

Wärmeschutz

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

GEG 2020/24 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



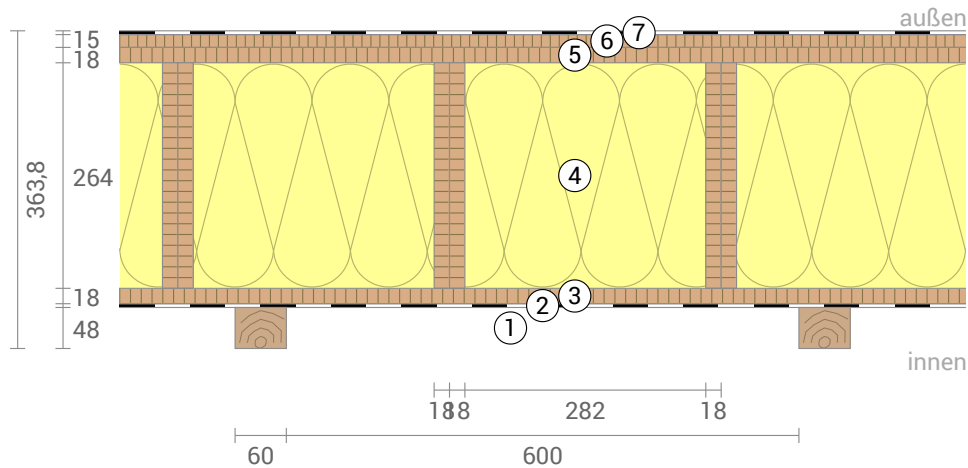
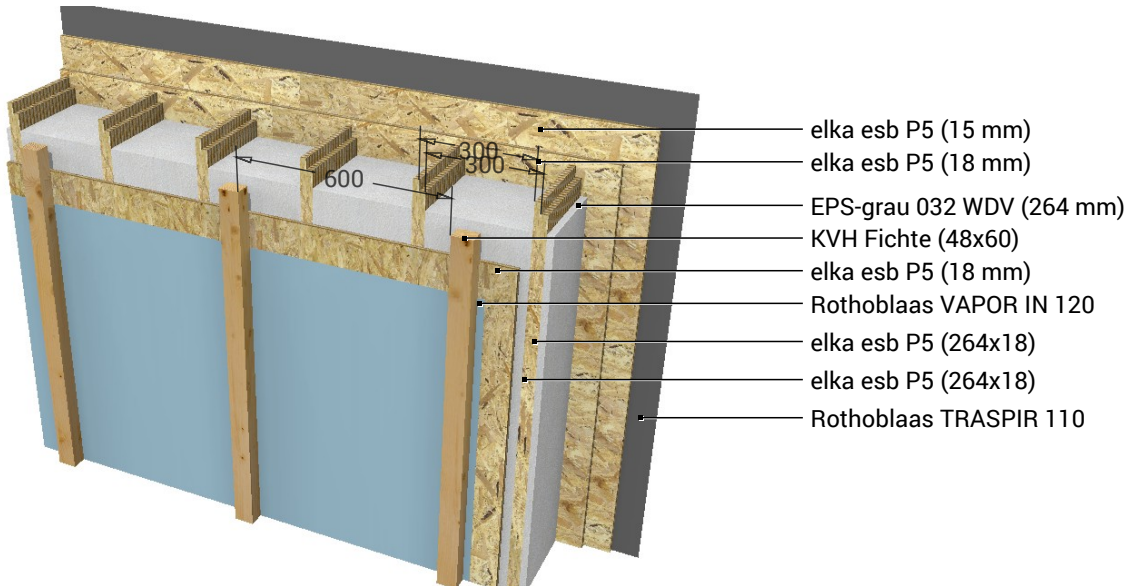
Feuchteschutz

Trocknungsreserve: $335 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$
Kein Tauwasser



Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 15
Phasenverschiebung: 7,5 h
Wärmekapazität innen: $43 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$



- | | | |
|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| ① Luftschicht (48 mm) | ④ EPS-grau 032 WDV (264 mm) | ⑦ Rothoblaas TRASPIR 110 |
| ② Rothoblaas VAPOR IN 120 | ⑤ elka esb P5 (18 mm) | |
| ③ elka esb P5 (18 mm) | ⑥ elka esb P5 (15 mm) | |

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

sd-Wert: 34,1 m
Trocknungsreserve: $335 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$

Dicke: 36,4 cm
Gewicht: $60 \text{ kg}/\text{m}^2$
Wärmekapazität: $100 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

☒ GEG 2020/24 Bestand

☒ BEG Einzelmaßn.

☒ GEG 2023/24 Neubau

☒ DIN 4108

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
2	Rothoblaas VAPOR IN 120	0,04	0,300	0,001
3	elka esb P5	1,80	0,120	0,150
	KVH Fichte (Breite: 6 cm)	4,80	0,130	0,369
4	EPS-grau 032 WDV	26,40	0,032	8,250
	elka esb P5 (5,7%)	26,40	0,120	2,200
	elka esb P5 (5,7%)	26,40	0,120	2,200
5	elka esb P5	1,80	0,120	0,150
6	elka esb P5	1,50	0,120	0,125
7	Rothoblaas TRASPIR 110	0,04	0,300	0,001
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot;upper}} = 7,159 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot;lower}} = 6,944 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot;upper}} / R_{\text{tot;lower}} = 1,031$ (maximal erlaubt: 1,5)

