}^2$  Bauteilfläche beitragen. Die hellgrauen Fläche kennzeichnen den Bereich, in dem die Kurve mit großer Sicherheit liegt. Für die Wärmeerzeugung wurde ein Primärenergieaufwand von  $0,60 \text{ kWh pro kWh Wärme}$  und ein Treibhauspotential von  $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2 \text{ pro kWh Wärme}$  angesetzt. Wärmequelle: Wärmepumpe (Luft).

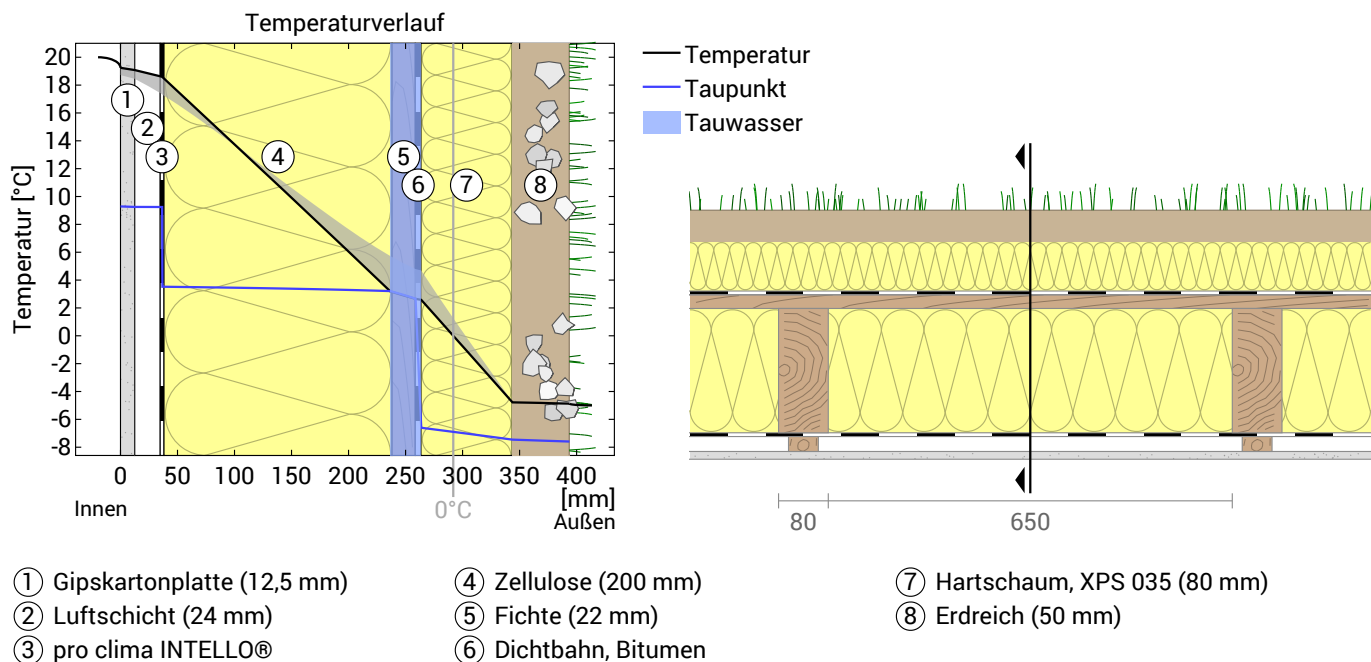
### Hinweise

Berechnet für den Standort DIN V 18599, Heizperiode von Mitte Oktober bis Ende April. Die Berechnung basiert auf monatlichen Temperatur-Mittelwerten. Quelle: DIN V 18599-10:2007-02

Die dieser Berechnung zugrunde liegenden Klima- und Energiedaten können zum Teil starke Schwankungen aufweisen und im Einzelfall erheblich vom tatsächlichen Wert abweichen.



## 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	18,7	20,0	
1	1,25 cm Gipskartonplatte	0,250	0,050	18,5	19,2	8,5
2	2,4 cm Luftschicht (ruhend)	0,150	0,160	17,5	19,1	0,0
	2,4 cm Fichte (6,6%)	0,130	0,185	17,4	18,5	0,7
3	0,025 cm pro clima INTELLO®	0,040	0,006	17,3	18,6	0,1
4	20 cm Zellulose	0,040	5,000	3,2	18,6	10,7
	20 cm Fichte (11%)	0,130	1,538	5,6	17,7	9,9
5	2,2 cm Fichte	0,130	0,169	2,6	5,7	9,9
6	0,5 cm Dichtbahn, Bitumen	0,230	0,022	2,6	4,8	5,5
7	8 cm Hartschaum, XPS 035	0,035	2,286	-4,8	4,7	2,8
8	5 cm Erdreich	1,750	0,029	-4,9	-4,7	85,0
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,8	
	39,375 cm Gesamtes Bauteil		7,022			133,1

\*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): 18,7°C 19,1°C 19,2°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 diesen Bedingungen fallen insgesamt  $0,084 \text{ kg}$  Tauwasser pro Quadratmeter an. Diese Menge trocknet im Sommer innerhalb von 42 Tagen ab (Verdunstungsperiode gemäß DIN 4108-3:2018-10).

Trocknungsreserve gemäß Ubakus 2D-FE-Verfahren:  $99 \text{ g/(m}^2\text{a)}$   
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert:  $250 \text{ g/(m}^2\text{a)}$   
Der Feuchteschutz dieses Bauteils wird deshalb mit mangelhaft bewertet.

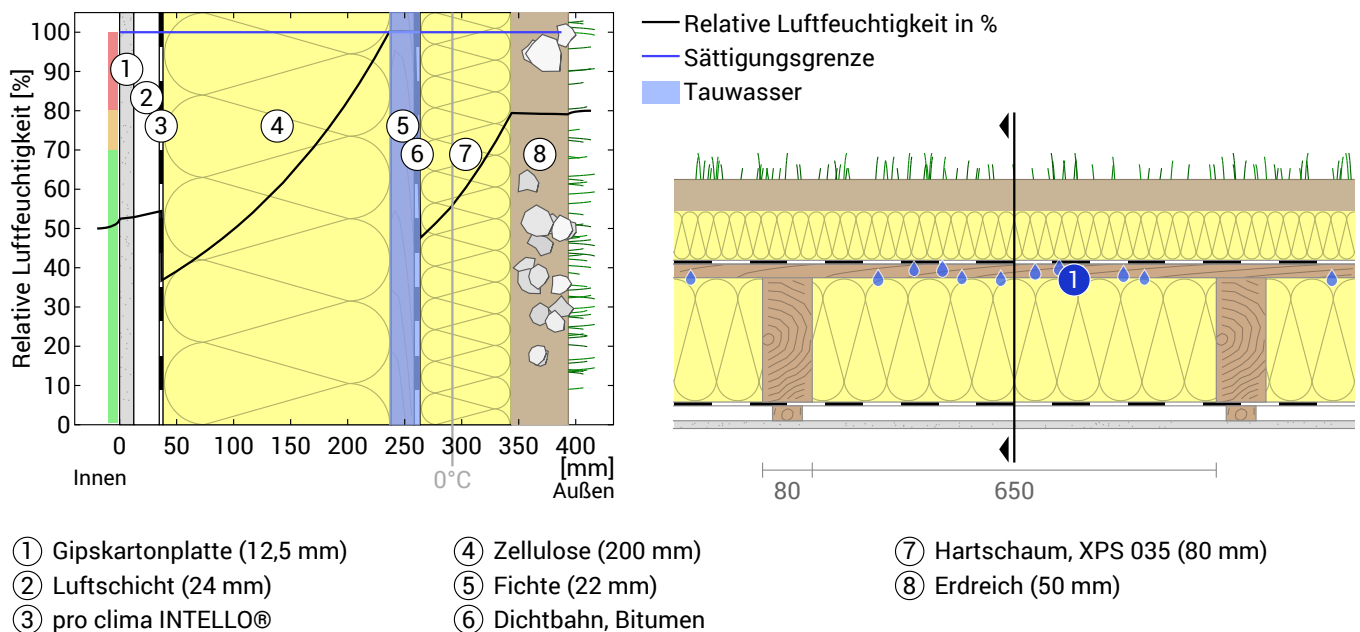
#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m <sup>2</sup> ]	Tauwasser [Gew.-%]	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
1	1,25 cm Gipskartonplatte	0,05	-	-	8,5
2	2,4 cm Luftschicht (ruhend)	0,01	-	-	0,0
	2,4 cm Fichte (6,6%)	0,48	-	-	0,7
3	0,025 cm pro clima INTELLO®	6,73	-	-	0,1
4	20 cm Zellulose	0,20	0,029	-	10,7
	20 cm Fichte (11%)	4,00	-	-	9,9
5	2,2 cm Fichte	0,44	0,084	0,8	9,9
6	0,5 cm Dichtbahn, Bitumen	250,00	-	-	5,5
7	8 cm Hartschaum, XPS 035	16,00	-	-	2,8
8	5 cm Erdreich	2,50	-	-	85,0
39,375 cm Gesamtes Bauteil		276,27	0,084		133,1

## Tauwasserebenen

- ① Tauwasser:  $0,084 \text{ kg/m}^2$  Betroffene Schichten: Fichte, Zellulose, Dichtbahn, Bitumen

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt  $18,7^\circ\text{C}$  was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 54% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.  
Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



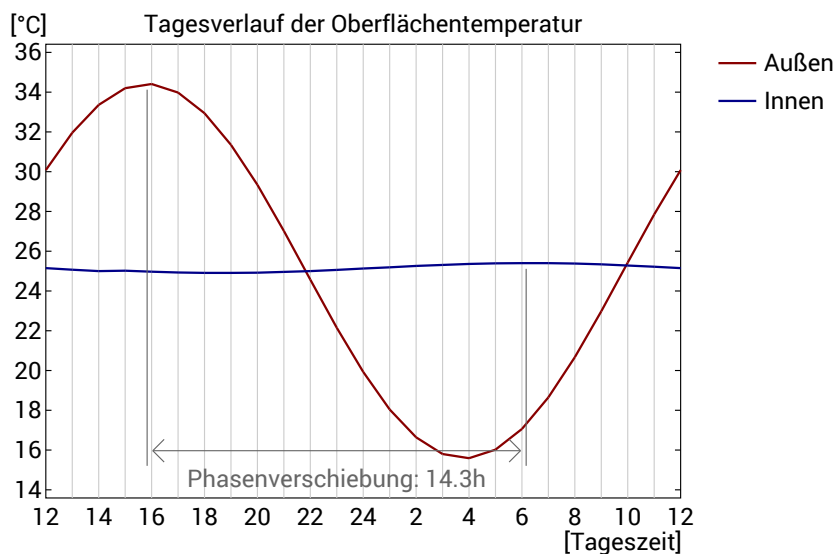
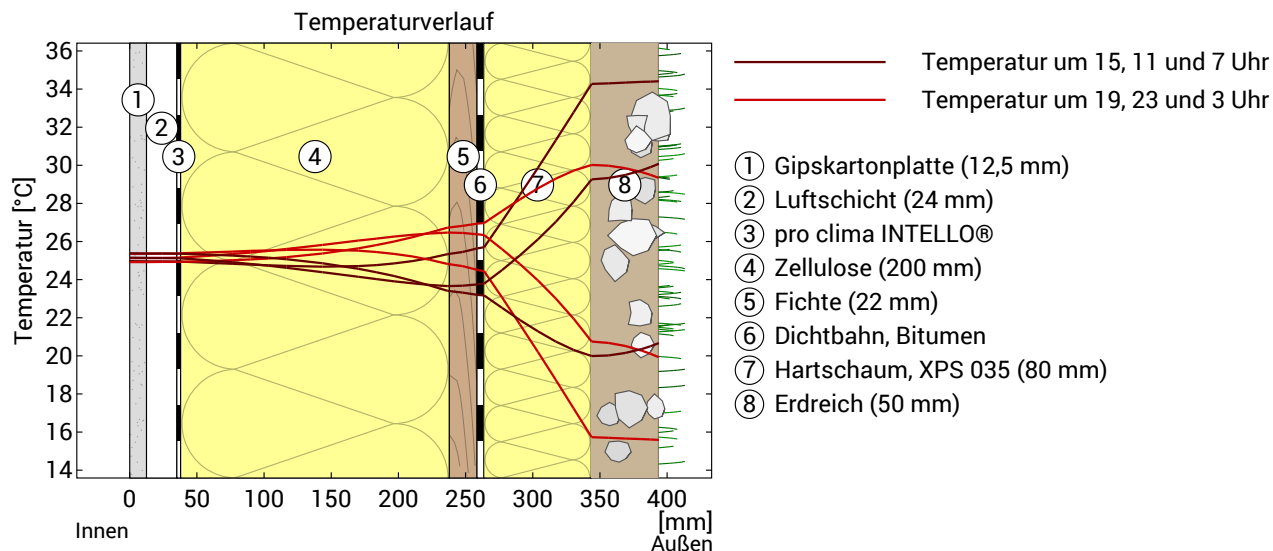
Hinweise: Berechnung mittels Ubakus 2D-FE Verfahren. Konvektion und die Kapillarität der Baustoffe wurden nicht berücksichtigt. Die Trocknungsdauer kann unter ungünstigen Bedingungen (Beschattung, feuchte/kühle Sommer) länger dauern als hier berechnet.

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

DIN 4108-3 ist bei begrünten Dachkonstruktionen nicht anwendbar.

## 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*	14,3 h	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	153 kJ/m <sup>2</sup> K
Amplitudendämpfung**	37,9	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	40 kJ/m <sup>2</sup> K
TAV***	0,026		

\* 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.

## Hinweise

### Trocknungsdauer bei Dächern

Wenn das Dach beschattet ist, aufgrund der Dachneigung oder Ausrichtung nur wenig von der Sonne beschienen wird oder in einer ungünstigen Klimazone liegt, kann die Trocknung des Tauwassers deutlich länger dauern, als die berechneten 42 Tage. Lassen Sie in diesem Fall Ihr Bauteil von einem hygrothermischen Simulationsprogramm beurteilen. Weitere Informationen finden Sie im Artikel [Außen dampfdichte Dächer](#).

### 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 Ubakus, 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.

### Umkehrdach mit offener Abdeckung

Die DIN 6946 beschreibt ein Korrekturverfahren für den U-Wert um zu berücksichtigen, dass zwischen der Wärmedämmung und der Dachabdichtung Regenwasser abfließt. Es gilt, wenn das Gebäude beheizt wird; im Kühlfall wird keine Korrektur vorgenommen. Für den ungünstigsten Fall (einlagige Dämmschicht auf der Dachabdichtung, mit stumpfen Stößen und offener Abdeckung wie z.B. Kiesschüttung) beträgt diese Korrektur  $dU=0,013 \text{ W/m}^2\text{K}$  (8,9%). Der korrigierte U-Wert würde damit  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  betragen.

Zugrunde gelegt wurde eine Niederschlagsmenge von 3 mm/Tag gemäß DIN 6946 B.7 und ein Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht von  $2,286 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Ob und in welchem Umfang diese Korrektur bei diesem Bauteil vorzunehmen ist, kann nur der verantwortliche Planer entscheiden. Zudem wird empfohlen, eine zweite Abdichtungsebene oberhalb der Dämmschicht anzuordnen. Damit entfällt nicht nur diese Korrektur, sondern es sinkt auch das Risiko von Bauschäden durch Leckagen.

# Holztafelbauweise, Bodenplatte

## Wärmeschutz

$U = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

EnEV Bestand\*:  $U < 0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



## Feuchteschutz

Kein Tauwasser

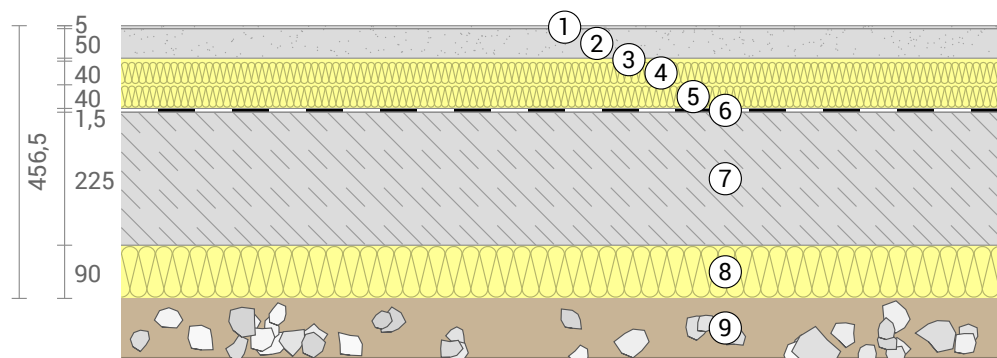
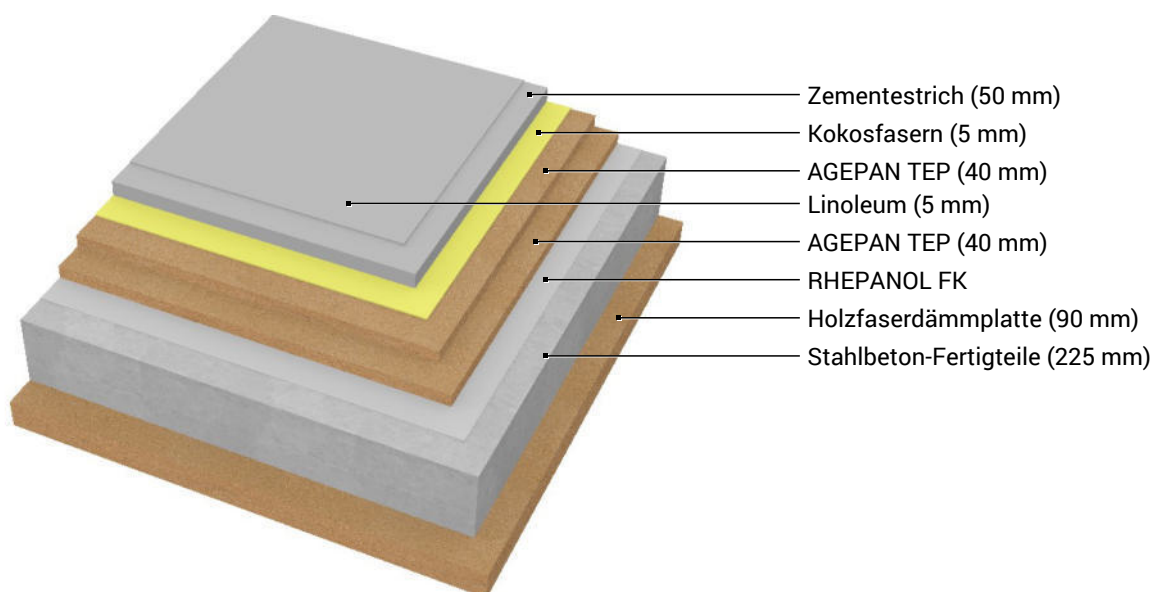


## Hitzeschutz

Bauteil grenzt an Erdreich:

TAV und Phase nicht relevant.

Wärmekapazität innen:  $440 \text{ kJ/m}^2\text{K}$



- |                         |                      |                                   |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| ① Linoleum (5 mm)       | ④ AGEPAN TEP (40 mm) | ⑦ Stahlbeton-Fertigteile (225 mm) |
| ② Zementestrich (50 mm) | ⑤ AGEPAN TEP (40 mm) | ⑧ Holzfaserdämmplatte (90 mm)     |
| ③ Kokosfasern (5 mm)    | ⑥ RHEPANOL FK        | ⑨ Erdreich                        |

Raumluft:  $20,0^\circ\text{C} / 50\%$

Erdreich:  $0,0^\circ\text{C} / 100\%$

Oberflächentemp.:  $19,2^\circ\text{C} / 0,2^\circ\text{C}$

sd-Wert: 460,2 m

Dicke: 45,6 cm

Gewicht:  $712 \text{ kg/m}^2$

Wärmekapazität:  $749 \text{ kJ/m}^2\text{K}$

☒ GEG 2020/24 Bestand

☒ EnEV Bestand

☒ BEG Einzelmaßn.