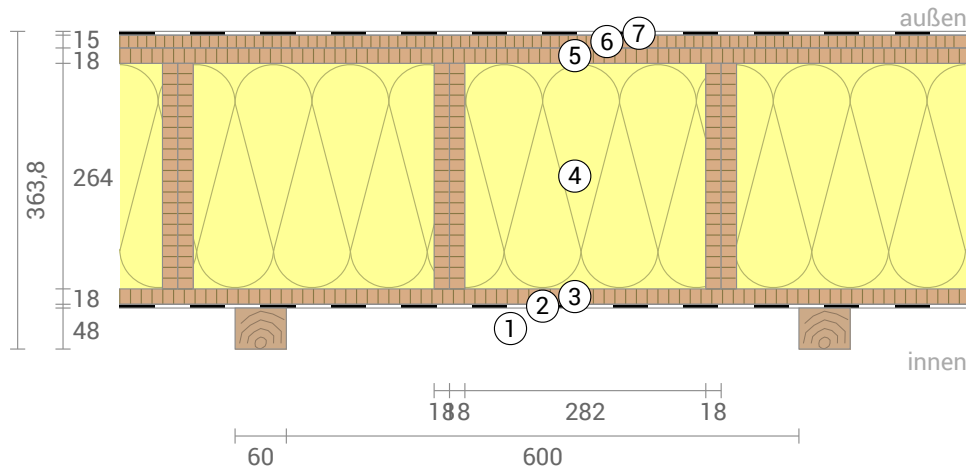
Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot;upper}} + R_{\text{tot;lower}})/2 = 7,051 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 1,5%

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

Das Bauteil enthält mehrere inhomogene Schichten unterschiedlicher Gesamtbreite. Für sämtliche Berechnungen wurde angenommen, dass sich die Schichtenanordnung in der Breite alle 66 cm wiederholt. Dies trifft jedoch mindestens für Schicht 4 mit einer Gesamtbreite von 31,8 cm nicht zu und kann eine erhöhte Ungenauigkeit des U-Werts verursachen.



Ökobilanz

Wärmeverlust: 11 kWh/m² 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): 208 kWh/m²



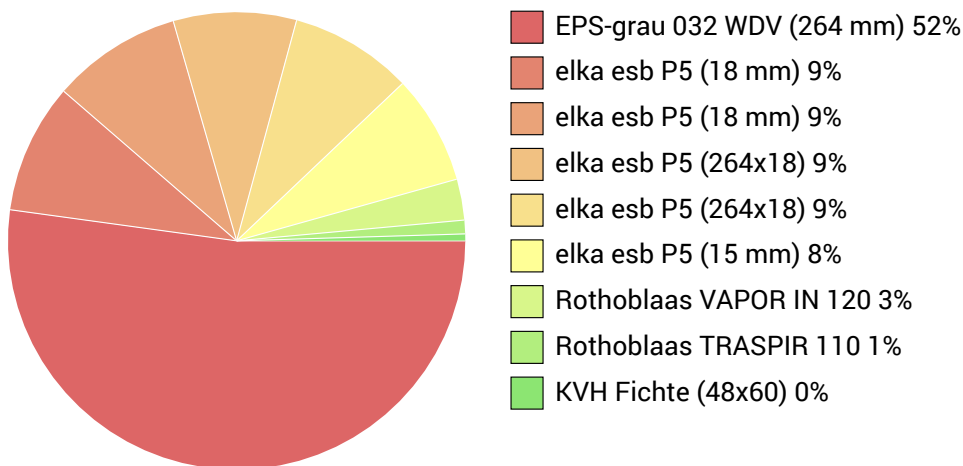
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

Treibhauspotential: -54 kg CO2 Äqv./m²

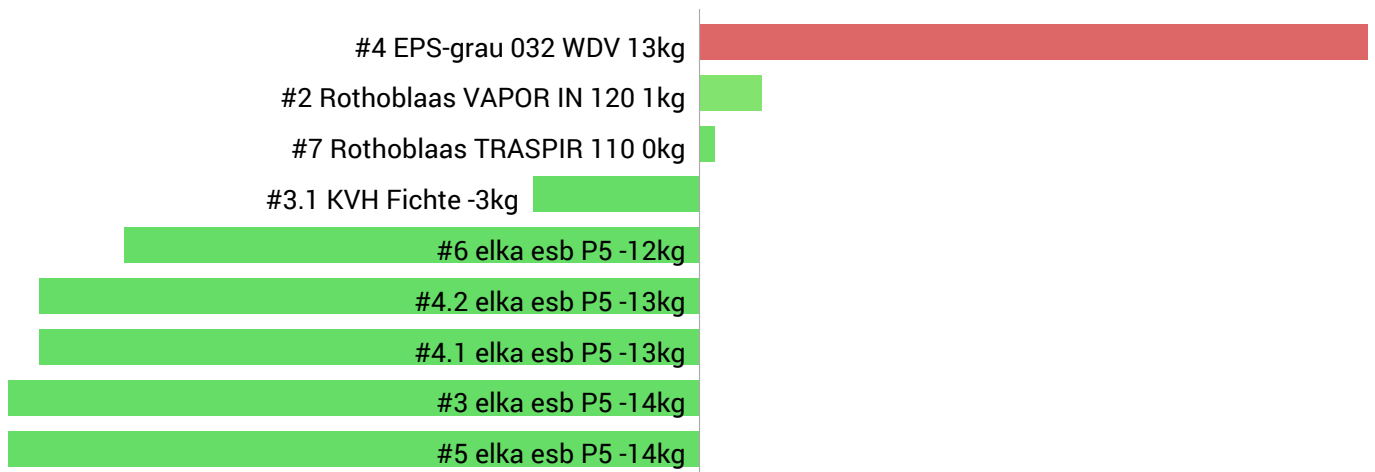


Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

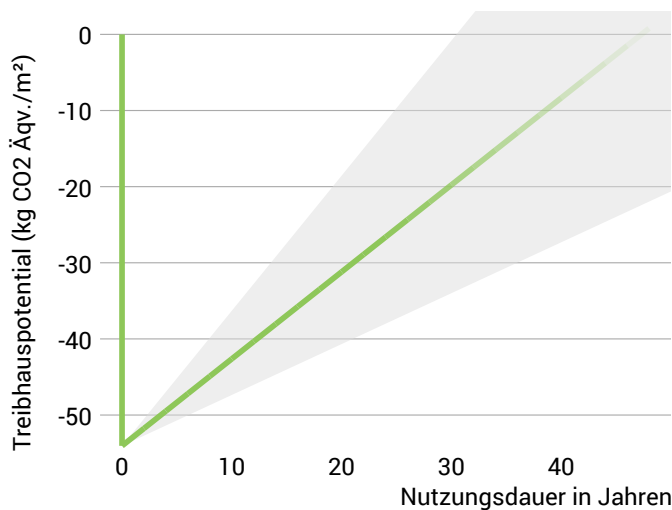
Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:



Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



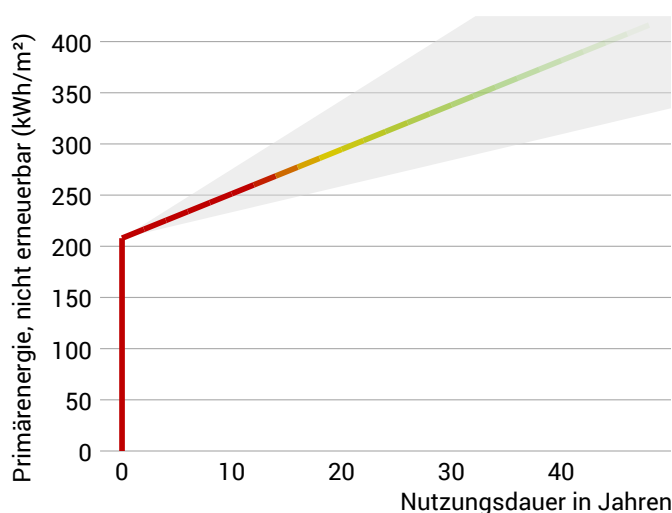
Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



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 unten 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 unten 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).



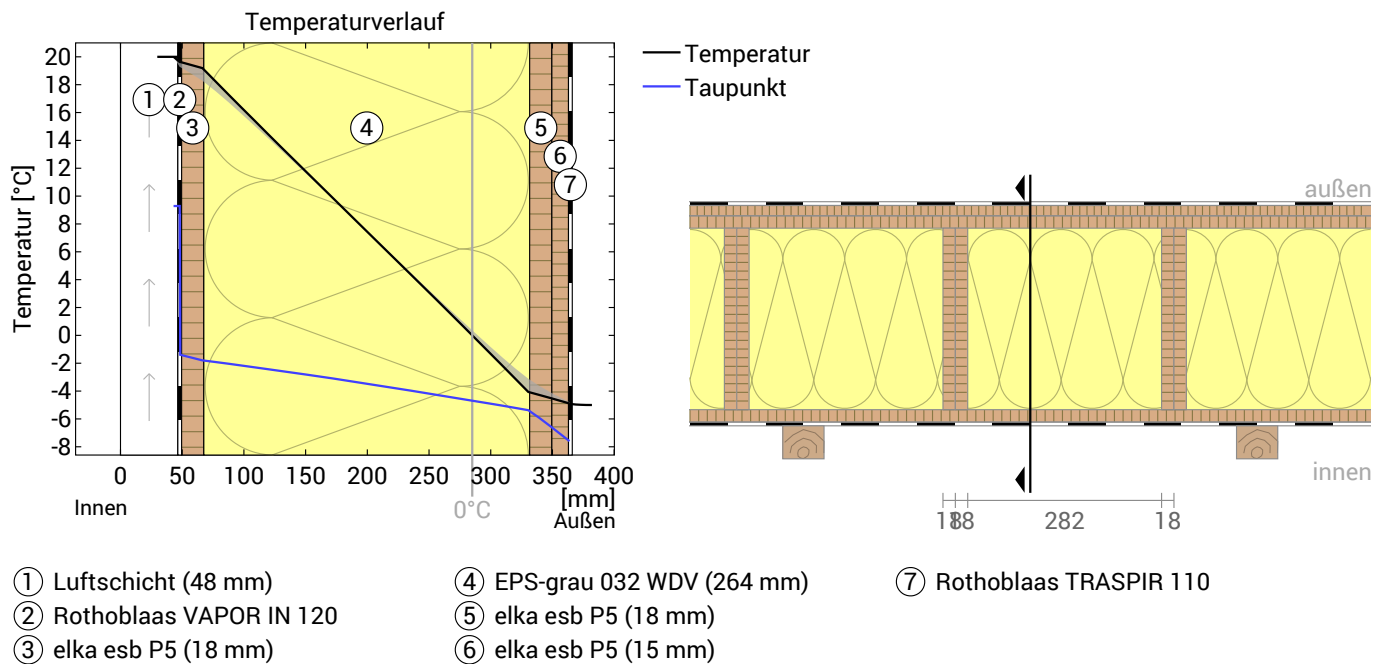
Wegen unbekannter solarer und interner Gewinne kann der Heizwärmebedarf nur geschätzt werden. Dementsprechend sind Primärenergieaufwand und Treibhauspotential während der Nutzungsphase nur ungenau bekannt. Für die Abschätzung wurde angenommen, dass solare und interne Gewinne mit 4 kWh/a/m^2 Bauteilfläche 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 $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$ 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	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]
				min	max	
1	4,8 cm Luftschicht (belüftet)				20,0	0,1
	Wärmeübergangswiderstand*		0,250	19,3	20,0	
2	0,04 cm Rothoblaas VAPOR IN 120	0,300	0,001	19,3	19,6	0,1
3	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	18,3	19,6	11,2
	4,8 cm KVH Fichte (Breite: 6 cm)	0,130	0,369	-100,0	100,0	2,2
4	26,4 cm EPS-grau 032 WDV	0,032	8,250	-4,1	19,2	4,6
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	0,120	2,200	-3,3	18,5	10,7
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	0,120	2,200	-3,1	18,5	10,7
5	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	-4,5	-3,1	11,2
6	1,5 cm elka esb P5	0,120	0,125	-4,9	-4,1	9,3
7	0,04 cm Rothoblaas TRASPIR 110	0,300	0,001	-4,9	-4,8	0,1
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,8	
	36,38 cm Gesamtes Bauteil		6,930			60,1

*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): 20,0°C 20,0°C 20,0°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°C und 50% Luftfeuchtigkeit; außen: -5°C und 80% Luftfeuchtigkeit. Dieses Klima entspricht DIN 4108-3.

Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2018: 335 g/(m²a)

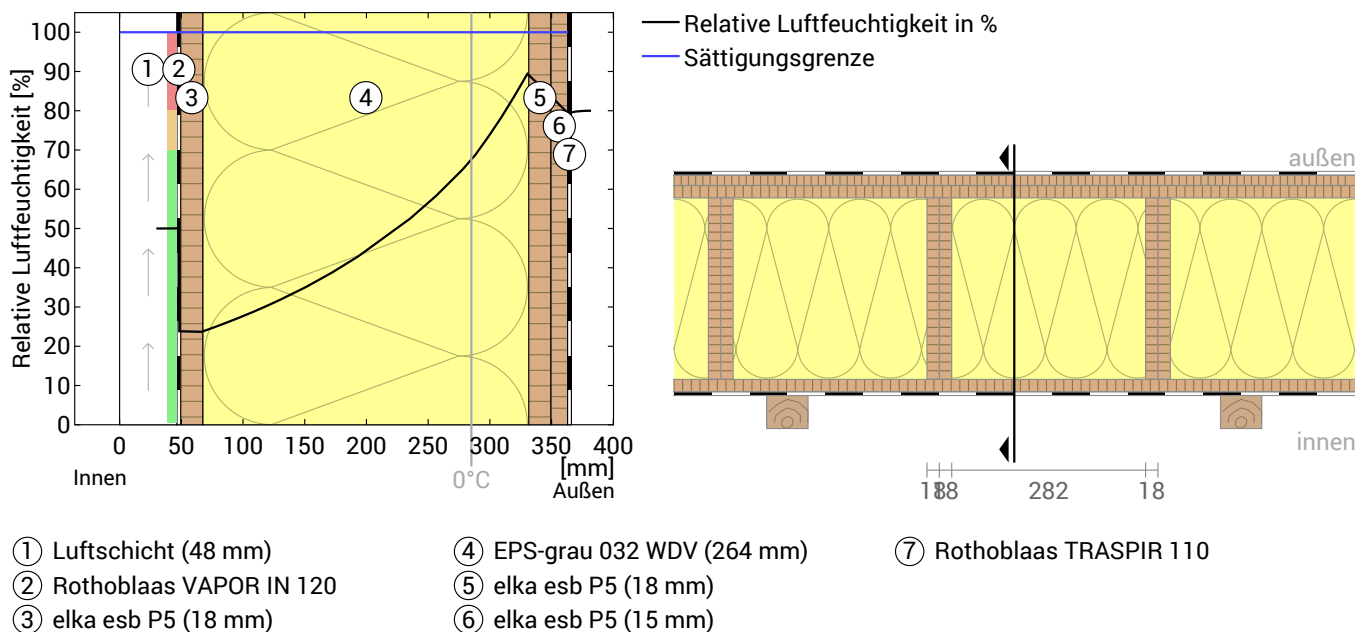
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert: 100 g/(m²a)

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser		Gewicht [kg/m ²]
			[kg/m ²]	[Gew.-%]	
2	0,04 cm Rothoblaas VAPOR IN 120	25,00	-		0,1
3	1,8 cm elka esb P5	0,72	-	-	11,2
	4,8 cm KVH Fichte (Breite: 6 cm)	0,00	-	-	2,2
4	26,4 cm EPS-grau 032 WDV	5,28	-		4,6
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	10,56	-	-	10,7
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	10,56	-	-	10,7
5	1,8 cm elka esb P5	1,44	-	-	11,2
6	1,5 cm elka esb P5	1,20	-	-	9,3
7	0,04 cm Rothoblaas TRASPIR 110	0,03	-		0,1
	36,38 cm Gesamtes Bauteil	34,11	0		60,1

Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 19,3 °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.



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

Feuchteschutz nach DIN 4108-3:2018 Anhang A

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

Bitte beachten Sie die Hinweise am Ende dieser Feuchteschutzberechnungen.

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	sd [m]	ρ [kg/m ³]	T [°C]	ps [Pa]	Σ sd [m]
Wärmeübergangswiderstand		0,250						
2	0,04 cm Rothoblaas VAPOR IN 120	0,300	0,001	25	300	19,30	2239	0
3	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	0,72	621	19,30	2238	25
4	26,4 cm EPS-grau 032 WDV	0,032	8,250	5,28	20	18,88	2180	25,7
5	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	1,44	621	-4,12	433	31
6	1,5 cm elka esb P5	0,120	0,125	1,2	621	-4,54	418	32,4
7	0,04 cm Rothoblaas TRASPIR 110	0,300	0,001	0,1	280	-4,88	405	33,6
Wärmeübergangswiderstand		0,040				-4,89	405	33,7

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

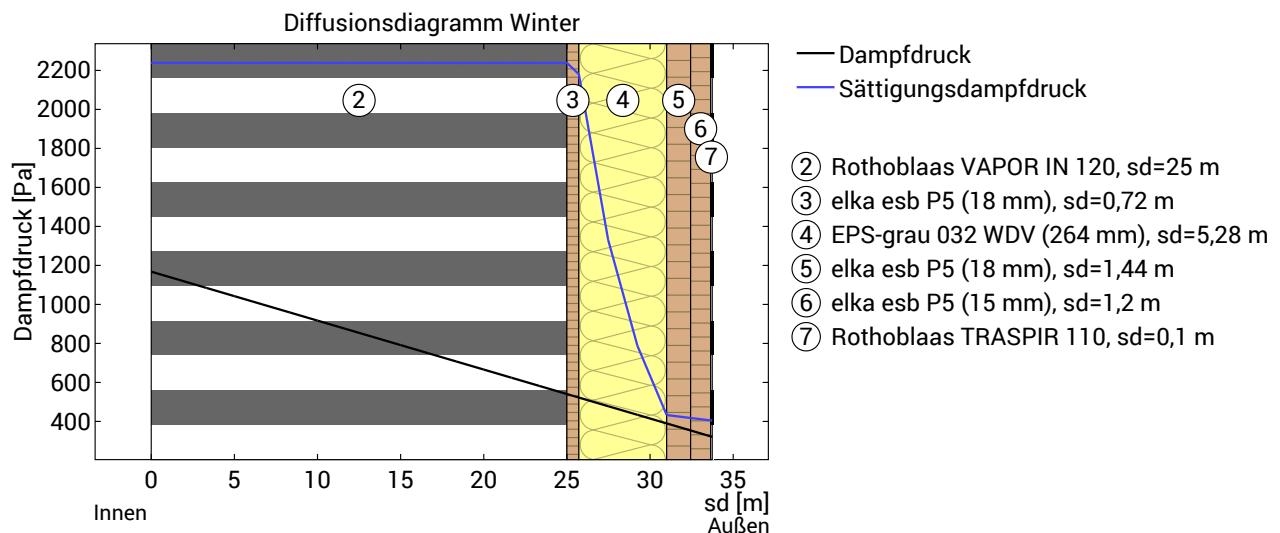
Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche

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



Tauperiode (Winter)

Randbedingungen	
Dampfdruck innen bei 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit	$p_i = 1168 \text{ Pa}$
Dampfdruck außen bei -5°C und 80% Luftfeuchtigkeit	$p_e = 321 \text{ Pa}$
Dauer Tauperiode (90 Tage)	$t_c = 7776000 \text{ s}$
Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in ruhender Luft	$\delta_0 = 2.0 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$
sd-Wert (gesamtes Bauteil)	$s_{de} = 33,74 \text{ m}$



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:

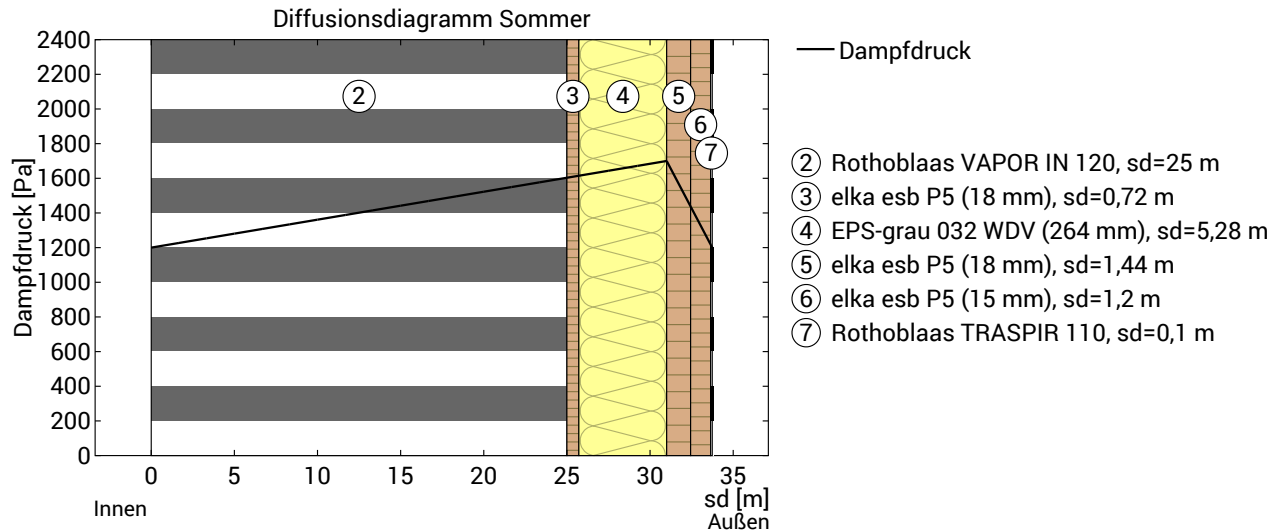
$s_d=31,00 \text{ m}$; $x=28,24 \text{ cm}$; $p_s=433 \text{ Pa}$:

Schichtgrenze zwischen EPS-grau 032 WDV und elka esb P5

$$M_{ev, \text{Tauperiode}} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i) / s_{d_{ev}} + (p_s - p_e) / (s_{d_e} - s_{d_{ev}})) = 0,027 \text{ kg/m}^2$$

Verdunstungsperiode (Sommer)

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



Tauwasserfreies Bauteil: Es wird die maximal mögliche Verdunstungsmasse für die Trocknungsreserve berechnet. Betrachtet wird die Ebene, die in der Tauperiode das geringste Verdunstungspotential aufweist bei $s_d=31,00 \text{ m}$; $x=28,24 \text{ cm}$: Schichtgrenze zwischen EPS-grau 032 WDV und elka esb P5
 Verdunstungsmenge: $M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot [(p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_{de} - s_d)] = 0,31 \text{ kg/m}^2$

Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.

Trocknungsreserve: $M_r = (M_{ev} + M_{ev, Tauperiode}) \cdot 1000 = 335 \text{ g/m}^2/\text{a}$