☒ GEG 2023/24 Neubau

## U-Wert-Berechnung

#	Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,170
1	Linoleum	0,50	0,190	0,026
2	Zementestrich	5,00	1,400	0,036
3	Kokosfasern	0,50	0,041	0,122
4	AGEPAN TEP	4,00	0,050	0,800
5	AGEPAN TEP	4,00	0,050	0,800
6	RHEPANOL FK	0,15	0,260	0,006
7	Stahlbeton-Fertigteile	22,50	1,750	0,129
8	Holzfaserdämmplatte	9,00	0,044	2,045
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,000

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung abwärts

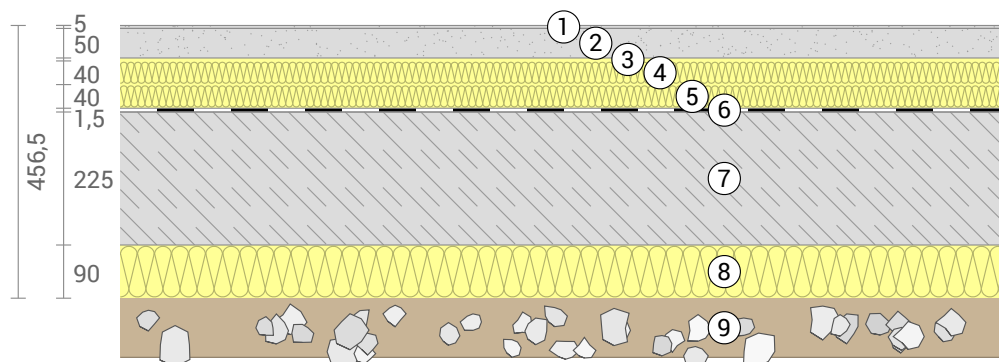
Rse: Wärmestromrichtung abwärts, außen: Erdreich

Wärmedurchgangswiderstand  $R_{\text{tot}} = 4,135 \text{ m}^2\text{K/W}$

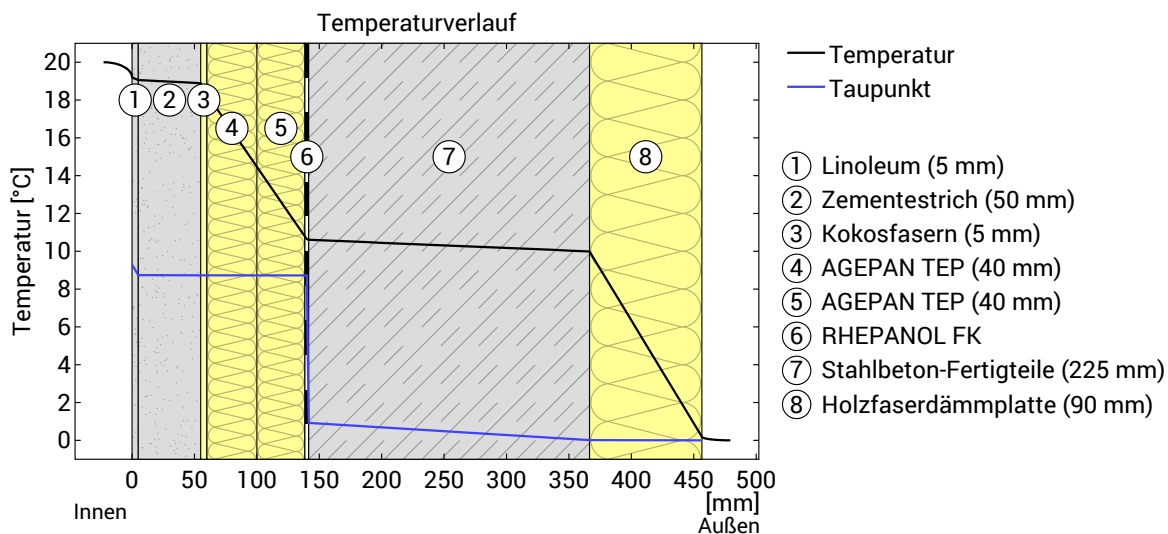
DIN 6946 darf nicht angewendet werden weil das Bauteil an Erdreich grenzt. Für das alternative Verfahren aus DIN V 4108-6 Anhang E fehlen jedoch die benötigten Angaben zu Größe und Lage dieses Bauteils.

Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Berechnet wurde der konstruktive U-Wert. Wärmeverluste über Erdreich oder Keller wurden nicht berücksichtigt weil die dazu notwendigen Angaben fehlen.



## Temperaturverlauf



Verlauf von Temperatur und Taupunkt innerhalb des Bauteils. 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.

## Schichten (von innen nach außen)

#	Material	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m²]
				min	max	
	Wärmeübergangswiderstand*		0,170	19,2	20,0	
1	0,5 cm Linoleum	0,190	0,026	19,1	19,2	6,0
2	5 cm Zementestrich	1,400	0,036	18,9	19,1	110,0
3	0,5 cm Kokosfasern	0,041	0,122	18,3	18,9	0,8
4	4 cm AGEPAN TEP	0,050	0,800	14,5	18,3	9,2
5	4 cm AGEPAN TEP	0,050	0,800	10,6	14,5	9,2
6	0,15 cm RHEPANOL FK	0,260	0,006	10,6	10,6	0,4
7	22,5 cm Stahlbeton-Fertigteile	1,750	0,129	10,0	10,6	562,5
8	9 cm Holzfaserdämmplatte	0,044	2,045	0,2	10,0	14,4
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	0,0	0,2	
9	Erdreich			0,0	0,0	77,6
	45,65 cm Gesamtes Bauteil		4,135			712,4

\*Annahme: Freie Luftzirkulation auf der Bauteilinnenseite.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 19,2°C 19,2°C 19,2°C  
Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): 0,2°C 0,2°C 0,2°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:  $0^\circ\text{C}$  und 100% Luftfeuchtigkeit (Klima gemäß Benutzereingabe).

Innerer Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  (von DIN 4108-3 abweichende Benutzereingabe):  $0.17 \text{ m}^2\text{K/W}$

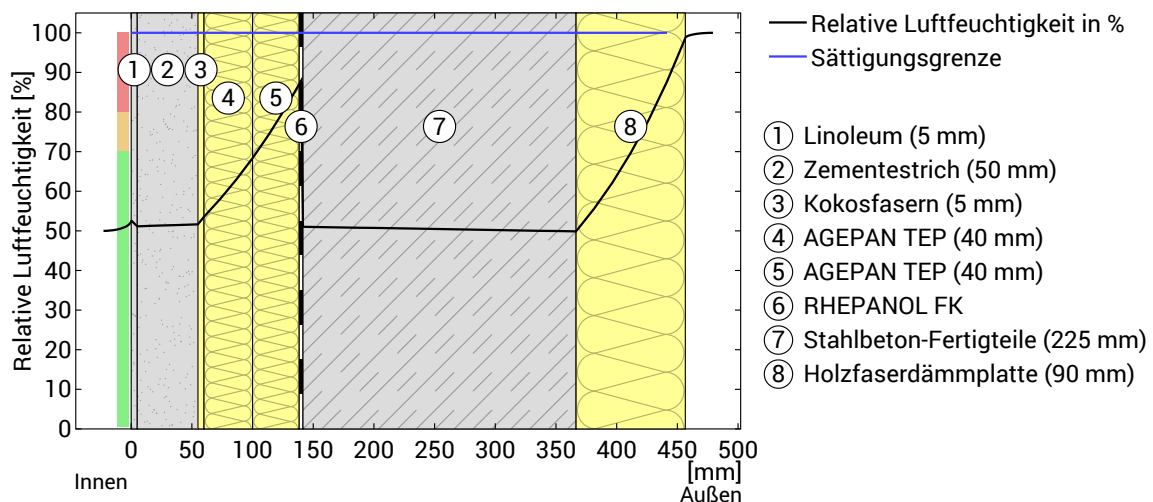
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m <sup>2</sup> ] [Gew.-%]	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
1	0,5 cm Linoleum	35,00	-	6,0
2	5 cm Zementestrich	0,75	-	110,0
3	0,5 cm Kokosfasern	0,01	-	0,8
4	4 cm AGEPAN TEP	0,12	-	9,2
5	4 cm AGEPAN TEP	0,12	-	9,2
6	0,15 cm RHEPANOL FK	390,00	-	0,4
7	22,5 cm Stahlbeton-Fertigteile	33,75	-	562,5
8	9 cm Holzfaserdämmplatte	0,45	-	14,4
	45,65 cm Gesamtes Bauteil	460,20	0	712,4

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt  $19,2^\circ\text{C}$  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.



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 4108-3:2014 Anhang A

DIN 4108-3 ist bei erdberührten Bauteilen nicht anwendbar.

## Hinweise

### Erdberührende Bauteile

Bei erdberührenden Bauteilen müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, die das Eindringen von Feuchtigkeit bzw. Wasser verhindern. Die Berechnung zum Feuchteschutz berücksichtigt nur die Wasserdampfdiffusion.

Berechnet wurde der konstruktive U-Wert. Wärmeverluste über Erdreich oder Keller wurden nicht berücksichtigt weil die dazu notwendigen Angaben fehlen. Klicken Sie auf der Eingabe-Seite auf das Stift-Symbol in der Zeile 'Außen:' um die benötigten Parameter festzulegen.

### Erdreichtemperatur

Die voreingestellte Erdreichtemperatur von  $0^\circ\text{C}$  stellt einen ungünstigen Fall dar, der z.B. am Rand einer Bodenplatte ohne Randdämmung auftreten kann. Die Temperatur des Erdreichs liegt in der Tiefe oder weit innerhalb einer Bodenplatte meist mehrere Grad über dem voreingestellten Wert. Falls die Berechnung Tauwasser aufweist, prüfen Sie, ob eine Erhöhung der Erdreichtemperatur im Eingabeformular gerechtfertigt ist.

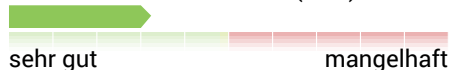
# Holztafelbauweise, Außenwand

Außenwand

## Wärmeschutz

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

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



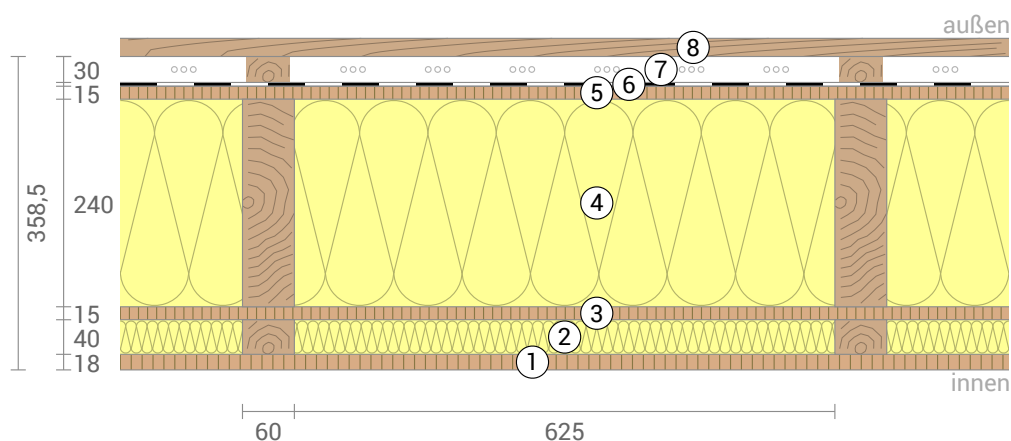
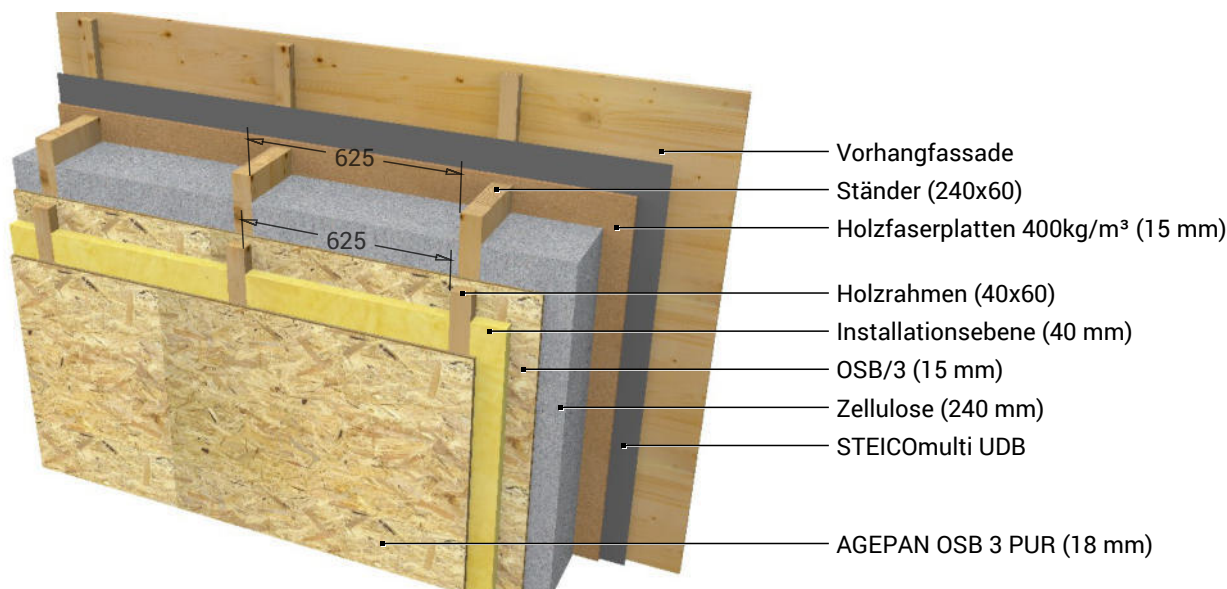
## Feuchteschutz

Trocknungsreserve: 982 g/m<sup>2</sup>a  
Kein Tauwasser



## Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 42  
Phasenverschiebung: 14,2 h  
Wärmekapazität innen: 49 kJ/m<sup>2</sup>K



- |                              |   |                  |
|------------------------------|---|------------------|
| ① AGEPAN OSB 3 PUR (18 mm)   | ④ Zellulose (240 mm)                            | ⑦ Hinterlüftung  |
| ② Installationsebene (40 mm) | ⑤ Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup> (15 mm) | ⑧ Vorhangfassade |
| ③ OSB/3 (15 mm)              | ⑥ STEICOMulti UDB                               |                  |

Raumluft: 20,0°C / 50%

Außenluft: -5,0°C / 80%

Oberflächentemp.: 18,4°C / -4,9°C

sd-Wert: 5,9 m

Trocknungsreserve: 982 g/m<sup>2</sup>a

Dicke: 37,9 cm

Gewicht: 61 kg/m<sup>2</sup>

Wärmekapazität: 84 kJ/m<sup>2</sup>K

☒ GEG 2020/24 Bestand

☒ EnEV Bestand

☒ BEG Einzelmaßn.

☒ GEG 2023/24 Neubau

#	Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
1	AGEPAN OSB 3 PUR	1,80	0,130	0,138
2	Installationsebene	4,00	0,035	1,143
	Holzrahmen (KVH) (8,8%)	4,00	0,130	0,308
3	OSB/3	1,50	0,130	0,115
4	Zellulose	24,00	0,040	6,000
	Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	24,00	0,130	1,846
5	Holzfaserplatten 400kg/m³	1,50	0,100	0,150
6	STEICOMulti UDB	0,05	0,170	0,003
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,130

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



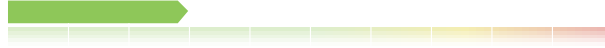
## Ökobilanz

Wärmeverlust:  $12 \text{ kWh/m}^2$  pro Heizperiode



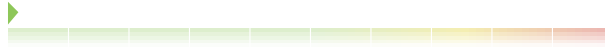
Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter dieses Bauteils während der Heizperiode entweicht. Bitte beachten: Wegen interner und solarer Gewinne ist der Heizwärmebedarf geringer als der Wärmeverlust.

Primärenergie (nicht erneuerbar):  $>98 \text{ kWh/m}^2$



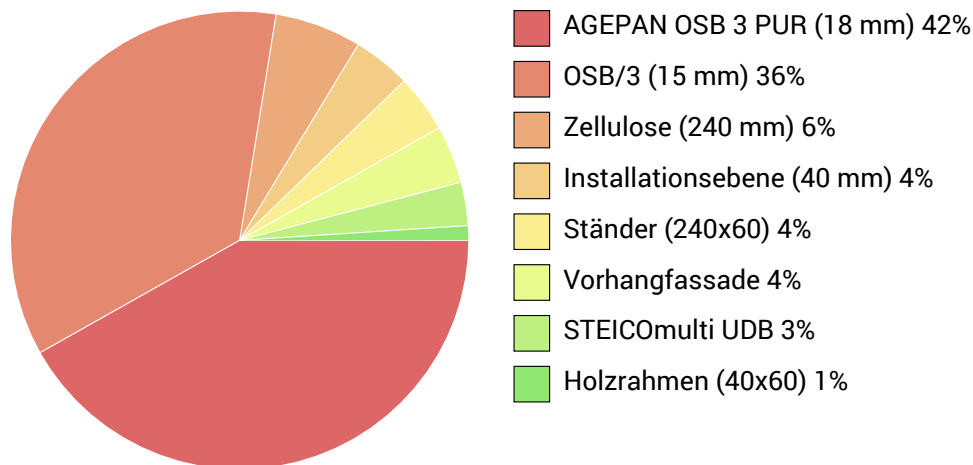
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

Treibhauspotential:  $-71 \text{ (?) kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$

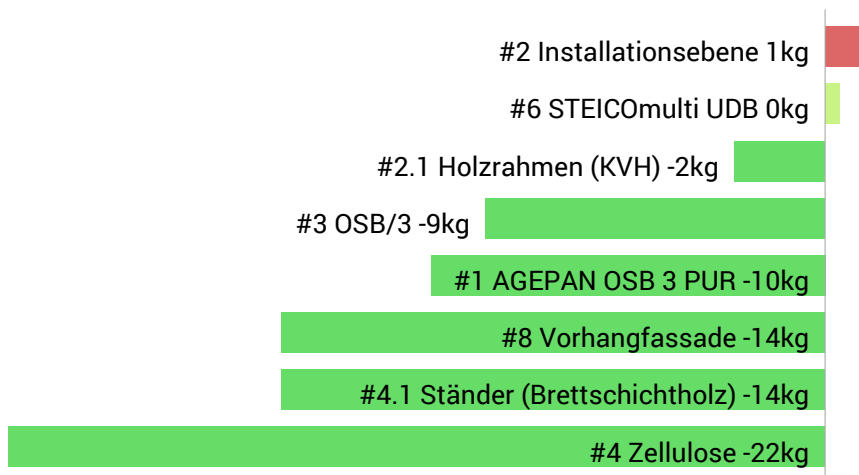


Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:

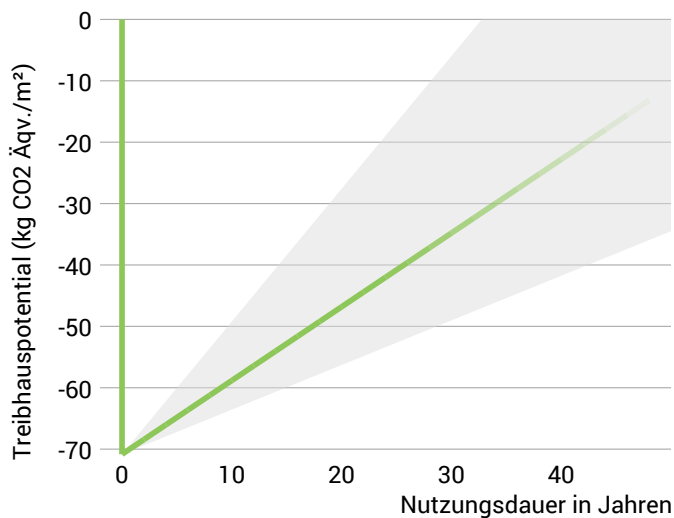


Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



Achtung: Mindestens eine Schicht konnte nicht berücksichtigt werden, weil deren Primärenergieinhalt und/oder Treibhauspotential unbekannt ist.

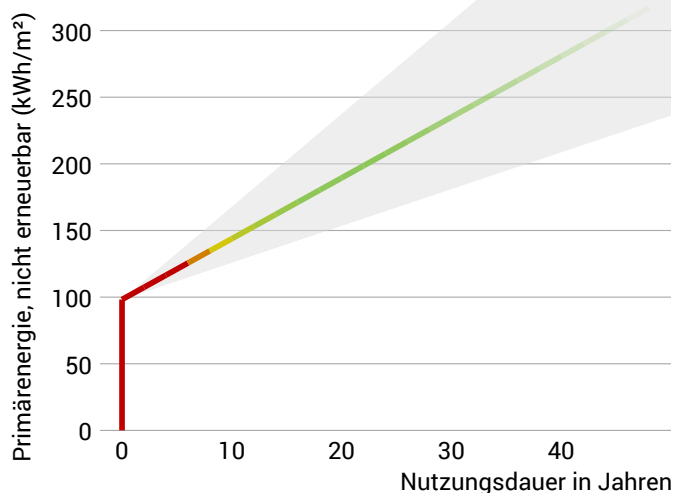
## Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



Die **Abbildung links** zeigt im senkrechten Teil der Kurve das Treibhauspotential der Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes entstehenden Treibhausgasemissionen (durch die Beheizung) sind durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Die **Abbildung links unten** zeigt im senkrechten Teil der Kurve den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand für die Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes benötigte Primärenergie (durch die Beheizung) ist durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Je länger das Bauteil unverändert genutzt wird, umso umweltfreundlicher ist es, weil der Herstellungsaufwand weniger zu den Gesamtemissionen beiträgt (angedeutet durch die Farbe der Kurve).



Wegen unbekannter solarer und interner Gewinne kann der Heizwärmebedarf nur geschätzt werden. Dementsprechend sind Primärenergieaufwand und Treibhauspotential während der Nutzungsphase nur ungenau bekannt. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass solare und interne Gewinne mit  $4 \text{ kWh/a/m}^2$  Bauteilfläche beitragen. Die hellgrauen Fläche kennzeichnen den Bereich, in dem die Kurve mit großer Sicherheit liegt. Für die Wärmeerzeugung wurde ein Primärenergieaufwand von  $0,60 \text{ kWh pro kWh Wärme}$  und ein Treibhauspotential von  $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2 \text{ pro kWh Wärme}$  angesetzt. Wärmequelle: Wärmepumpe (Luft).

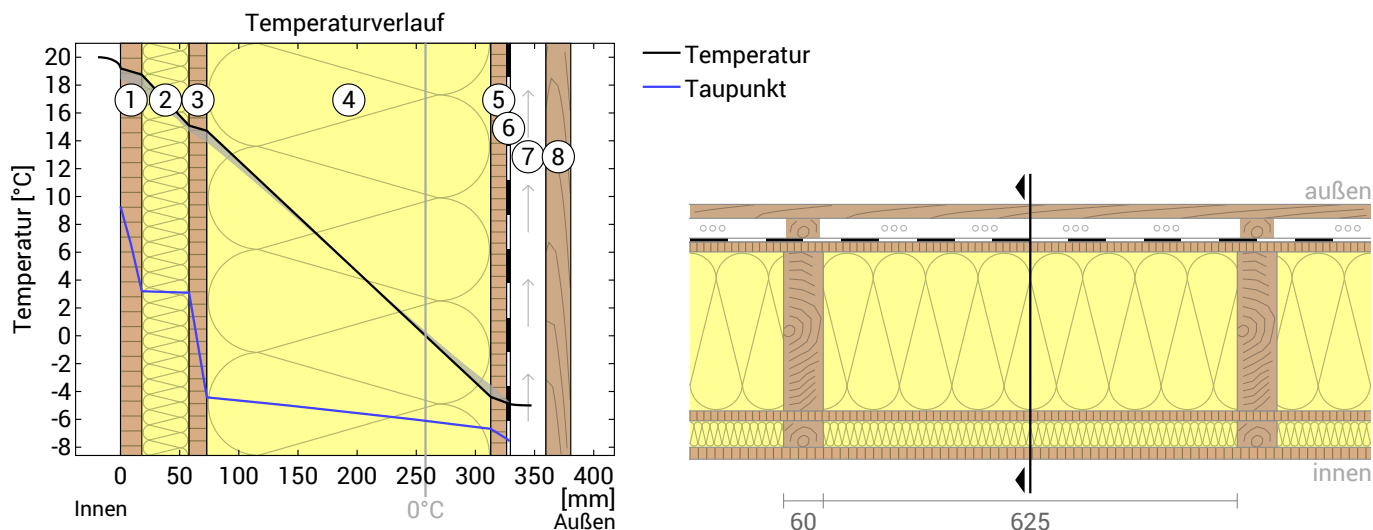
### Hinweise

Achtung: Mindestens eine Schicht konnte nicht berücksichtigt werden, weil deren Primärenergieinhalt und/oder Treibhauspotential unbekannt ist.

Berechnet für den Standort DIN V 18599, Heizperiode von Mitte Oktober bis Ende April. Die Berechnung basiert auf monatlichen Temperatur-Mittelwerten. Quelle: DIN V 18599-10:2007-02

Die dieser Berechnung zugrunde liegenden Klima- und Energiedaten können zum Teil starke Schwankungen aufweisen und im Einzelfall erheblich vom tatsächlichen Wert abweichen.

## Temperaturverlauf



- |                              |   |                  |
|------------------------------|---|------------------|
| ① AGEPAN OSB 3 PUR (18 mm)   | ④ Zellulose (240 mm)                            | ⑦ Hinterlüftung  |
| ② Installationsebene (40 mm) | ⑤ Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup> (15 mm) | ⑧ Vorhangfassade |
| ③ OSB/3 (15 mm)              | ⑥ STEICOmuli UDB                                |                  |

**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	18,4	20,0	
1	1,8 cm AGEPAN OSB 3 PUR	0,130	0,138	17,5	19,2	10,8
2	4 cm Installationsebene	0,035	1,143	14,7	18,8	0,7
	4 cm Holzrahmen (KVH) (8,8%)	0,130	0,308	14,9	17,8	1,6
3	1,5 cm OSB/3	0,130	0,115	13,9	15,1	9,3
4	24 cm Zellulose	0,040	6,000	-4,4	14,7	13,1
	24 cm Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	0,130	1,846	-3,6	14,0	9,5
5	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,100	0,150	-4,9	-3,5	6,0
6	0,05 cm STEICOmuli UDB	0,170	0,003	-4,9	-4,7	0,1
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,7	
7	Hinterlüftung (Außenluft)			-5,0	-5,0	0,0
8	Vorhangfassade			-5,0	-5,0	9,5
37,95 cm Gesamtes Bauteil			6,709			60,6

\*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): 18,4°C 19,1°C 19,2°C  
Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,9°C -4,9°C -4,7°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.

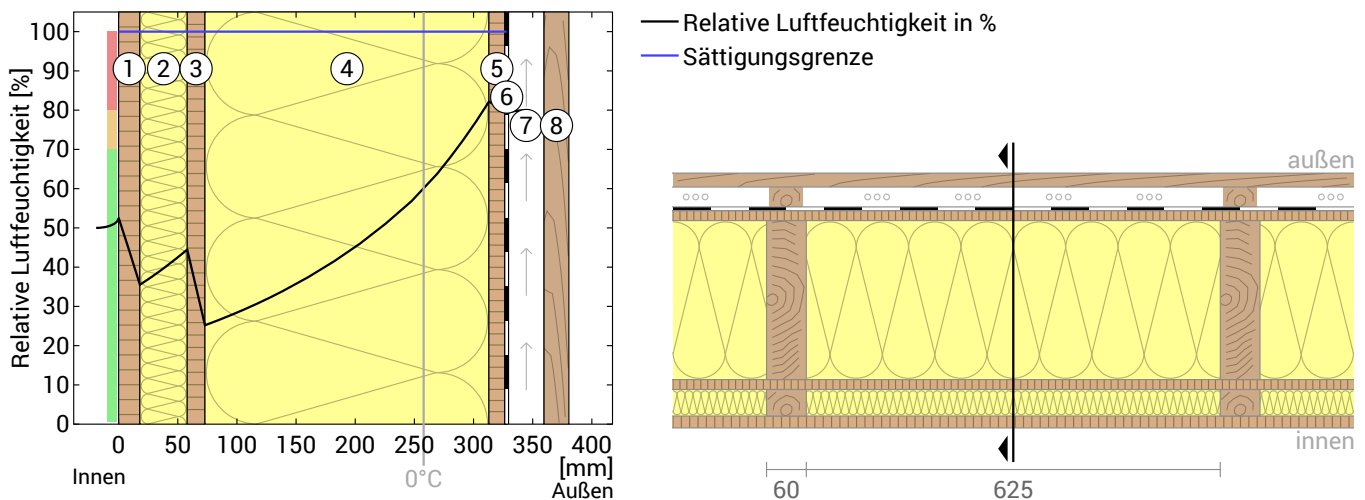
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2014:  $982 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$   
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert:  $100 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser		Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
			[kg/m <sup>2</sup> ]	[Gew.-%]	
1	1,8 cm AGEPAN OSB 3 PUR	2,70	-	-	10,8
2	4 cm Installationsebene	0,04	-	-	0,7
	4 cm Holzrahmen (KVH) (8,8%)	0,80	-	-	1,6
3	1,5 cm OSB/3	2,25	-	-	9,3
4	24 cm Zellulose	0,48	-	-	13,1
	24 cm Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	12,00	-	-	9,5
5	1,5 cm Holzfaserplatten $400\text{kg}/\text{m}^3$	0,15	-	-	6,0
6	0,05 cm STEICOmuli UDB	0,02	-	-	0,1
	37,95 cm Gesamtes Bauteil	5,93	0		60,6

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt  $18,4^\circ\text{C}$  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 AGEPAN OSB 3 PUR (18 mm)   | ④ Zellulose (240 mm)                                 | ⑦ Hinterlüftung  |
| ② Installationsebene (40 mm) | ⑤ Holzfaserplatten $400\text{kg}/\text{m}^3$ (15 mm) | ⑧ Vorhangfassade |
| ③ OSB/3 (15 mm)              | ⑥ STEICOmuli UDB                                     |                  |

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 4108-3:2014 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	1,8 cm AGEPAN OSB 3 PUR	0,130	0,138	2,7	600	19,20	2225	0
2	4 cm Installationsebene	0,035	1,143	0,04	20	18,76	2164	2,7
3	1,5 cm OSB/3	0,130	0,115	2,25	620	15,12	1717	2,74
4	24 cm Zellulose	0,040	6,000	0,24	60	14,75	1677	4,99
5	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,100	0,150	0,15	400	-4,38	423	5,23
6	0,05 cm STEICOMulti UDB	0,170	0,003	0,1	270	-4,86	406	5,38
Wärmeübergangswiderstand			0,040			-4,87	406	5,48

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 53%. 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)

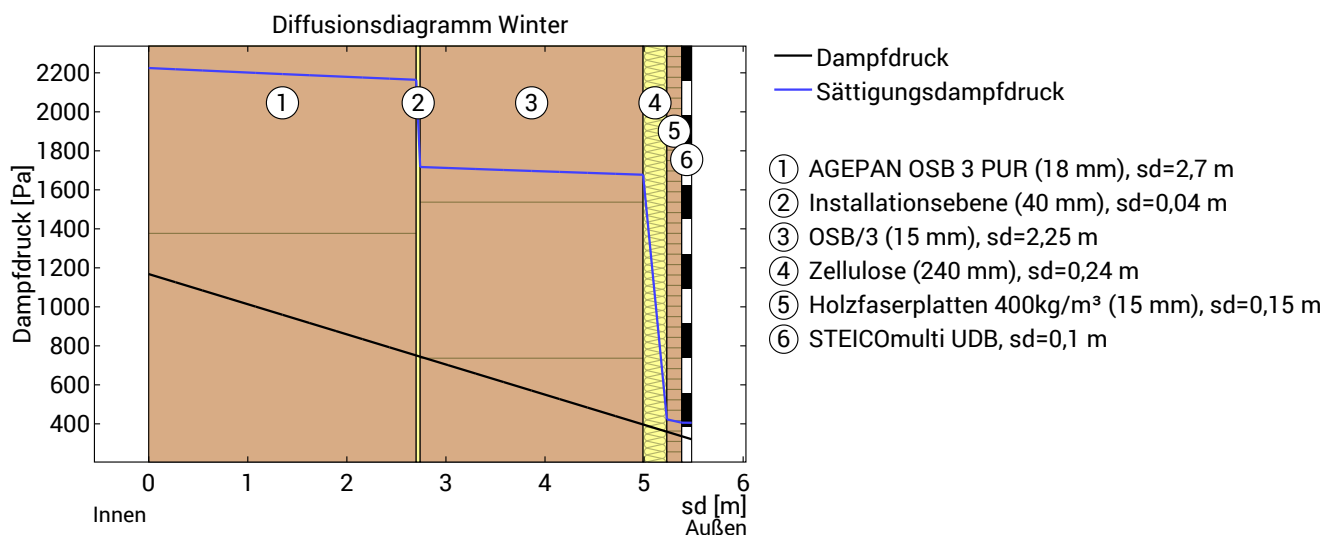
$t_c = 7776000 \text{ s}$

Wasserdampf-Diffusionskoeffizient 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)

$s_{de} = 5,48 \text{ m}$



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:

$s_d=5,23 \text{ m}$ ;  $x=31,3 \text{ cm}$ ;  $p_s=423 \text{ Pa}$ :

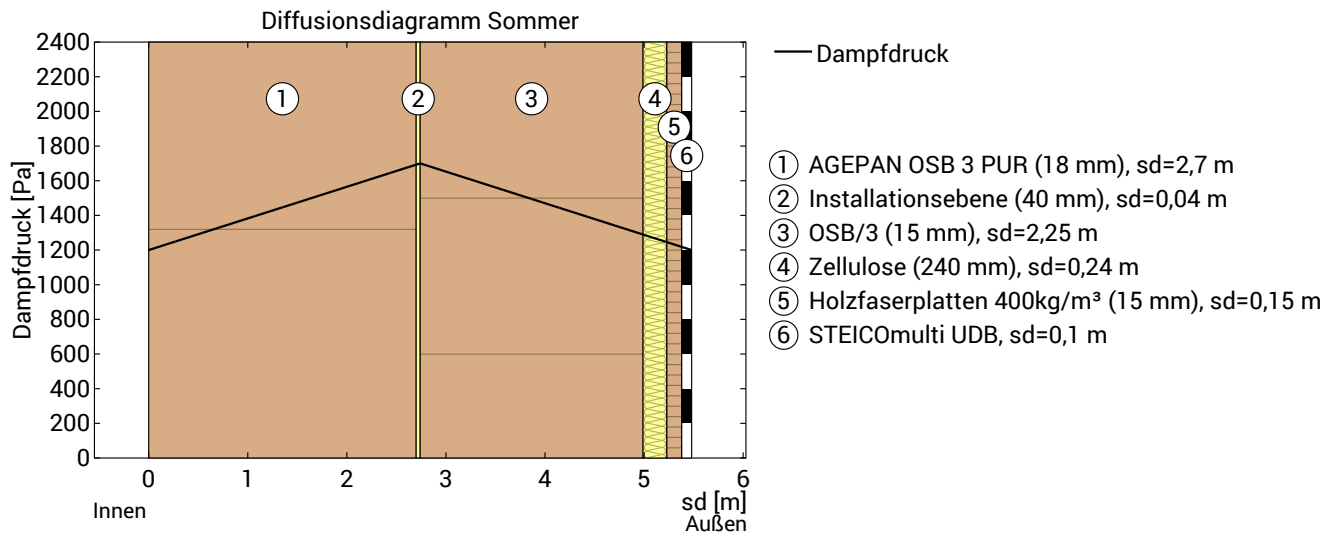
Schichtgrenze zwischen Zellulose und Holzfaserplatten 400kg/m<sup>3</sup>

$$M_{ev, \text{Tauperiode}} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i)/s_{d_{ev}} + (p_s - p_e)/(s_{de} - s_{d_{ev}})) = 0,414 \text{ kg/m}^2$$

## 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 mit der geringsten Verdunstungsmasse innerhalb des Holz enthaltenden Bereichs:

bei  $s_d=2,74 \text{ m}$ , innerhalb Schicht OSB/3:

Verdunstungsmenge:  $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot [(p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_{de} - s_d)] = 0,57 \text{ kg}/\text{m}^2$

### Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

### Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.

Trocknungsreserve:  $M_r = (M_{ev} + M_{ev,Tauperiode}) \cdot 1000 = 982 \text{ g}/\text{m}^2/\text{a}$

Mindestens gefordert bei Wänden und Decken:  $100 \text{ g}/\text{m}^2/\text{a}$



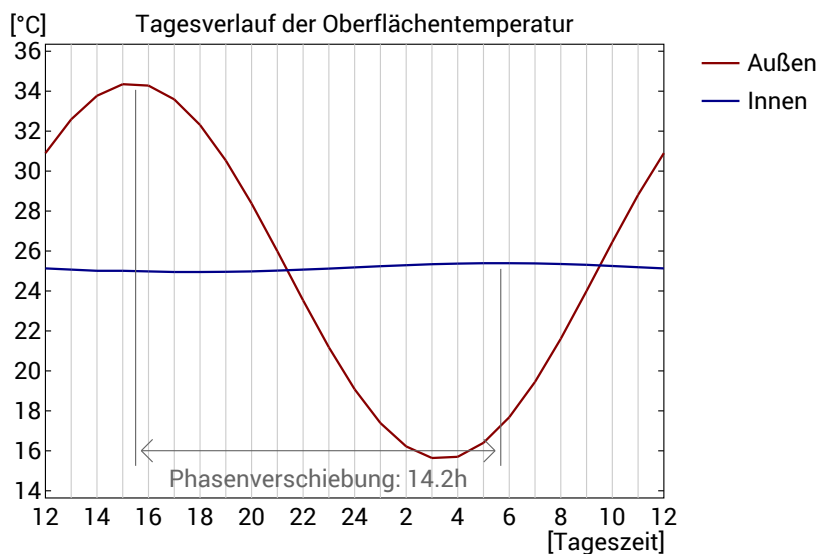
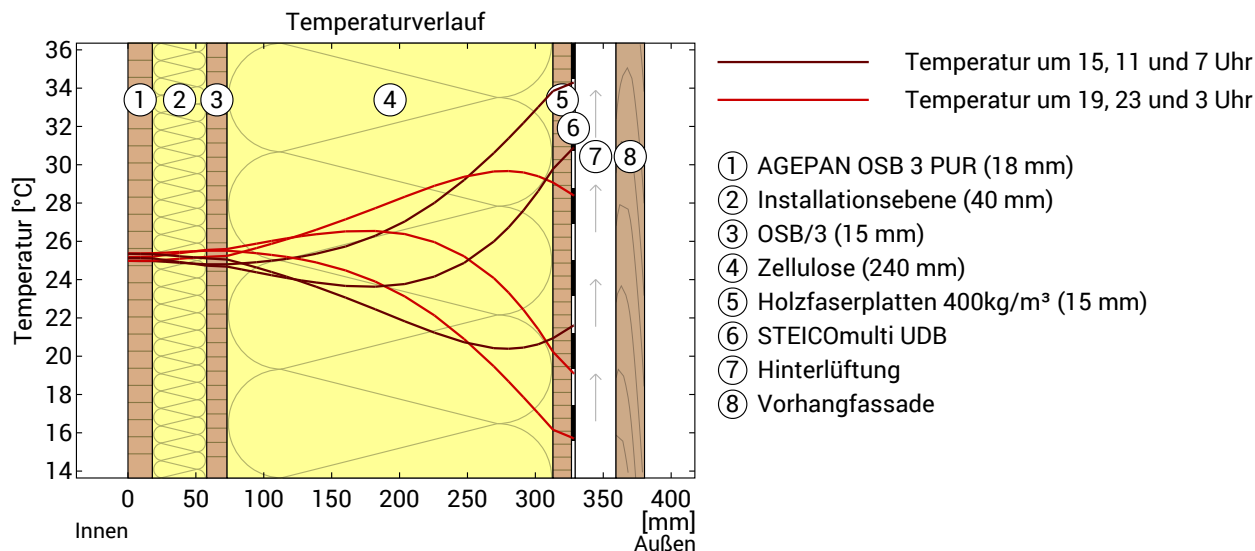
### Hinweise

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.