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



Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

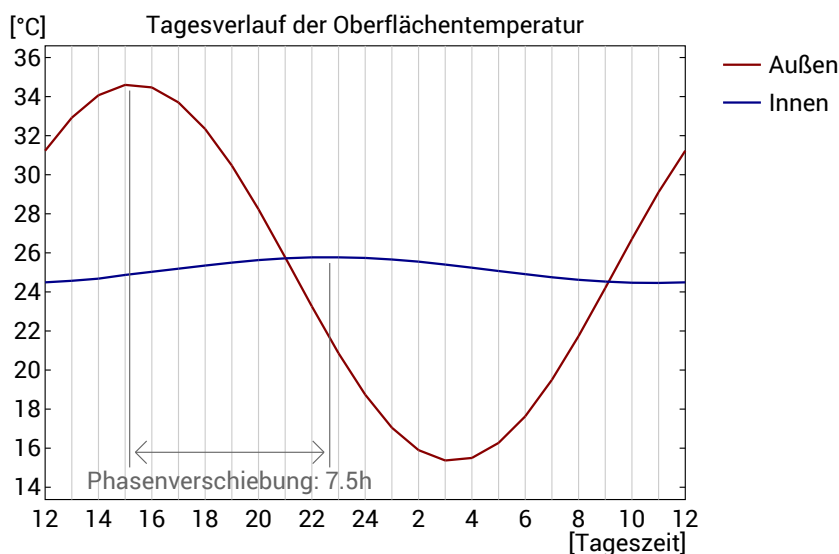
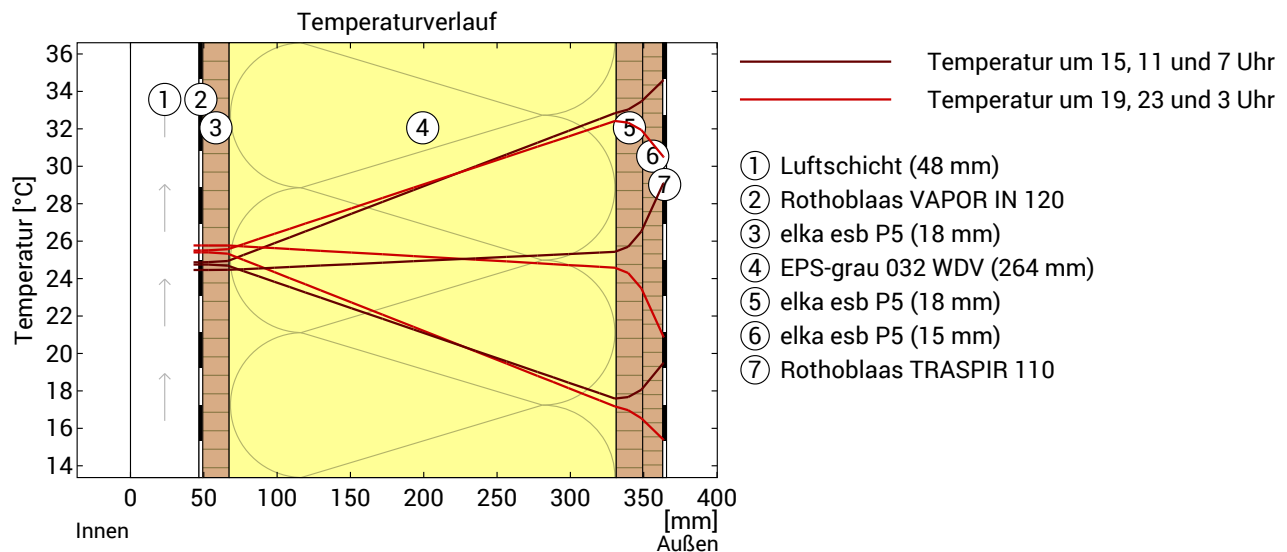
Hinweise

Bei inhomogenen Konstruktionen, wie Skelett-, Ständer- oder Rahmenbauweisen sowie bei Holzbalken-, Sparren- oder Fachwerk-Konstruktionen o.ä. sind die eindimensionalen Diffusionsberechnungen nur für den Gefachbereich nachzuweisen. Ausnahmefälle sind Sonderkonstruktionen, bei denen z.B. die diffusionshemmende Schicht auch abschnittsweise über den Außenbereich verlegt wird. In diesen Ausnahmefällen ist die hier durchgeführte Berechnung ungültig.

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

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*	7,5 h	Wärmespeicherefähigkeit (gesamtes Bauteil):	100 kJ/m ² K
Amplitudendämpfung**	14,7	Wärmespeicherefähigkeit der inneren Schichten:	43 kJ/m ² K
TAV***	0,068		

* 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.

Wärmeschutz

$U = 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

GEG 2020/24 Bestand*: $U < 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



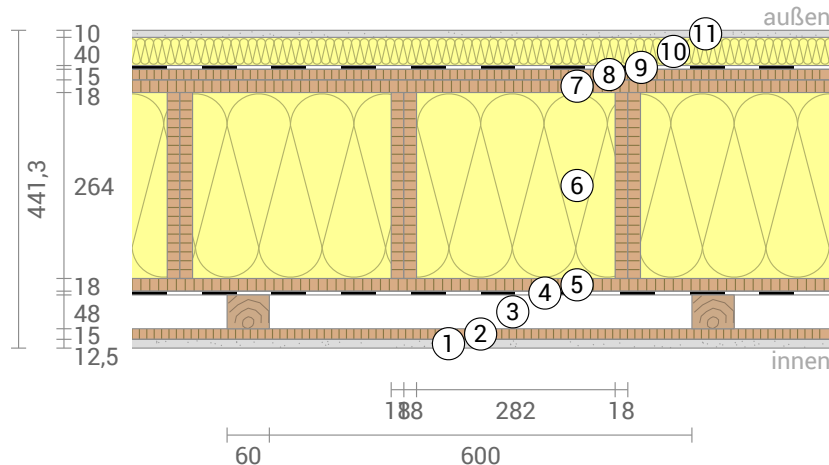
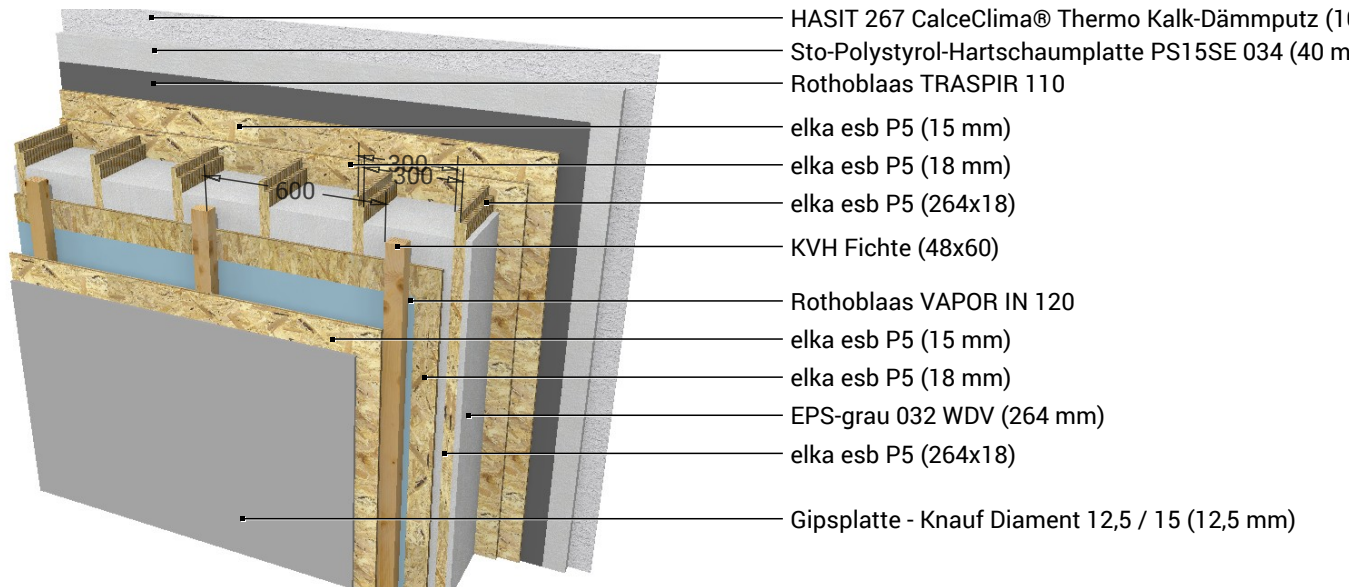
Feuchteschutz