## 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*	14,2 h	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	84 kJ/m²K
Amplitudendämpfung**	42,4	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	49 kJ/m²K
TAV***	0,024		

\* 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.

## 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.

### Außenliegender sd-Wert < 10cm

Für Schicht 'STEICOMulti UDB' wurde mit einem sd-Wert < 10cm gerechnet. DIN 4108-3 enthält dazu folgenden Hinweis:

"Für außenseitig auf Bauteilen bzw. außenseitig von Wärmedämmungen vorhandene Schichten mit nach DIN EN ISO 12572 ermittelten wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken  $sd < 0,1\text{m}$  ist in der Berechnung  $sd = 0,1\text{m}$  anzusetzen. ANMERKUNG Nach DIN EN ISO 12572 ermittelte sd-Werte < 0,1m beinhalten eine erhebliche Messunsicherheit."

Bitte erhöhen Sie den sd-Wert manuell auf 10cm, wenn Sie dies wünschen.

Verbundvorhaben:

Standard Holzbausysteme mit nachwachsenden Rohstoffen zur Förderung der Verwendung von Holz plus nachwachsende Rohstoffe bei öffentlichen Gebäuden

Akronym: HO\_SY

Anhang, 4. A- Bauphysikalische-Analyse-AP5.pdf

Teil 2: Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der **Holzmodulbauweise**

Für die Holzmodulbauweise wurde ein exemplarischer Außenwandaufbau untersucht, wie er typischerweise bei vollständig vorgefertigten Raumzellen zum Einsatz kommt.

# Holzmodulbauweise, Außenwand

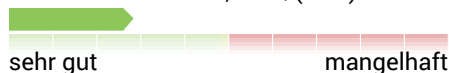
Außenwand

Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der Holzmodulbauweise

## Wärmeschutz

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

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



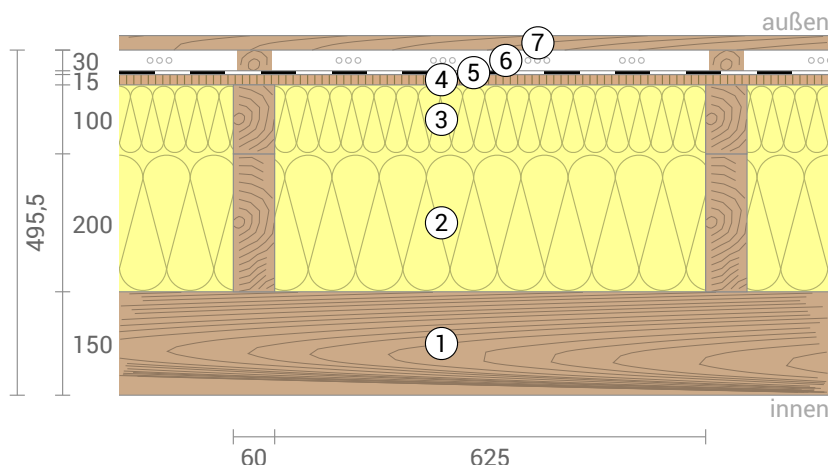
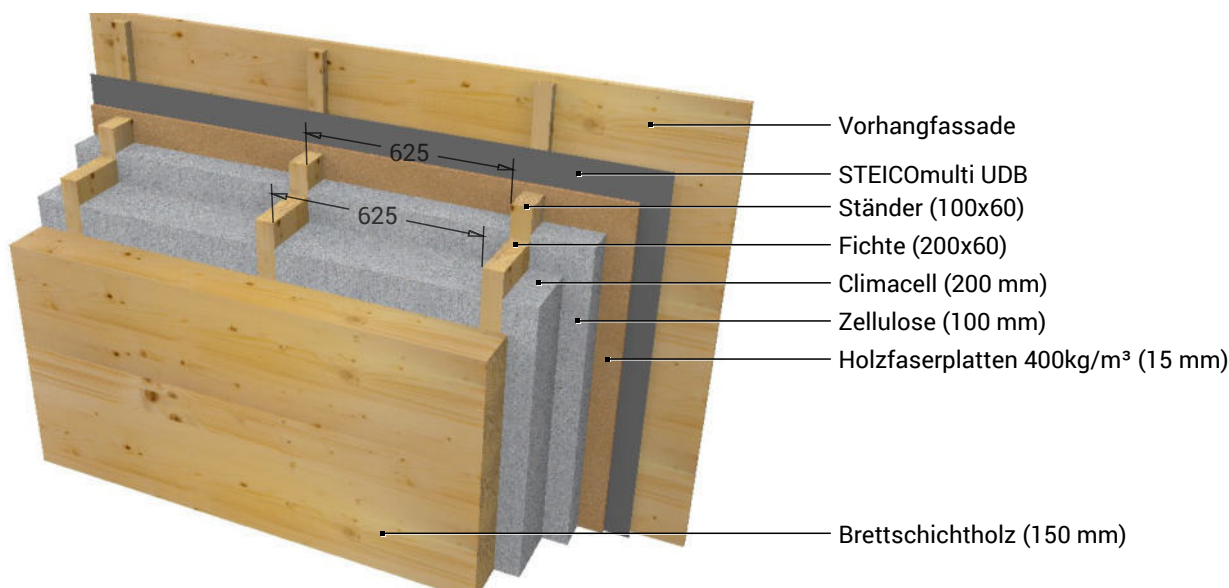
## Feuchteschutz

Trocknungsreserve:  $909 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$   
Kein Tauwasser



## Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung:  $>100$   
Phasenverschiebung: nicht relevant  
Wärmekapazität innen:  $116 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- |                             |                                     |                  |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------|
| ① Brettschichtholz (150 mm) | ④ Holzfaserplatten 400kg/m³ (15 mm) | ⑦ Vorhangfassade |
| ② Climacell (200 mm)        | ⑤ STEICOMulti UDB                   |                  |
| ③ Zellulose (100 mm)        | ⑥ Hinterlüftung                     |                  |

Raumluft:  $20,0^\circ\text{C} / 50\%$

Außenluft:  $-5,0^\circ\text{C} / 80\%$

Oberflächentemp.:  $19,1^\circ\text{C} / -4,9^\circ\text{C}$

sd-Wert:  $6,7 \text{ m}$

Trocknungsreserve:  $909 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$

Dicke:  $51,6 \text{ cm}$

Gewicht:  $105 \text{ kg}/\text{m}^2$

Wärmekapazität:  $162 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

☒ EnEV Bestand ☒ BEG Einzelmaßn. ☒ GEG 2020/24 Bestand ☒ GEG 2023/24 Neubau

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

#	Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
1	Brettschichtholz (BSH)	15,00	0,150	1,000
2	Climacell	20,00	0,040	5,000
	Fichte (8,8%)	20,00	0,130	1,538
3	Zellulose	10,00	0,040	2,500
	Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	10,00	0,130	0,769
4	Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	1,50	0,100	0,150
5	STEICOMulti UDB	0,05	0,170	0,003
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,130

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Hinterlüftete Vorhangfassade

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot};\text{upper}} = 7,942 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot};\text{lower}} = 7,678 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

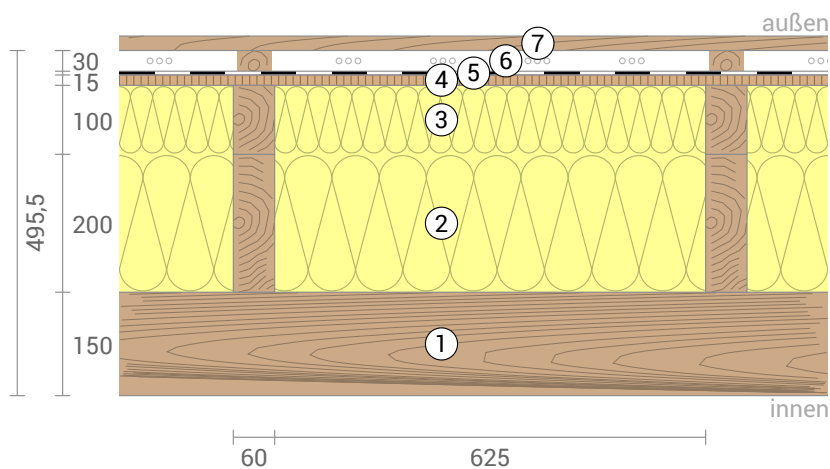
Prüfe Anwendbarkeit:  $R_{\text{tot};\text{upper}} / R_{\text{tot};\text{lower}} = 1,034$  (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand  $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot};\text{upper}} + R_{\text{tot};\text{lower}})/2 = 7,810 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 1,7%

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





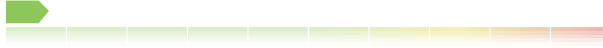
## Ökobilanz

Wärmeverlust:  $10 \text{ kWh/m}^2$  pro Heizperiode



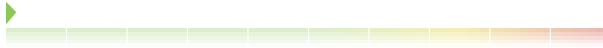
Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter dieses Bauteils während der Heizperiode entweicht. Bitte beachten: Wegen interner und solarer Gewinne ist der Heizwärmebedarf geringer als der Wärmeverlust.

Primärenergie (nicht erneuerbar):  $>19 \text{ kWh/m}^2$



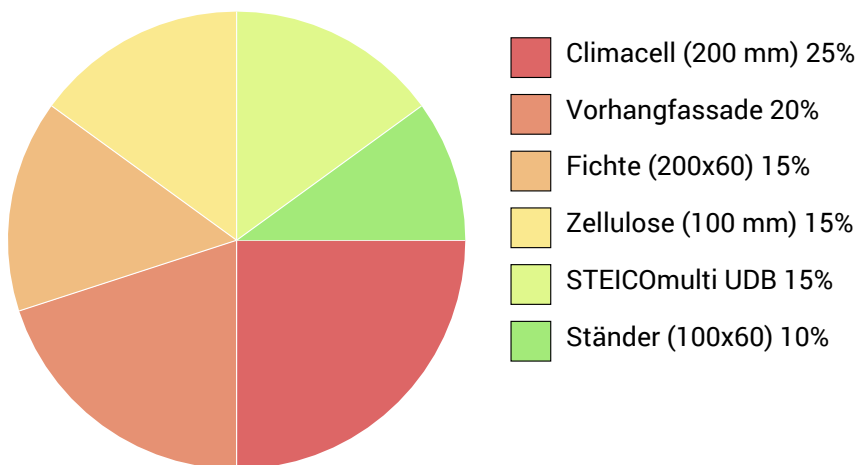
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

Treibhauspotential:  $-56 (?) \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$

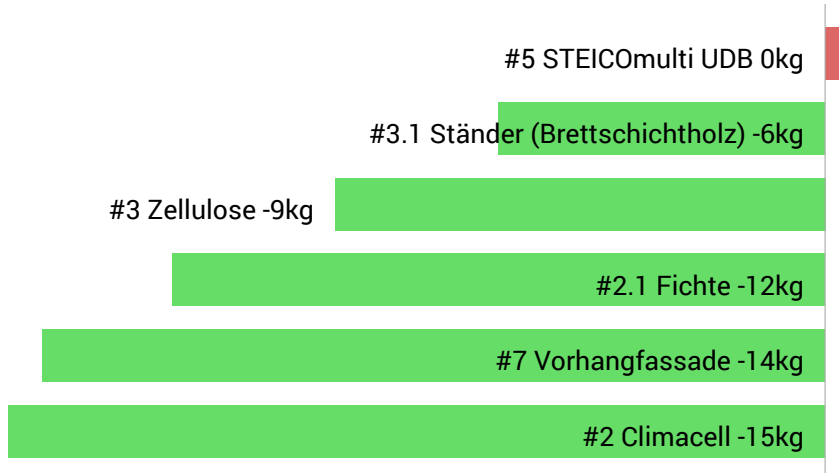


Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:

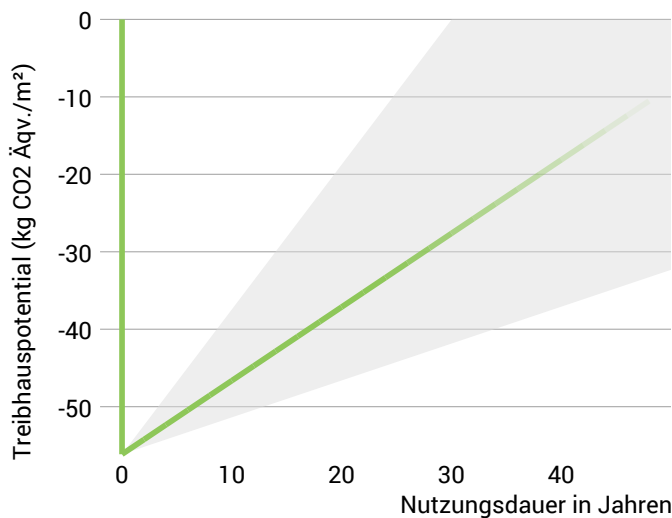


Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



Achtung: Mindestens eine Schicht konnte nicht berücksichtigt werden, weil deren Primärenergieinhalt und/oder Treibhauspotential unbekannt ist.

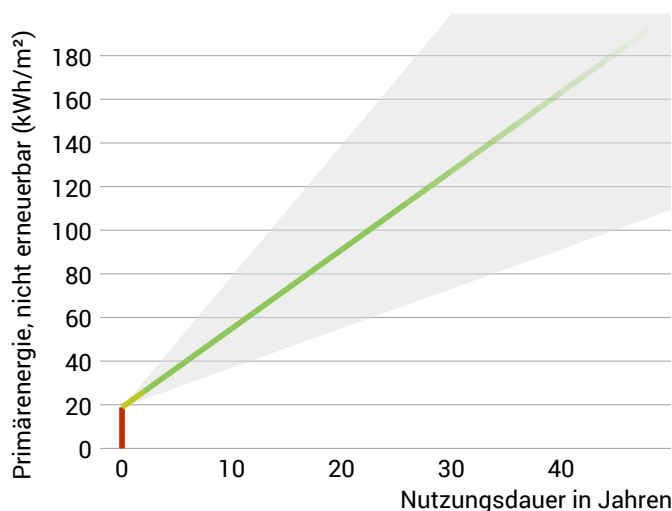
## Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



Die **Abbildung links** zeigt im senkrechten Teil der Kurve das Treibhauspotential der Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes entstehenden Treibhausgasemissionen (durch die Beheizung) sind durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Die **Abbildung links unten** zeigt im senkrechten Teil der Kurve den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand für die Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes benötigte Primärenergie (durch die Beheizung) ist durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Je länger das Bauteil unverändert genutzt wird, umso umweltfreundlicher ist es, weil der Herstellungsaufwand weniger zu den Gesamtemissionen beiträgt (angedeutet durch die Farbe der Kurve).



Wegen unbekannter solarer und interner Gewinne kann der Heizwärmebedarf nur geschätzt werden. Dementsprechend sind Primärenergieaufwand und Treibhauspotential während der Nutzungsphase nur ungenau bekannt. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass solare und interne Gewinne mit  $4 \text{ kWh/a/m}^2$  Bauteilfläche beitragen. Die hellgrauen Fläche kennzeichnen den Bereich, in dem die Kurve mit großer Sicherheit liegt. Für die Wärmeerzeugung wurde ein Primärenergieaufwand von  $0,60 \text{ kWh pro kWh Wärme}$  und ein Treibhauspotential von  $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2 \text{ pro kWh Wärme}$  angesetzt. Wärmequelle: Wärmepumpe (Luft).

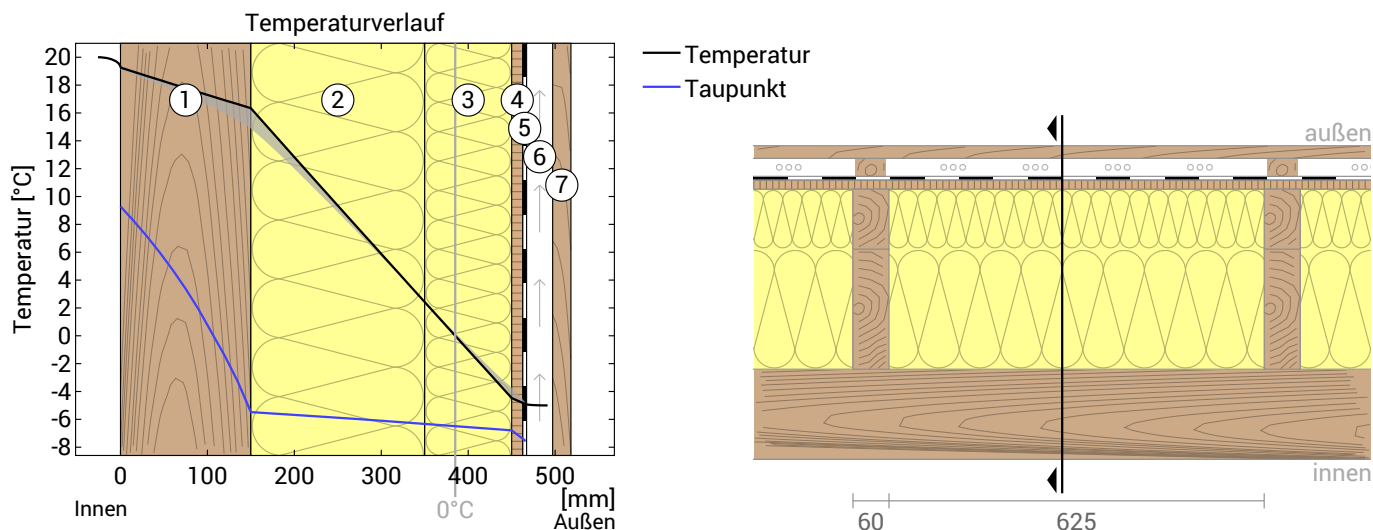
### Hinweise

Achtung: Mindestens eine Schicht konnte nicht berücksichtigt werden, weil deren Primärenergieinhalt und/oder Treibhauspotential unbekannt ist.

Berechnet für den Standort DIN V 18599, Heizperiode von Mitte Oktober bis Ende April. Die Berechnung basiert auf monatlichen Temperatur-Mittelwerten. Quelle: DIN V 18599-10:2007-02

Die dieser Berechnung zugrunde liegenden Klima- und Energiedaten können zum Teil starke Schwankungen aufweisen und im Einzelfall erheblich vom tatsächlichen Wert abweichen.