Trocknungsreserve: 231 g/m²a
Kein Tauwasser



Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: >100
Phasenverschiebung: nicht relevant
Wärmekapazität innen: 82 kJ/m²K



- | | |
|--|--|
| ① Gipsplatte - Knauf Diamant 12,5 / 15 (12,5 mm) | ⑦ elka esb P5 (18 mm) |
| ② elka esb P5 (15 mm) | ⑧ elka esb P5 (15 mm) |
| ③ Installationsebene (48 mm) | ⑨ Rothoblaas TRASPIR 110 |
| ④ Rothoblaas VAPOR IN 120 | ⑩ Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte PS15SE 034 (40 mm) |
| ⑤ elka esb P5 (18 mm) | ⑪ HASIT 267 CalceClima® Thermo Kalk-Dämmputz (10 mm) |
| ⑥ EPS-grau 032 WDV (264 mm) | |

Raumluft: 20,0°C / 50%

Außenluft: -5,0°C / 80%

Oberflächentemp.: 19,2°C / -4,9°C

sd-Wert: 37,0 m

Trocknungsreserve: 231 g/m²a

Dicke: 44,1 cm

Gewicht: 86 kg/m²

Wärmekapazität: 138 kJ/m²K

☒ GEG 2020/24 Bestand

☒ BEG Einzelmaßn.

☒ GEG 2023/24 Neubau

☒ DIN 4108

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
1	Gipsplatte - Knauf Diamant 12,5 / 15	1,25	0,300	0,042
2	elka esb P5	1,50	0,120	0,125
3	Installationsebene	4,80	0,267	0,180
4	Rothoblaas VAPOR IN 120	0,04	0,300	0,001
5	elka esb P5	1,80	0,120	0,150
	KVH Fichte (Breite: 6 cm)	4,80	0,130	0,369
6	EPS-grau 032 WDV	26,40	0,032	8,250
	elka esb P5 (5,7%)	26,40	0,120	2,200
	elka esb P5 (5,7%)	26,40	0,120	2,200
7	elka esb P5	1,80	0,120	0,150
8	elka esb P5	1,50	0,120	0,125
9	Rothoblaas TRASPIR 110	0,04	0,300	0,001
10	Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte PS15SE 034	4,00	0,034	1,176
11	HASIT 267(vorher 840) CalceClima® Thermo Kalk-Dämmputz	1,00	0,067	0,149
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Wärmedurchlasswiderstände von ruhenden Luftschichten wurden wie folgt berechnet:

Schicht 3: Dicke 4.8 cm, Breite 60 cm, DIN EN ISO 6946 Tabelle 8, Wärmestromrichtung horizontal

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,upper}} = 9,179 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,lower}} = 8,625 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot;upper}} / R_{\text{tot;lower}} = 1,064$ (maximal erlaubt: 1,5)

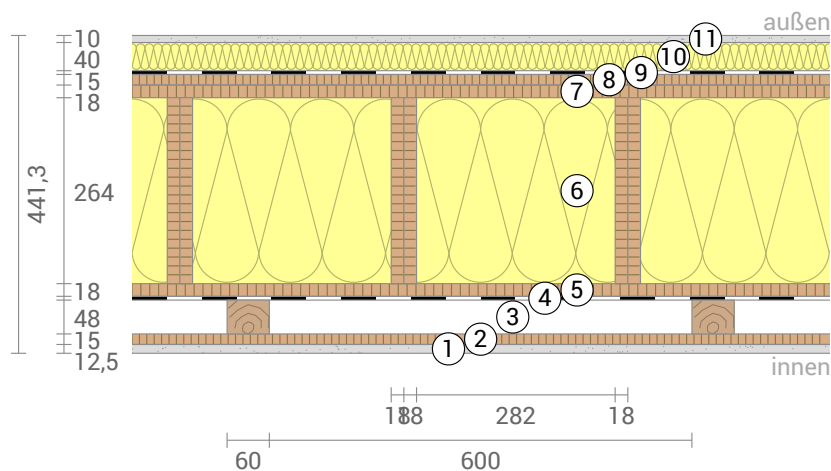
Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot,upper}} + R_{\text{tot,lower}})/2 = 8,902 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 3,1%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,11 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Das Bauteil enthält mehrere inhomogene Schichten unterschiedlicher Gesamtbreite. Für sämtliche Berechnungen wurde angenommen, dass sich die Schichtenanordnung in der Breite alle 66 cm wiederholt. Dies trifft jedoch mindestens für Schicht 6 mit einer Gesamtbreite von 31,8 cm nicht zu und kann eine erhöhte Ungenauigkeit des U-Werts verursachen.