## Temperaturverlauf



- ① Brettischtholz (150 mm)      ④ Holzfaserplatten 400kg/m<sup>3</sup> (15 mm)      ⑦ Vorhangfassade  
 ② Climacell (200 mm)      ⑤ STEICOMulti UDB  
 ③ Zellulose (100 mm)      ⑥ Hinterlüftung

**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	19,1	20,0	
1	15 cm Brettischtholz (BSH)	0,150	1,000	14,9	19,3	63,0
2	20 cm Climacell	0,040	5,000	2,4	16,3	9,1
	20 cm Fichte (8,8%)	0,130	1,538	2,5	15,1	7,9
3	10 cm Zellulose	0,040	2,500	-4,5	2,4	5,5
	10 cm Ständer (Brettischtholz) (8,8%)	0,130	0,769	-3,8	2,5	3,9
4	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,100	0,150	-4,9	-3,7	6,0
5	0,05 cm STEICOMulti UDB	0,170	0,003	-4,9	-4,7	0,1
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,7	
6	Hinterlüftung (Außenluft)			-5,0	-5,0	0,0
7	Vorhangfassade			-5,0	-5,0	9,5
51,65 cm Gesamtes Bauteil			7,772			105,0

\*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): 19,1°C 19,2°C 19,3°C  
 Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,9°C -4,9°C -4,7°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.

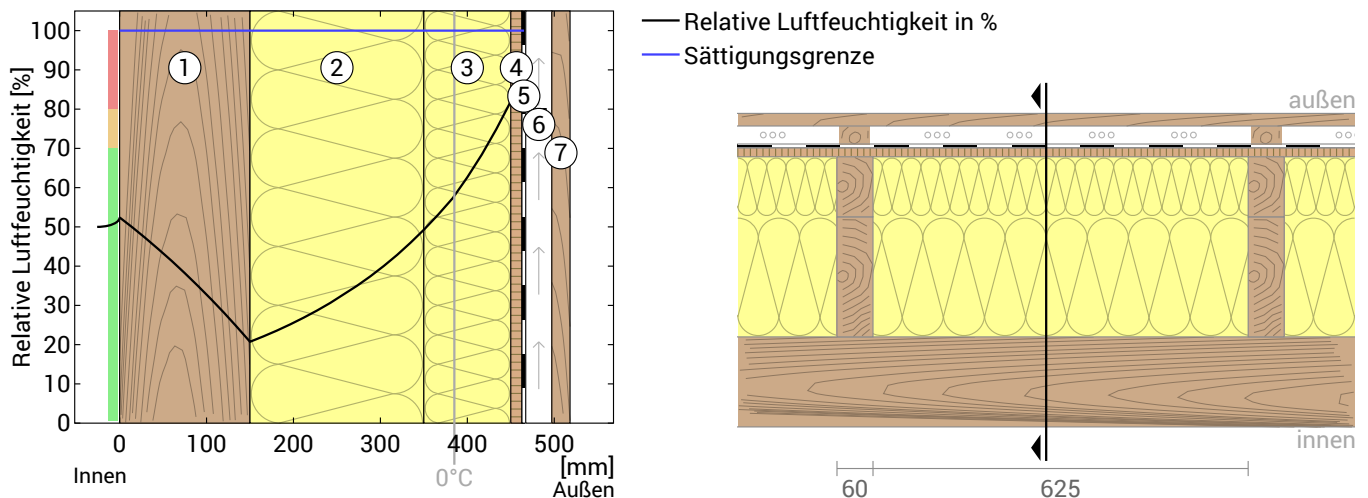
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2014:  $909 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$   
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert:  $100 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser		Gewicht
			[kg/m <sup>2</sup> ]	[Gew.-%]	[kg/m <sup>2</sup> ]
1	15 cm Brettschichtholz (BSH)	6,00	-	-	63,0
2	20 cm Climacell	0,20	-	-	9,1
	20 cm Fichte (8,8%)	4,00	-	-	7,9
3	10 cm Zellulose	0,10	-	-	5,5
	10 cm Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	5,00	-	-	3,9
4	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,15	-	-	6,0
5	0,05 cm STEICOMulti UDB	0,02	-	-	0,1
	51,65 cm Gesamtes Bauteil	6,74	0		105,0

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt  $19,1^\circ\text{C}$  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 Brettschichtholz (150 mm)
- ② Climacell (200 mm)
- ③ Zellulose (100 mm)
- ④ Holzfaserplatten 400kg/m<sup>3</sup> (15 mm)
- ⑤ STEICOMulti UDB
- ⑥ Hinterlüftung
- ⑦ Vorhangfassade

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 4108-3:2014 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	15 cm Brettschichtholz (BSH)	0,150	1,000	6	420	19,30	2238	0
2	20 cm Climacell	0,040	5,000	0,2	50	16,51	1878	6
3	10 cm Zellulose	0,040	2,500	0,1	60	2,53	732	6,2
4	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,100	0,150	0,15	400	-4,46	420	6,3
5	0,05 cm STEICOmulti UDB	0,170	0,003	0,1	270	-4,88	405	6,45
Wärmeübergangswiderstand			0,040			-4,89	405	6,55

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

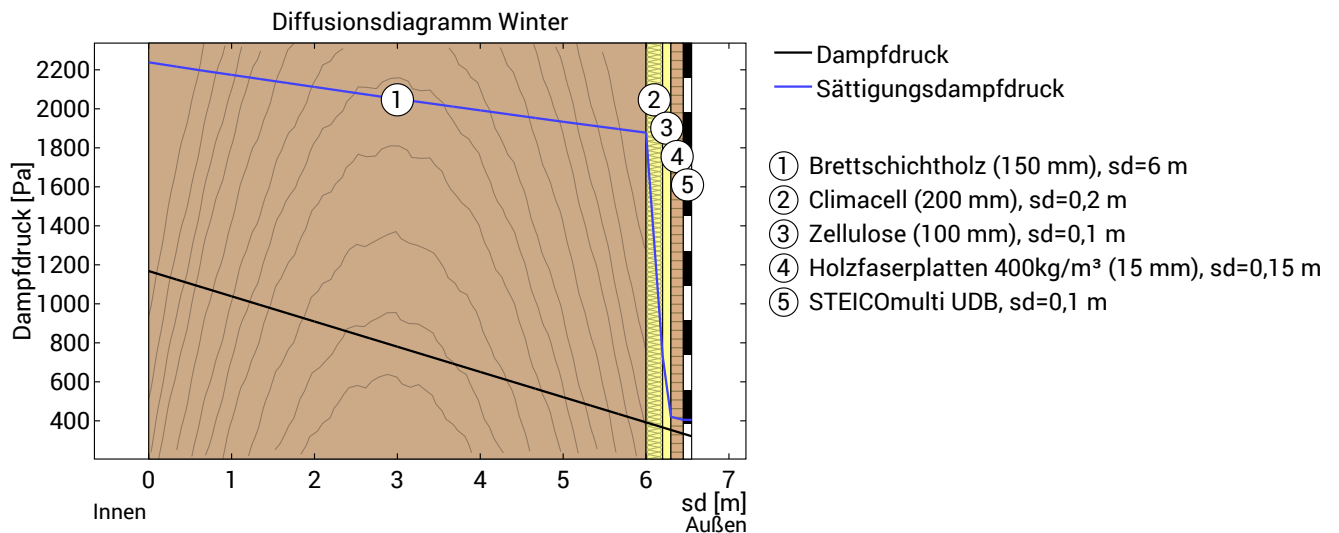
### Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche

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-Diffusionskoeffizient in ruhender Luft	$\delta_0 = 2.0 \text{ E-}10 \text{ kg/(m}^2\text{sPa)}$
sd-Wert (gesamtes Bauteil)	$s_{de} = 6,55 \text{ m}$



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:

$s_d=6,30 \text{ m}$ ;  $x=45 \text{ cm}$ ;  $p_s=420 \text{ Pa}$ :

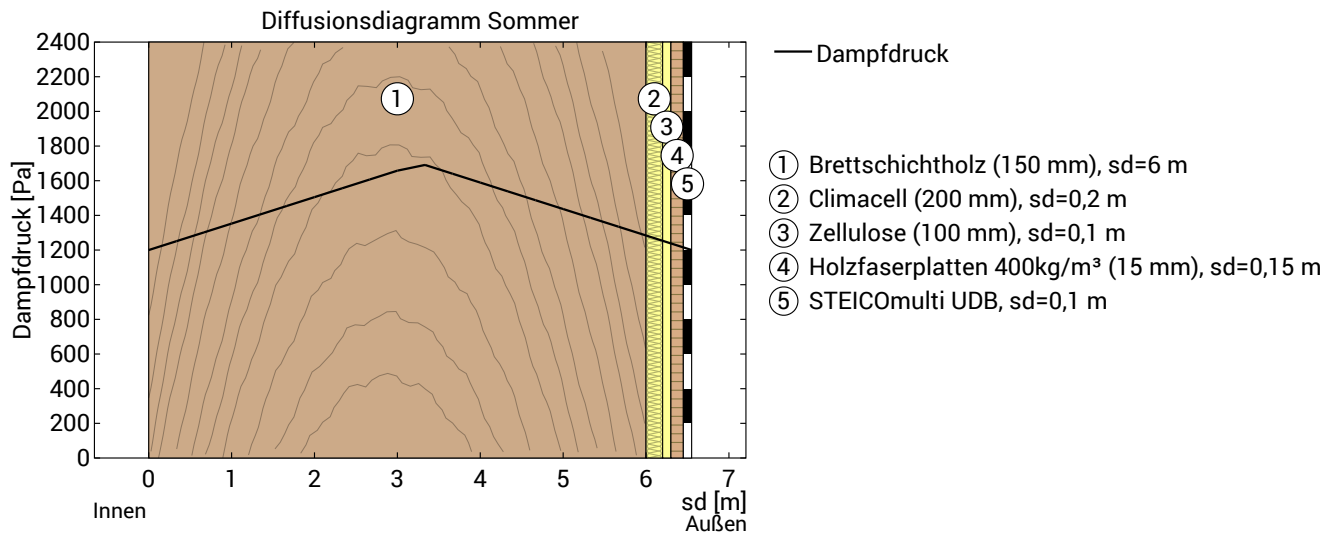
Schichtgrenze zwischen Zellulose und Holzfaserplatten 400kg/m<sup>3</sup>

$$M_{ev, \text{Tauperiode}} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d_{ev}} + (p_s - p_e) / (s_{de} - s_{d_{ev}})) = 0,434 \text{ kg/m}^2$$

## 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 mit der geringsten Verdunstungsmasse innerhalb des Holz enthaltenden Bereichs:

bei  $s_d=3,28 \text{ m}$ , innerhalb Schicht Brettschichtholz (BSH):

Verdunstungsmenge:  $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot [(p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_{de} - s_d)] = 0,47 \text{ kg/m}^2$

### Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

### Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.

Trocknungsreserve:  $M_r = (M_{ev} + M_{ev, \text{Tauperiode}}) \cdot 1000 = 909 \text{ g/m}^2/\text{a}$

Mindestens gefordert bei Wänden und Decken:  $100 \text{ g/m}^2/\text{a}$



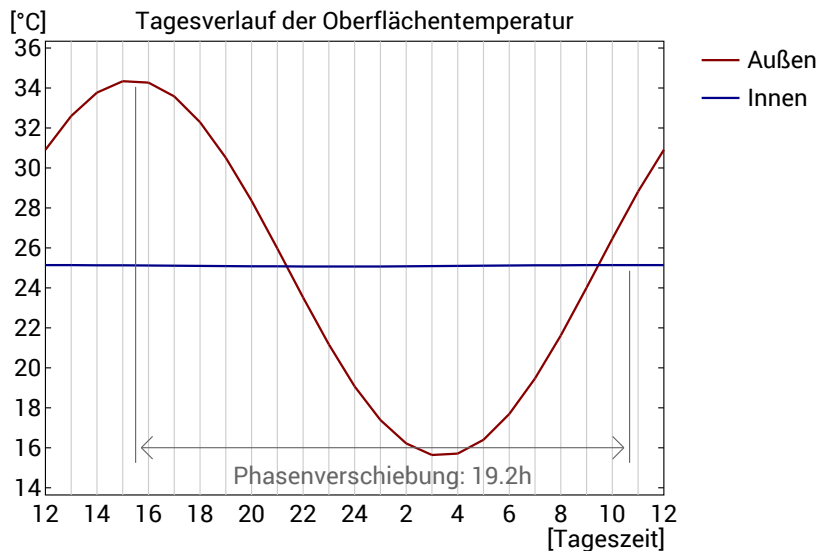
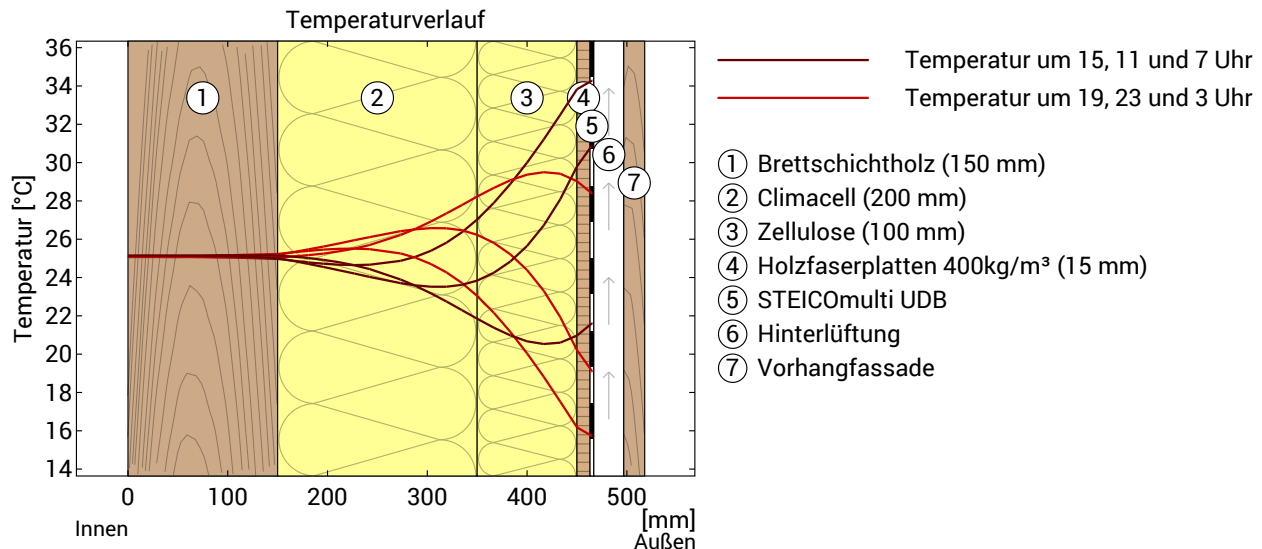
### Hinweise

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.

## 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*	nicht relevant	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	162 kJ/m²K
Amplitudendämpfung**	>100	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	116 kJ/m²K
TAV***	0,004		

\* 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.



## 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.

### Außenliegender sd-Wert < 10cm

Für Schicht 'STEICOMulti UDB' wurde mit einem sd-Wert < 10cm gerechnet. DIN 4108-3 enthält dazu folgenden Hinweis:

"Für außenseitig auf Bauteilen bzw. außenseitig von Wärmedämmungen vorhandene Schichten mit nach DIN EN ISO 12572 ermittelten wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken  $sd < 0,1\text{m}$  ist in der Berechnung  $sd = 0,1\text{m}$  anzusetzen. ANMERKUNG Nach DIN EN ISO 12572 ermittelte sd-Werte < 0,1m beinhalten eine erhebliche Messunsicherheit."

Bitte erhöhen Sie den sd-Wert manuell auf 10cm, wenn Sie dies wünschen.

Verbundvorhaben:

Standard Holzbausysteme mit nachwachsenden Rohstoffen zur Förderung der Verwendung von Holz plus nachwachsende Rohstoffe bei öffentlichen Gebäuden

Akronym: HO\_SY

ANHANG, A- Bauphysikalische-Analyse-AP5.pdf

Teil 3: Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der **Holzskelettbauweise**

Zur Bewertung der Holzskelettbauweise wurden zwei relevante Bauteile simuliert: eine ausfachende Außenwandkonstruktion sowie eine Bodenplatte im Übergang zum Erdreich. Beide Elemente stehen exemplarisch für die typischen Herausforderungen bei offener Tragstruktur mit nichttragenden Hüllflächen.

# Holzskelettbauweise, Bodenplatte

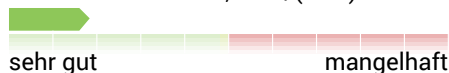
Fußboden

Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der Holzskelettbauweise

## Wärmeschutz

$U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

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



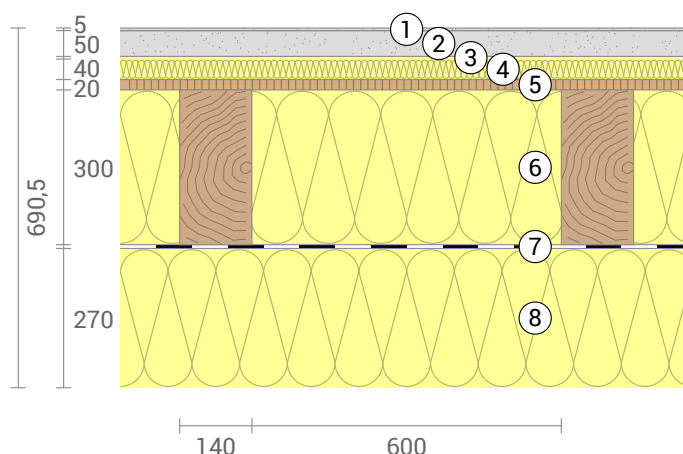
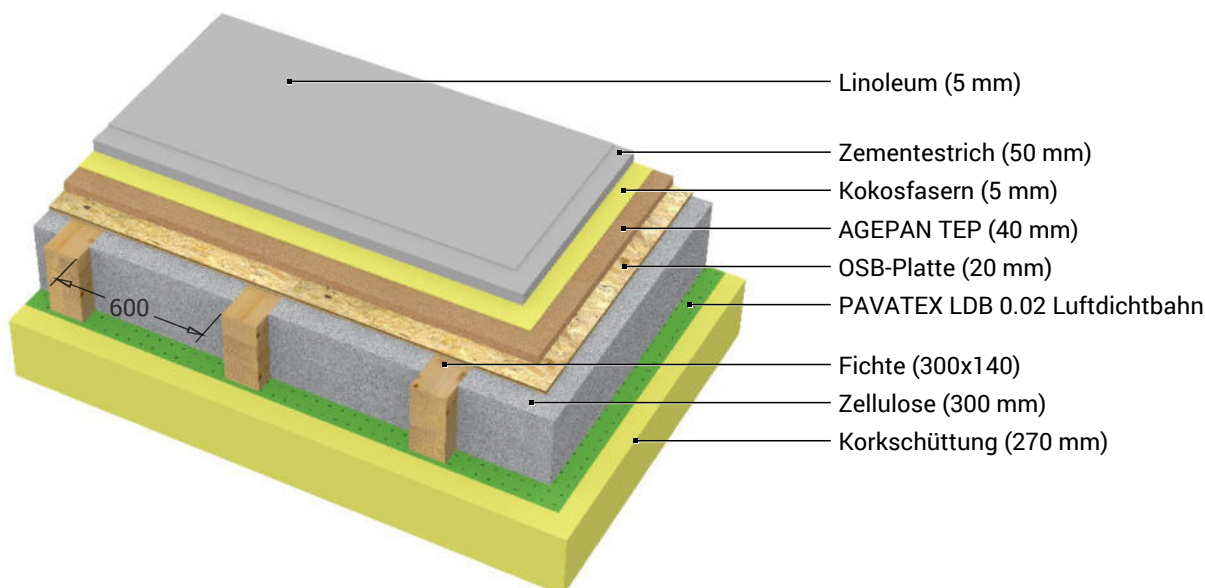
## Feuchteschutz

Trocknungsreserve:  $448 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$   
Kein Tauwasser



## Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung:  $>100$   
Phasenverschiebung: nicht relevant  
Wärmekapazität innen:  $213 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- |                         |                      |                                  |
|-------------------------|----------------------|----------------------------------|
| ① Linoleum (5 mm)       | ④ AGEPAN TEP (40 mm) | ⑦ PAVATEX LDB 0.02 Luftdichtbahn |
| ② Zementestrich (50 mm) | ⑤ OSB-Platte (20 mm) | ⑧ Korkschüttung (270 mm)         |
| ③ Kokosfasern (5 mm)    | ⑥ Zellulose (300 mm) |                                  |

Raumluft:  $20,0^\circ\text{C} / 50\%$

Außenluft:  $-5,0^\circ\text{C} / 80\%$

Oberflächentemp.:  $19,6^\circ\text{C} / -4,9^\circ\text{C}$

sd-Wert:  $46,6 \text{ m}$

Trocknungsreserve:  $448 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$

Dicke:  $69,0 \text{ cm}$

Gewicht:  $209 \text{ kg}/\text{m}^2$

Wärmekapazität:  $285 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

☒ EnEV Bestand ☒ BEG Einzelmaßn. ☒ GEG 2020/24 Bestand ☒ GEG 2023/24 Neubau

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

#	Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,170
1	Linoleum	0,50	0,190	0,026
2	Zementestrich	5,00	1,400	0,036
3	Kokosfasern	0,50	0,041	0,122
4	AGEPAN TEP	4,00	0,050	0,800
5	OSB-Platte	2,00	0,130	0,154
6	Zellulose	30,00	0,040	7,500
	Fichte (19%)	30,00	0,130	2,308
7	PAVATEX LDB 0.02 Luftdichtbahn	0,05	0,220	0,002
8	Korkschüttung	27,00	0,050	5,400
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung abwärts

Rse: Wärmestromrichtung abwärts, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot;upper}} = 12,856 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_{\text{tot;lower}} = 12,011 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ .

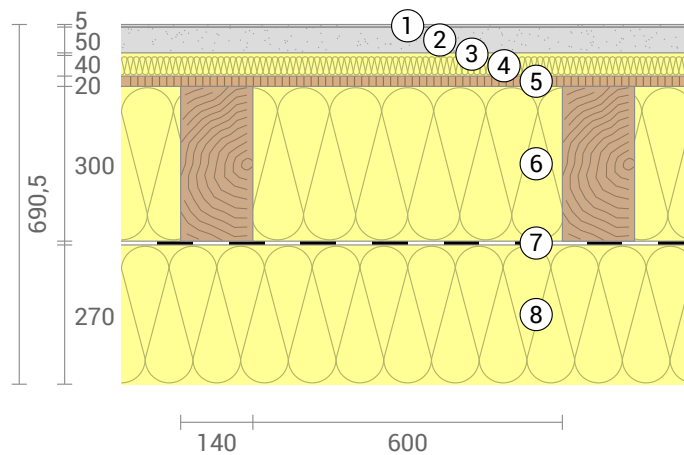
Prüfe Anwendbarkeit:  $R_{\text{tot;upper}} / R_{\text{tot;lower}} = 1,070$  (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand  $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot;upper}} + R_{\text{tot;lower}})/2 = 12,43 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 3,4%

Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



## Ökobilanz

Wärmeverlust:  $6 \text{ kWh}/\text{m}^2$  pro Heizperiode



Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter dieses Bauteils während der Heizperiode entweicht. Bitte beachten: Wegen interner und solarer Gewinne ist der Heizwärmebedarf geringer als der Wärmeverlust.

Primärenergie (nicht erneuerbar):  $170 \text{ kWh}/\text{m}^2$



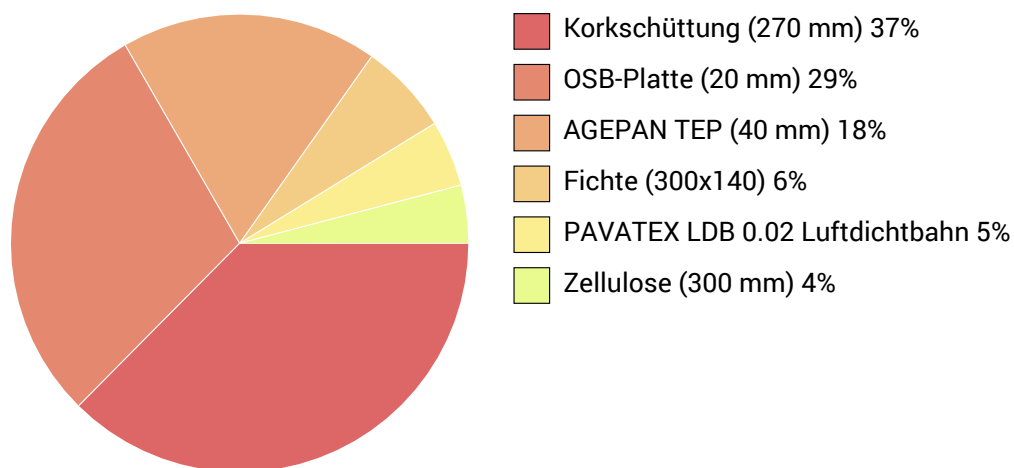
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

Treibhauspotential:  $-115 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv.}/\text{m}^2$

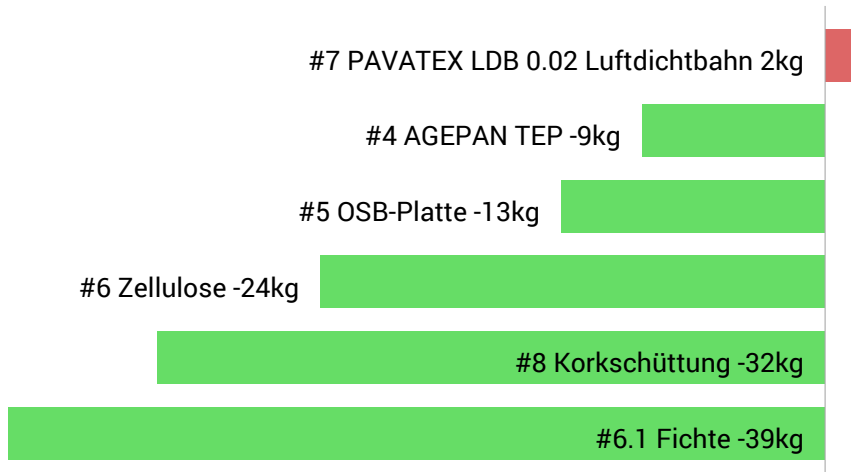


Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

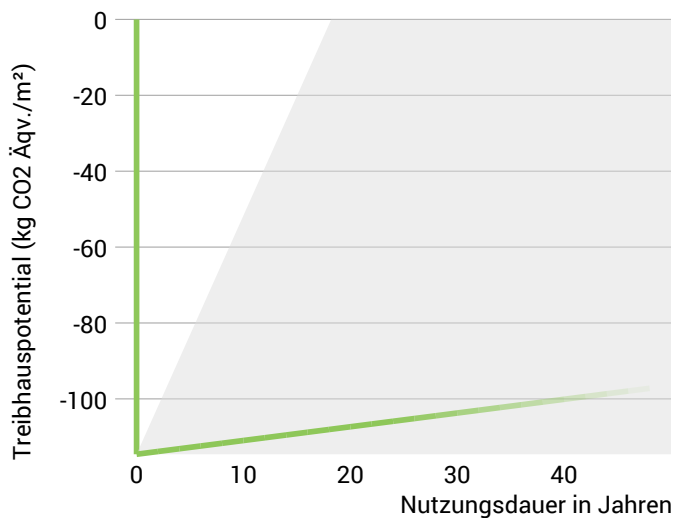
Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:



Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



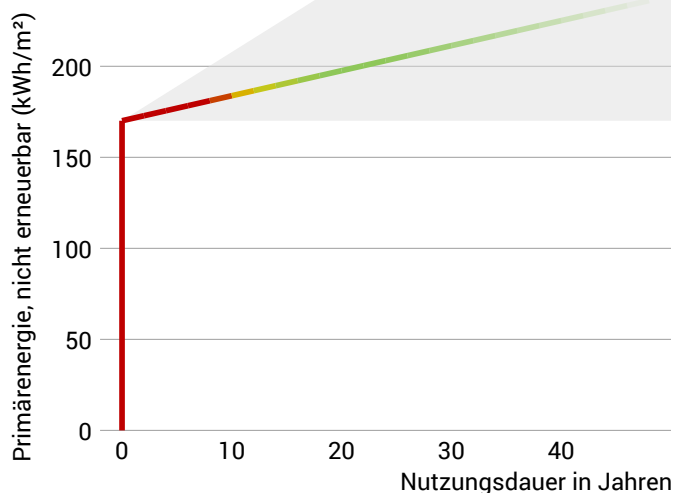
## Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



Die **Abbildung links** zeigt im senkrechten Teil der Kurve das Treibhauspotential der Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes entstehenden Treibhausgasemissionen (durch die Beheizung) sind durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Die **Abbildung links unten** zeigt im senkrechten Teil der Kurve den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand für die Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes benötigte Primärenergie (durch die Beheizung) ist durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Je länger das Bauteil unverändert genutzt wird, umso umweltfreundlicher ist es, weil der Herstellungsaufwand weniger zu den Gesamtemissionen beiträgt (angedeutet durch die Farbe der Kurve).



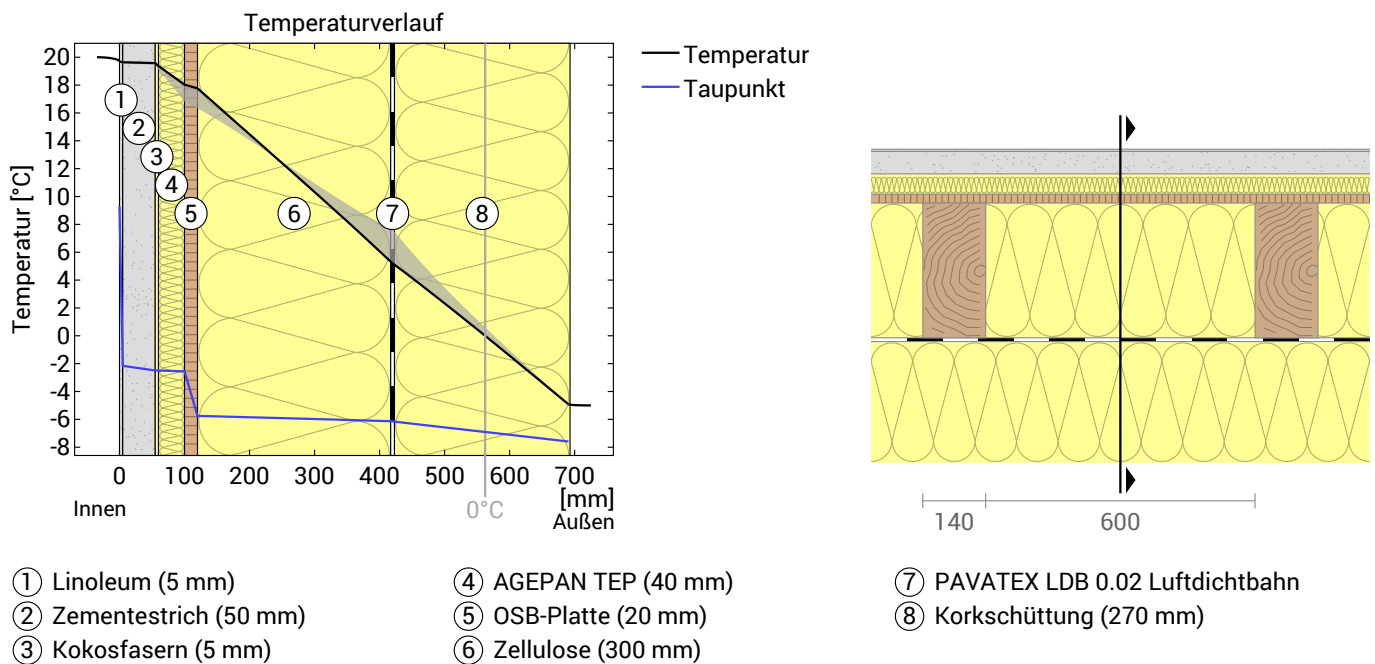
Wegen unbekannter solarer und interner Gewinne kann der Heizwärmebedarf nur geschätzt werden. Dementsprechend sind Primärenergieaufwand und Treibhauspotential während der Nutzungsphase nur ungenau bekannt. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass solare und interne Gewinne mit  $4 \text{ kWh/a/m}^2$  Bauteilfläche beitragen. Die hellgrauen Fläche kennzeichnen den Bereich, in dem die Kurve mit großer Sicherheit liegt. Für die Wärmeerzeugung wurde ein Primärenergieaufwand von  $0,60 \text{ kWh}$  pro  $\text{kWh}$  Wärme und ein Treibhauspotential von  $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$  pro  $\text{kWh}$  Wärme angesetzt. Wärmequelle: Wärmepumpe (Luft).

### Hinweise

Berechnet für den Standort DIN V 18599, Heizperiode von Mitte Oktober bis Ende April. Die Berechnung basiert auf monatlichen Temperatur-Mittelwerten. Quelle: DIN V 18599-10:2007-02

Die dieser Berechnung zugrunde liegenden Klima- und Energiedaten können zum Teil starke Schwankungen aufweisen und im Einzelfall erheblich vom tatsächlichen Wert abweichen.

## 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*		0,170	19,6	20,0	
1	0,5 cm Linoleum	0,190	0,026	19,5	19,7	6,0
2	5 cm Zementestrich	1,400	0,036	19,5	19,6	110,0
3	0,5 cm Kokosfasern	0,041	0,122	19,1	19,6	0,8
4	4 cm AGEPAN TEP	0,050	0,800	16,8	19,4	9,2
5	2 cm OSB-Platte	0,130	0,154	16,3	18,0	13,0
6	30 cm Zellulose	0,040	7,500	5,2	17,8	14,6
	30 cm Fichte (19%)	0,130	2,308	7,4	16,7	25,5
7	0,05 cm PAVATEX LDB 0.02 Luftdichtbahn	0,220	0,002	5,2	7,6	0,1
8	27 cm Korkschüttung	0,050	5,400	-4,9	7,6	29,7
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,9	
	69,05 cm Gesamtes Bauteil		12,370			208,9

\*Annahme: Freie Luftzirkulation auf der Bauteilinnenseite.

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 19,6°C 19,7°C 19,7°C  
Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,9°C -4,9°C -4,9°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.

Innerer Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  (von DIN 4108-3 abweichende Benutzereingabe):  $0.17 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

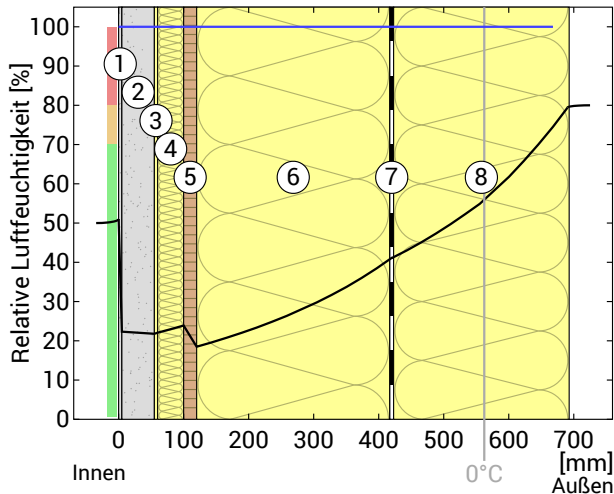
Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2014:  $448 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$   
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert:  $100 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m <sup>2</sup> ] [Gew.-%]	Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
1	0,5 cm Linoleum	35,00	-	6,0
2	5 cm Zementestrich	0,75	-	110,0
3	0,5 cm Kokosfasern	0,01	-	0,8
4	4 cm AGEPAN TEP	0,12	-	9,2
5	2 cm OSB-Platte	6,00	-	13,0
6	30 cm Zellulose	0,60	-	14,6
	30 cm Fichte (19%)	15,00	-	25,5
7	0,05 cm PAVATEX LDB 0.02 Luftdichtbahn	0,02	-	0,1
8	27 cm Korkschüttung	2,16	-	29,7
	69,05 cm Gesamtes Bauteil	46,56	0	208,9

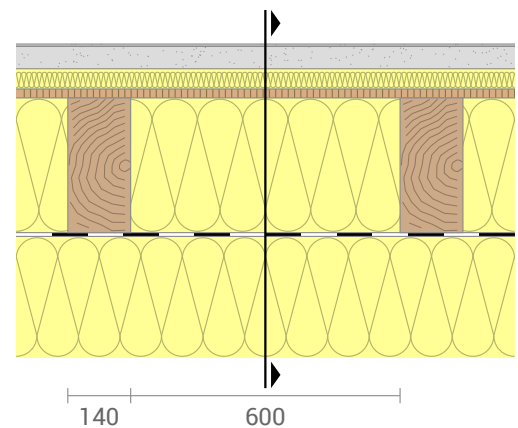
## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt  $19,6^\circ\text{C}$  was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 51% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.

Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



— Relative Luftfeuchtigkeit in %  
— Sättigungsgrenze



- ① Linoleum (5 mm)
- ② Zementestrich (50 mm)
- ③ Kokosfasern (5 mm)
- ④ AGEPAN TEP (40 mm)
- ⑤ OSB-Platte (20 mm)
- ⑥ Zellulose (300 mm)

- ⑦ PAVATEX LDB 0.02 Luftdichtbahn
- ⑧ Korkschüttung (270 mm)

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 4108-3:2014 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	0,5 cm Linoleum	0,190	0,026	35	1200	19,56	2276	0
2	5 cm Zementestrich	1,400	0,036	1,75	2200	19,52	2269	35
3	0,5 cm Kokosfasern	0,041	0,122	0,01	150	19,46	2260	36,8
4	4 cm AGEPAN TEP	0,050	0,800	0,12	230	19,24	2230	36,8
5	2 cm OSB-Platte	0,130	0,154	6	650	17,85	2044	36,9
6	30 cm Zellulose	0,040	7,500	0,6	60	17,58	2010	42,9
7	0,05 cm PAVATEX LDB 0.02 Luftdichtbahn	0,220	0,002	0,1	300	4,49	842	43,5
8	27 cm Korkschüttung	0,050	5,400	2,16	110	4,49	842	43,6
Wärmeübergangswiderstand			0,040			-4,93	404	45,7

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

### Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche

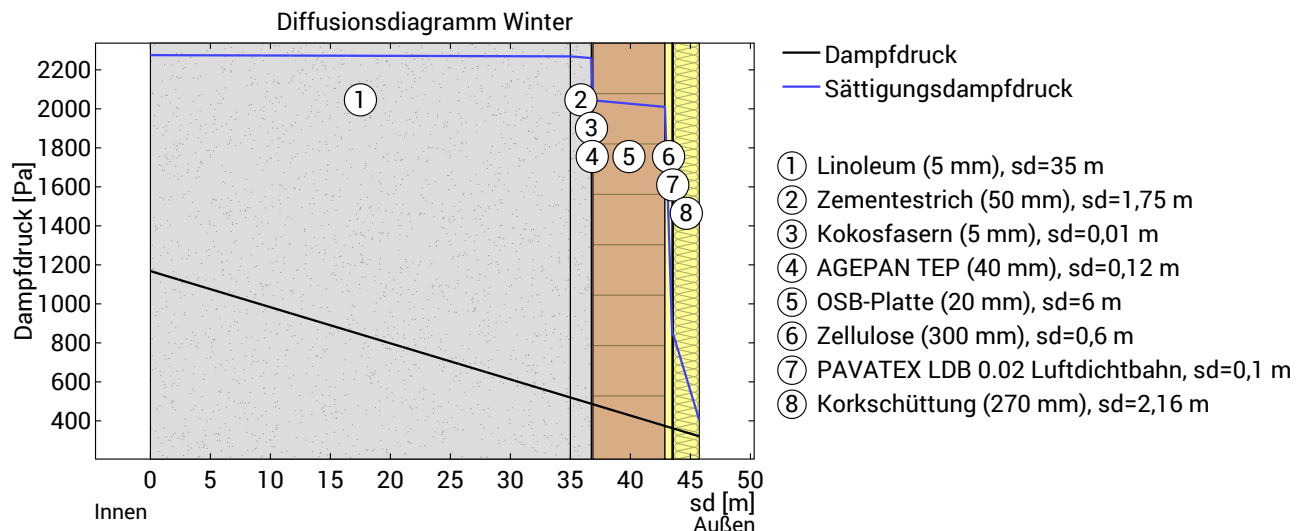
Die relative Luftfeuchtigkeit auf der raumseitigen Bauteiloberfläche beträgt 51%. Anforderungen zur Vermeidung von Baustoffkorrosion hängen von Material und Beschichtung ab und wurden nicht untersucht.



### 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)	$s_{de} = 45,74 \text{ m}$



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:

$sd=36,88 \text{ m}$ ;  $x=10 \text{ cm}$ ;  $ps=2044 \text{ Pa}$ :

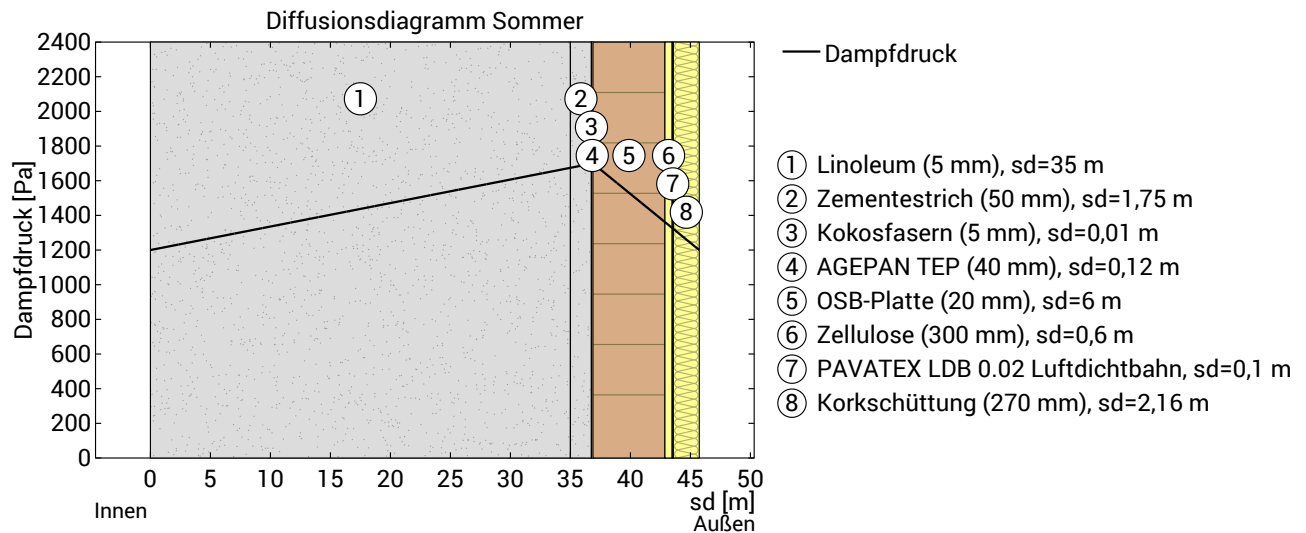
Schichtgrenze zwischen AGEPAN TEP und OSB-Platte

$$M_{ev, Tauperiode} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d_{ev}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{ev}})) = 0,339 \text{ kg/m}^2$$

## 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 mit der geringsten Verdunstungsmasse innerhalb des Holz enthaltenden Bereichs:

bei  $s_d=36,88 \text{ m}$ , innerhalb Schicht OSB-Platte:

Verdunstungsmenge:  $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot \left[ \frac{(p_s - p_i)}{s_d} + \frac{(p_s - p_e)}{(s_{de} - s_d)} \right] = 0,11 \text{ kg/m}^2$

### Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

### Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.

Trocknungsreserve:  $M_r = (M_{ev} + M_{ev, \text{Tauperiode}}) \cdot 1000 = 448 \text{ g/m}^2/\text{a}$

Mindestens gefordert bei Wänden und Decken:  $100 \text{ g/m}^2/\text{a}$



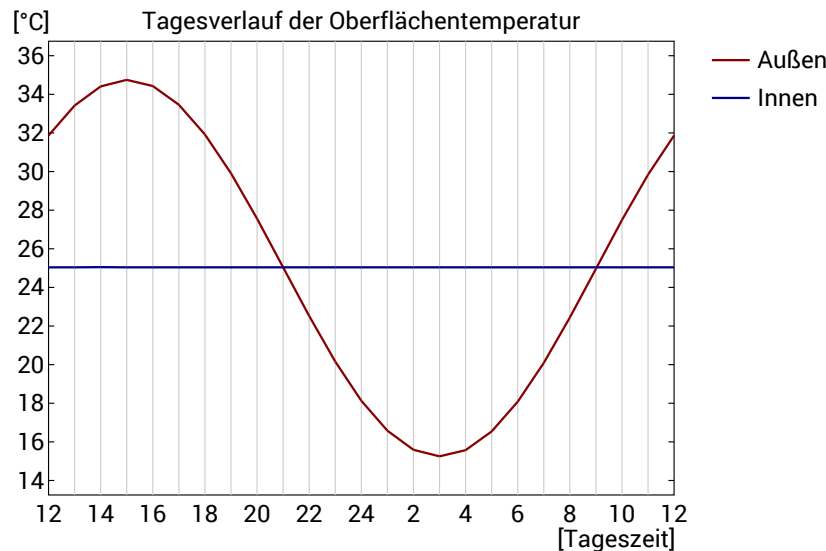
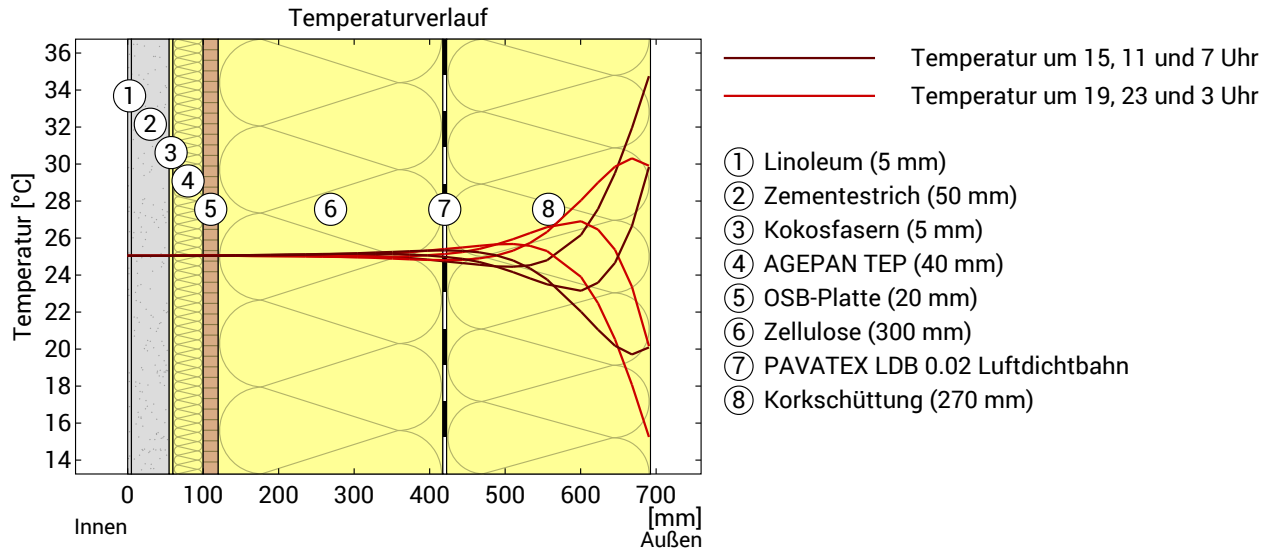
### Hinweise

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.

## 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*	nicht relevant	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	285 kJ/m <sup>2</sup> K
Amplitudendämpfung**	>100	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	213 kJ/m <sup>2</sup> K
TAV***	0,000		

\* 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.

Holzskelettbauweise, Bodenplatte,  $U=0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

## Hinweise

Es sind keine Hinweise zu dieser Berechnung vorhanden.

# Holzskelettbauweise, Außenwandaufbau

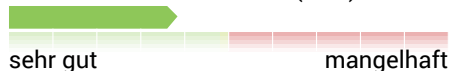
Außenwand

Bauphysikalische-Analyse konstruktiver Bauteile der Holzskelettbauweise

## Wärmeschutz

$U = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

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



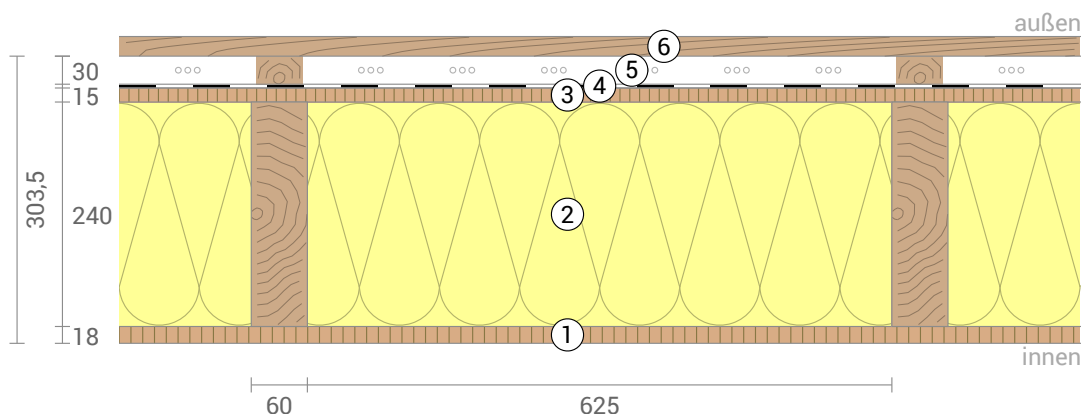
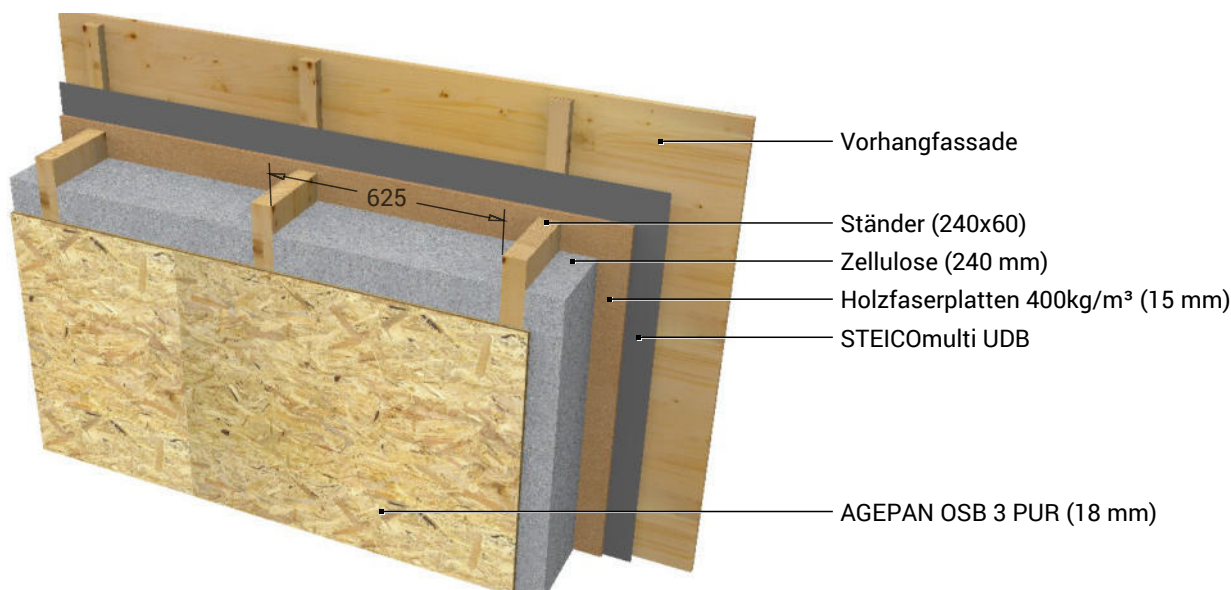
## Feuchteschutz

Trocknungsreserve:  $2145 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$   
Kein Tauwasser



## Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 16  
Phasenverschiebung: 11,2 h  
Wärmekapazität innen:  $36 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- |                            |                                     |                  |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------|
| ① AGEPAN OSB 3 PUR (18 mm) | ③ Holzfaserplatten 400kg/m³ (15 mm) | ⑤ Hinterlüftung  |
| ② Zellulose (240 mm)       | ④ STEICOMulti UDB                   | ⑥ Vorhangfassade |

Raumluft:  $20,0^\circ\text{C} / 50\%$

Außenluft:  $-5,0^\circ\text{C} / 80\%$

Oberflächentemp.:  $18,1^\circ\text{C} / -4,8^\circ\text{C}$

sd-Wert: 3,3 m

Trocknungsreserve:  $2145 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$

Dicke: 32,5 cm

Gewicht:  $49 \text{ kg}/\text{m}^2$

Wärmekapazität:  $65 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

☒ EnEV Bestand ☒ BEG Einzelmaßn. ☒ GEG 2020/24 Bestand ☒ GEG 2023/24 Neubau

#	Material	Dicke [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m²K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
1	AGEPAN OSB 3 PUR	1,80	0,130	0,138
2	Zellulose	24,00	0,040	6,000
	Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	24,00	0,130	1,846
3	Holzfaserplatten 400kg/m³	1,50	0,100	0,150
4	STEICOMulti UDB	0,05	0,170	0,003
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,130

Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



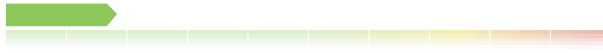
## Ökobilanz

Wärmeverlust:  $14 \text{ kWh}/\text{m}^2$  pro Heizperiode



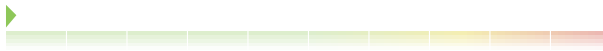
Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter dieses Bauteils während der Heizperiode entweicht. Bitte beachten: Wegen interner und solarer Gewinne ist der Heizwärmebedarf geringer als der Wärmeverlust.

Primärenergie (nicht erneuerbar):  $>58 \text{ kWh}/\text{m}^2$



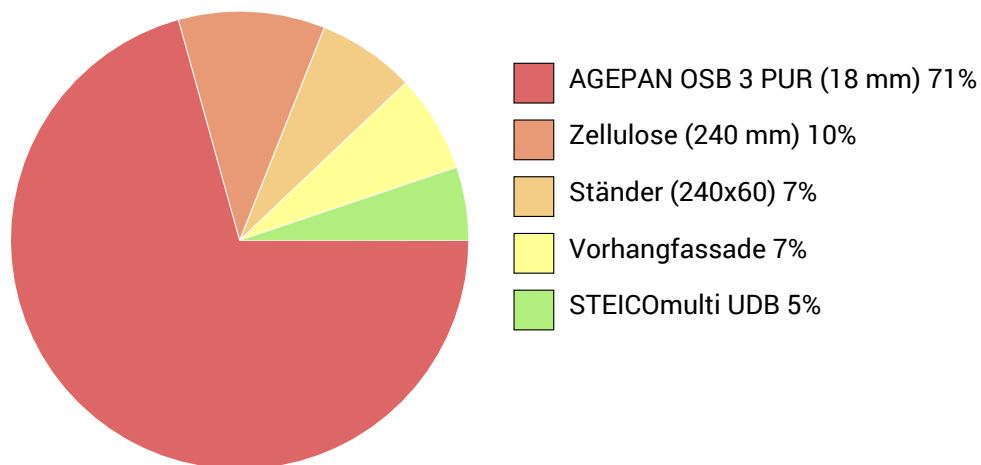
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

Treibhauspotential:  $-61 (?) \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv.}/\text{m}^2$

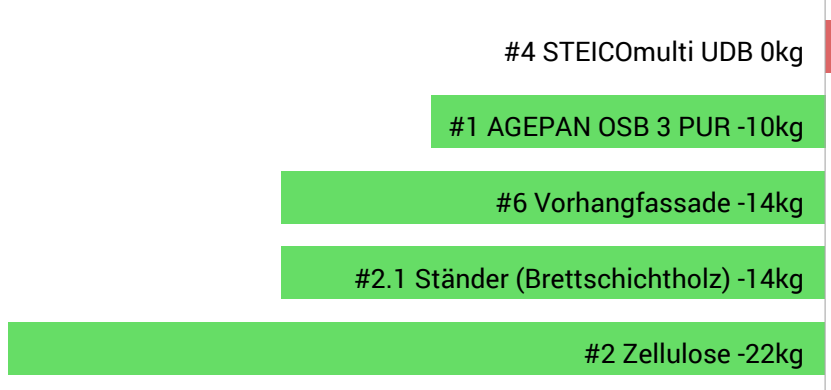


Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:



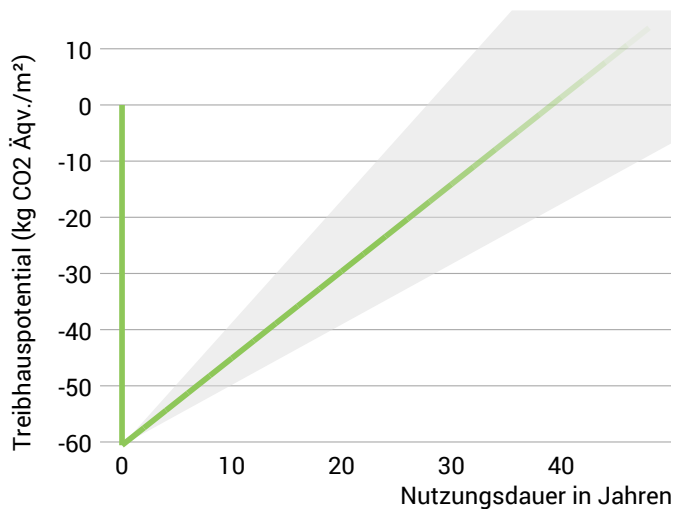
Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



Achtung: Mindestens eine Schicht konnte nicht berücksichtigt werden, weil deren Primärenergieinhalt und/oder Treibhauspotential unbekannt ist.



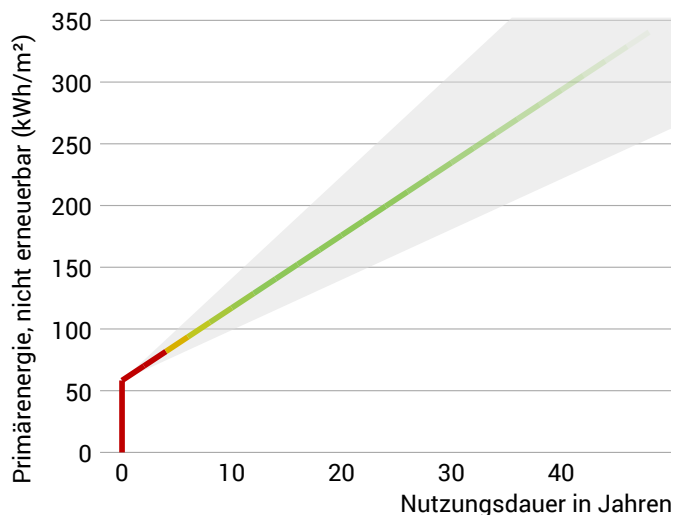
## Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



Die **Abbildung links** zeigt im senkrechten Teil der Kurve das Treibhauspotential der Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes entstehenden Treibhausgasemissionen (durch die Beheizung) sind durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Die **Abbildung links unten** zeigt im senkrechten Teil der Kurve den nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand für die Herstellung des Bauteils. Die während der Nutzung des Gebäudes benötigte Primärenergie (durch die Beheizung) ist durch die schräg nach oben verlaufende Kurve dargestellt.

Je länger das Bauteil unverändert genutzt wird, umso umweltfreundlicher ist es, weil der Herstellungsaufwand weniger zu den Gesamtemissionen beiträgt (angedeutet durch die Farbe der Kurve).



Wegen unbekannter solarer und interner Gewinne kann der Heizwärmebedarf nur geschätzt werden. Dementsprechend sind Primärenergieaufwand und Treibhauspotential während der Nutzungsphase nur ungenau bekannt. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass solare und interne Gewinne mit  $4 \text{ kWh/a/m}^2$  Bauteilfläche beitragen. Die hellgrauen Fläche kennzeichnen den Bereich, in dem die Kurve mit großer Sicherheit liegt. Für die Wärmeerzeugung wurde ein Primärenergieaufwand von  $0,60 \text{ kWh pro kWh Wärme}$  und ein Treibhauspotential von  $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2 \text{ pro kWh Wärme}$  angesetzt. Wärmequelle: Wärmepumpe (Luft).

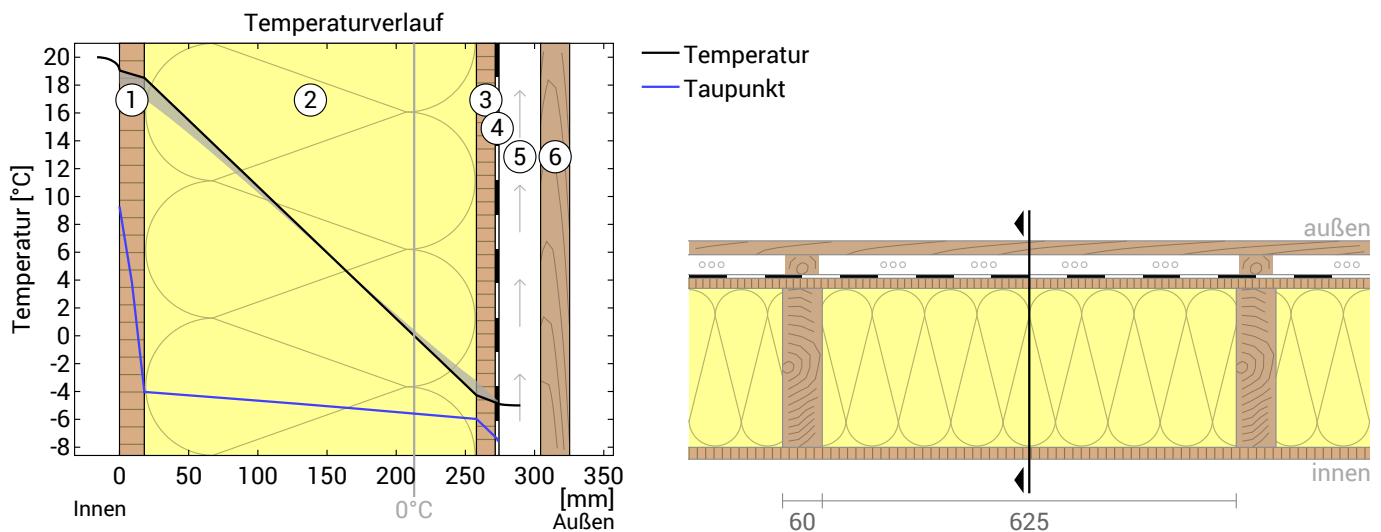
### Hinweise

Achtung: Mindestens eine Schicht konnte nicht berücksichtigt werden, weil deren Primärenergieinhalt und/oder Treibhauspotential unbekannt ist.

Berechnet für den Standort DIN V 18599, Heizperiode von Mitte Oktober bis Ende April. Die Berechnung basiert auf monatlichen Temperatur-Mittelwerten. Quelle: DIN V 18599-10:2007-02

Die dieser Berechnung zugrunde liegenden Klima- und Energiedaten können zum Teil starke Schwankungen aufweisen und im Einzelfall erheblich vom tatsächlichen Wert abweichen.

## Temperaturverlauf



- ① AGEPAN OSB 3 PUR (18 mm)      ③ Holzfaserplatten 400kg/m<sup>3</sup> (15 mm)      ⑤ Hinterlüftung  
② Zellulose (240 mm)      ④ STEICOMulti UDB      ⑥ Vorhangfassade

**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	18,1	20,0	
1	1,8 cm AGEPAN OSB 3 PUR	0,130	0,138	17,0	19,0	10,8
2	24 cm Zellulose	0,040	6,000	-4,3	18,5	13,1
	24 cm Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	0,130	1,846	-3,3	17,4	9,5
3	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,100	0,150	-4,8	-3,2	6,0
4	0,05 cm STEICOMulti UDB	0,170	0,003	-4,8	-4,6	0,1
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,6	
5	Hinterlüftung (Außenluft)			-5,0	-5,0	0,0
6	Vorhangfassade			-5,0	-5,0	9,5
32,45 cm Gesamtes Bauteil			5,640			49,0

\*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): 18,1°C 18,9°C 19,0°C  
Oberflächentemperatur außen (min / mittel / max): -4,8°C -4,8°C -4,6°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.

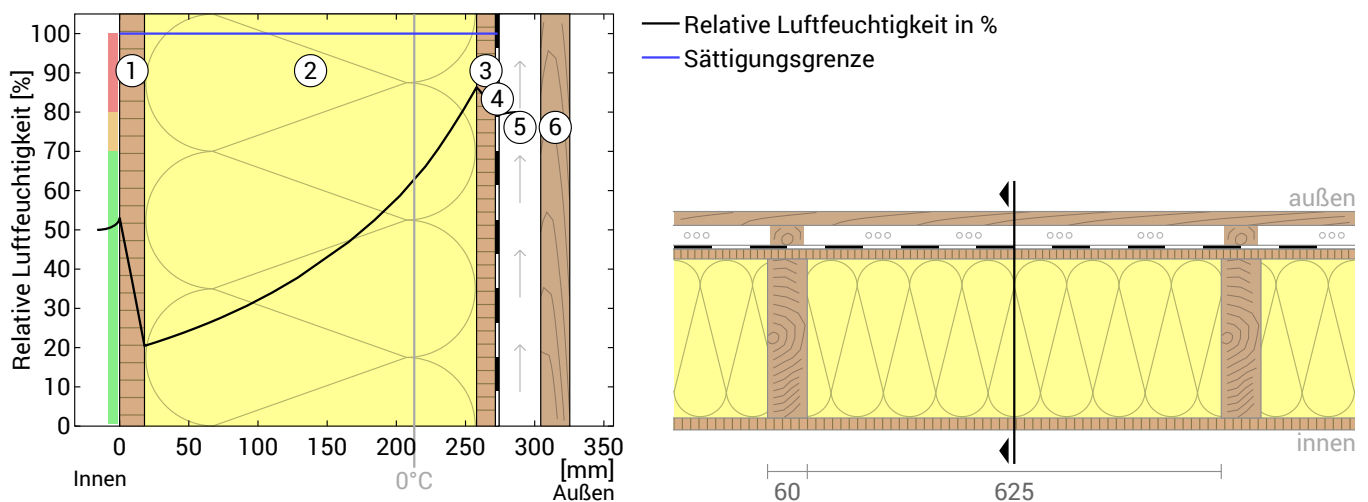
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2014:  $2145 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$   
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert:  $100 \text{ g}/(\text{m}^2\text{a})$

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser		Gewicht [kg/m <sup>2</sup> ]
			[kg/m <sup>2</sup> ]	[Gew.-%]	
1	1,8 cm AGEPAN OSB 3 PUR	2,70	-	-	10,8
2	24 cm Zellulose	0,24	-	-	13,1
	24 cm Ständer (Brettschichtholz) (8,8%)	12,00	-	-	9,5
3	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,15	-	-	6,0
4	0,05 cm STEICOMulti UDB	0,02	-	-	0,1
	32,45 cm Gesamtes Bauteil	3,29	0		49,0

## Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt  $18,1^\circ\text{C}$  was zu einer relativen Luftfeuchtigkeit an der Oberfläche von 56% führt. Unter diesen Bedingungen sollte nicht mit Schimmelbildung zu rechnen sein.  
Das folgende Diagramm zeigt die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Bauteils.



- ① AGEPAN OSB 3 PUR (18 mm)      ③ Holzfaserplatten 400kg/m<sup>3</sup> (15 mm)      ⑤ Hinterlüftung
- ② Zellulose (240 mm)      ④ STEICOMulti UDB      ⑥ Vorhangfassade

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 4108-3:2014 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			19,05	2203	0
1	1,8 cm AGEPAN OSB 3 PUR	0,130	0,138	2,7	600	18,52	2133	2,7
2	24 cm Zellulose	0,040	6,000	0,24	60	-4,27	427	2,94
3	1,5 cm Holzfaserplatten 400kg/m <sup>3</sup>	0,100	0,150	0,15	400	-4,84	407	3,09
4	0,05 cm STEICOMulti UDB	0,170	0,003	0,1	270	-4,85	406	3,19
Wärmeübergangswiderstand			0,040					

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

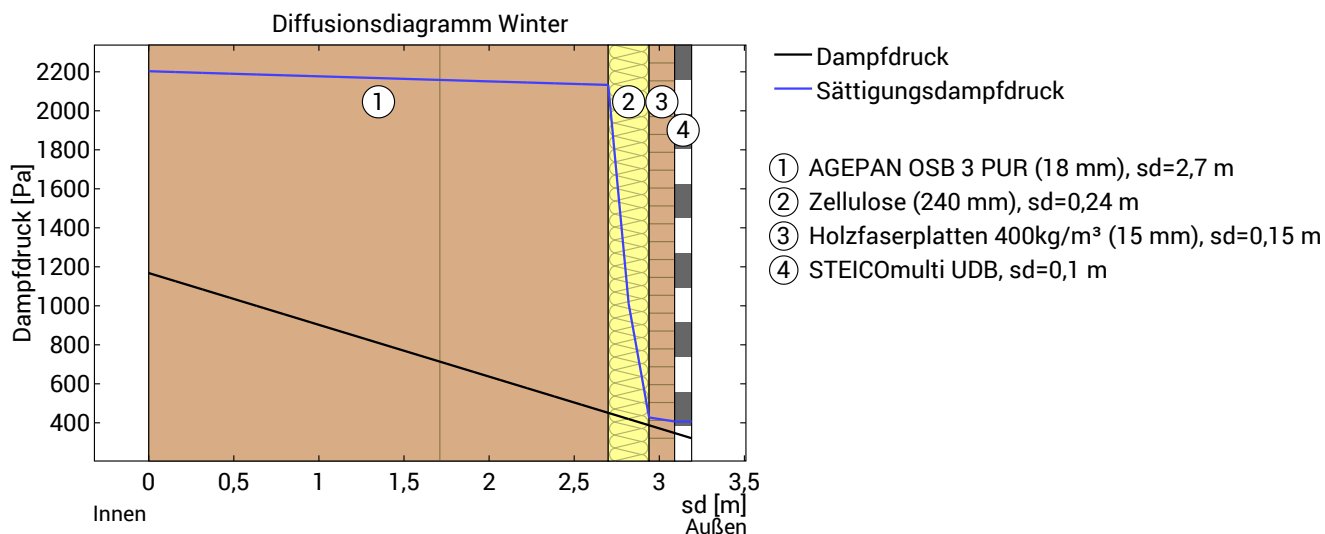
### Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche

Die relative Luftfeuchtigkeit auf der raumseitigen Bauteiloberfläche beträgt 53%. 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	$\delta_0 = 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
sd-Wert (gesamtes Bauteil)	$s_{de} = 3,19 \text{ m}$



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:

$s_d=2,94 \text{ m}$ ;  $x=25,8 \text{ cm}$ ;  $p_s=427 \text{ Pa}$ :

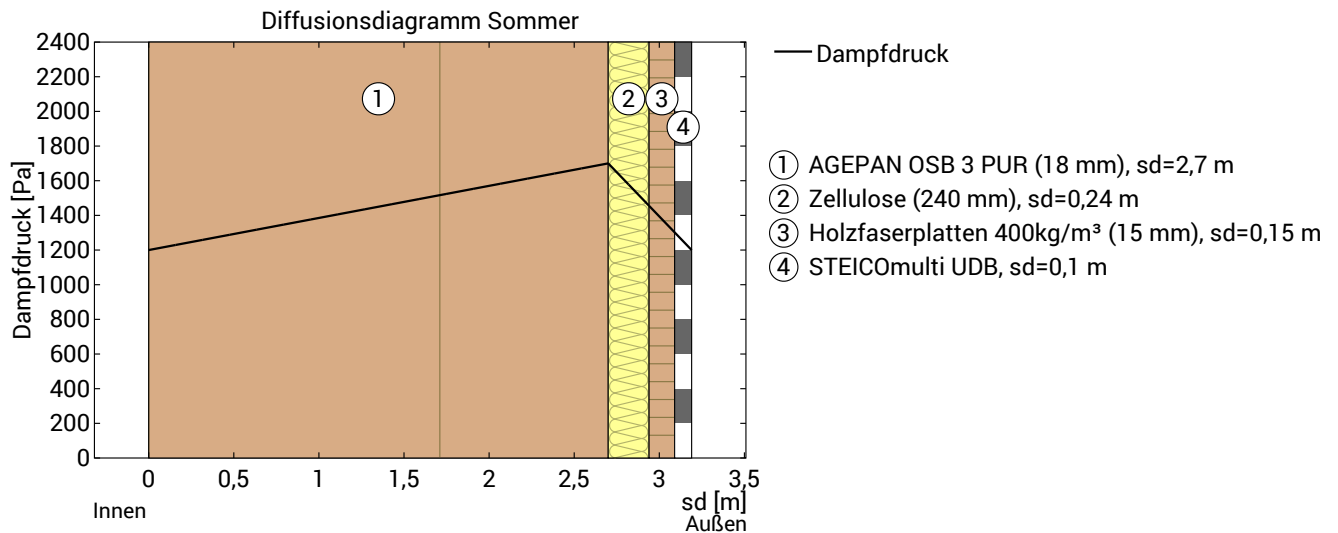
Schichtgrenze zwischen Zellulose und Holzfaserplatten 400kg/m<sup>3</sup>

$$M_{ev, \text{Tauperiode}} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d_{ev}} + (p_s - p_e) / (s_{de} - s_{d_{ev}})) = 0,270 \text{ kg/m}^2$$

## 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 mit der geringsten Verdunstungsmasse innerhalb des Holz enthaltenden Bereichs:

bei  $s_d=2,70 \text{ m}$ , innerhalb Schicht Zellulose:

Verdunstungsmenge:  $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot [(p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_{de} - s_d)] = 1,87 \text{ kg/m}^2$

### Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

### Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.

Trocknungsreserve:  $M_r = (M_{ev} + M_{ev,Tauperiode}) \cdot 1000 = 2145 \text{ g/m}^2/\text{a}$

Mindestens gefordert bei Wänden und Decken:  $100 \text{ g/m}^2/\text{a}$



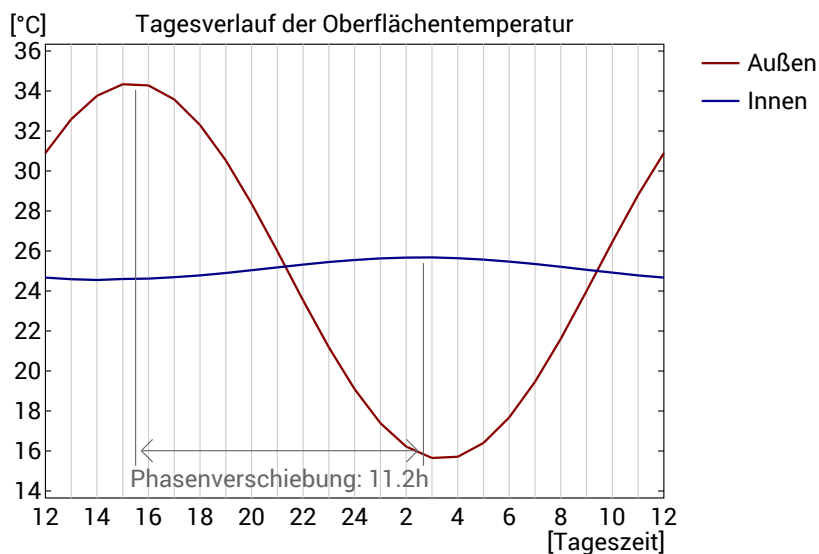
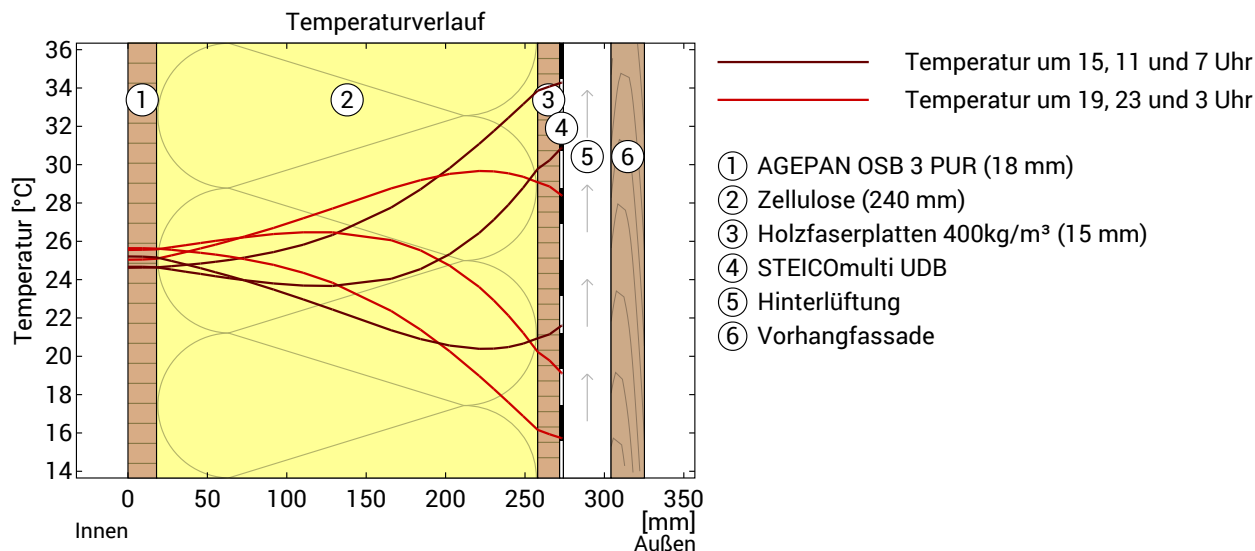
### Hinweise

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.

## 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*	11,2 h	Wärmespeicherfähigkeit (gesamtes Bauteil):	65 kJ/m²K
Amplitudendämpfung**	16,4	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	36 kJ/m²K
TAV***	0,061		

\* 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.

## 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.

### Außenliegender sd-Wert < 10cm

Für Schicht 'STEICOMulti UDB' wurde mit einem sd-Wert < 10cm gerechnet. DIN 4108-3 enthält dazu folgenden Hinweis:

"Für außenseitig auf Bauteilen bzw. außenseitig von Wärmedämmungen vorhandene Schichten mit nach DIN EN ISO 12572 ermittelten wasserdampfdiffusionsäquivalenten Luftschichtdicken  $sd < 0,1\text{m}$  ist in der Berechnung  $sd = 0,1\text{m}$  anzusetzen. ANMERKUNG Nach DIN EN ISO 12572 ermittelte sd-Werte < 0,1m beinhalten eine erhebliche Messunsicherheit."

Bitte erhöhen Sie den sd-Wert manuell auf 10cm, wenn Sie dies wünschen.