Ökobilanz

Wärmeverlust: $9 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 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): $>245 \text{ kWh}/\text{m}^2$



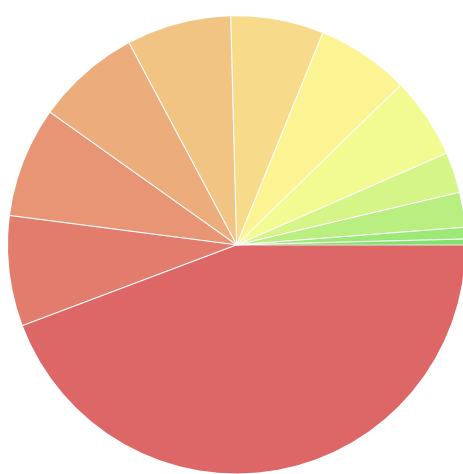
Nicht erneuerbare Primärenergie (=Energie aus fossilen Brennstoffen und Kernenergie) die zur Produktion der verwendeten Baustoffe aufgewendet wurde ("cradle to gate").

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



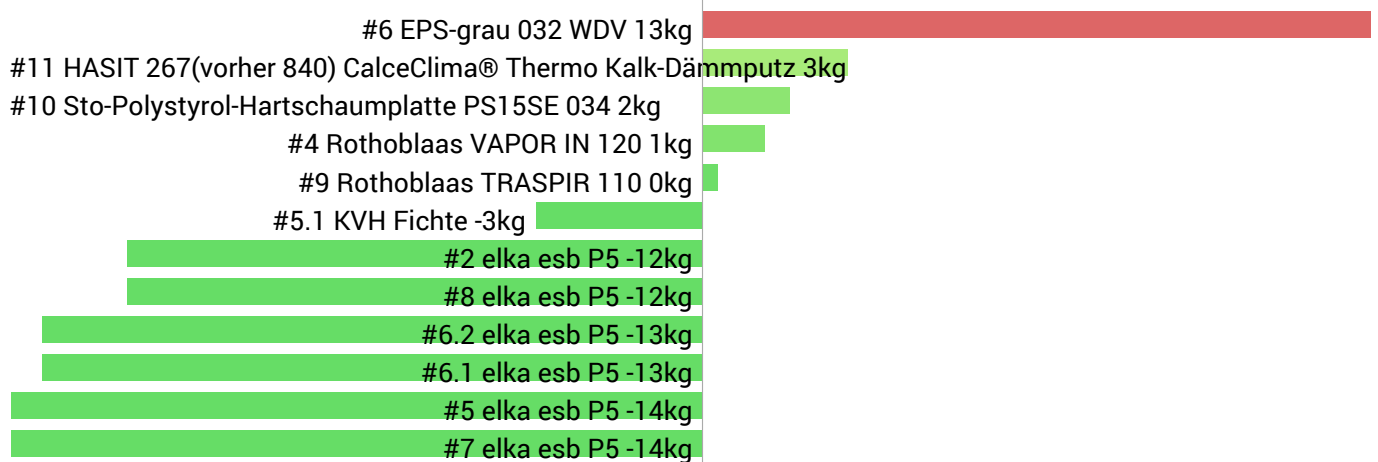
Sehr gut: Für die Produktion der verwendeten Baustoffe wurden der Atmosphäre insgesamt mehr Treibhausgase entzogen als zugeführt.

Zusammensetzung des nicht erneuerbaren Primärenergieaufwands der Herstellung:



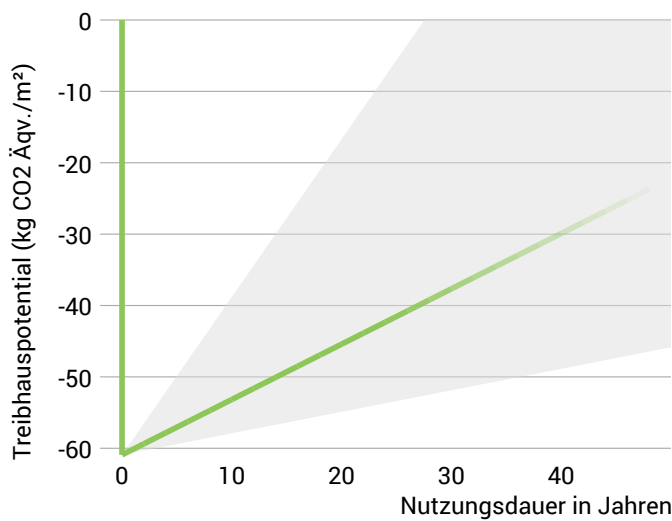
- EPS-grau 032 WDV (264 mm) 44%
- elka esb P5 (18 mm) 8%
- elka esb P5 (18 mm) 8%
- elka esb P5 (264x18) 7%
- elka esb P5 (264x18) 7%
- elka esb P5 (15 mm) 7%
- elka esb P5 (15 mm) 7%
- Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte PS15SE 034 (40 mm) 6%
- HASIT 267 CalceClima® Thermo Kalk-Dämmputz (10 mm) 3%
- Rothoblaas VAPOR IN 120 2%
- Rothoblaas TRASPIR 110 1%
- KVH Fichte (48x60) 0%

Zusammensetzung des Treibhauspotentials der Herstellung:



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

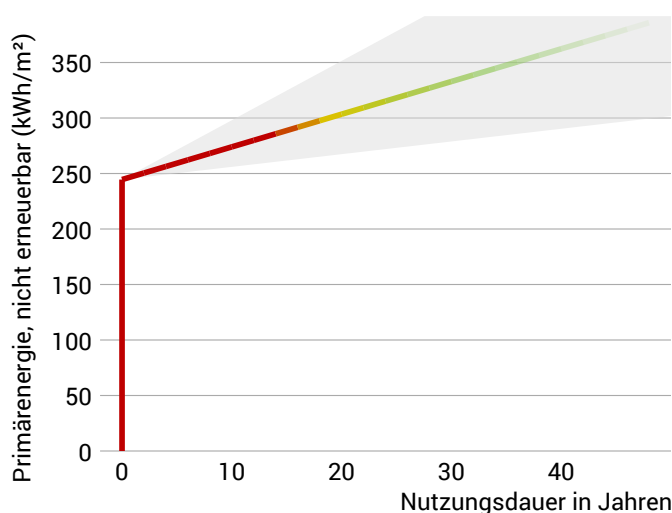
Treibhauspotential und Primärenergie für Bau und Nutzung



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 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 $0,16 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$ pro kWh Wärme angesetzt. Wärmequelle: Wärmepumpe (Luft).

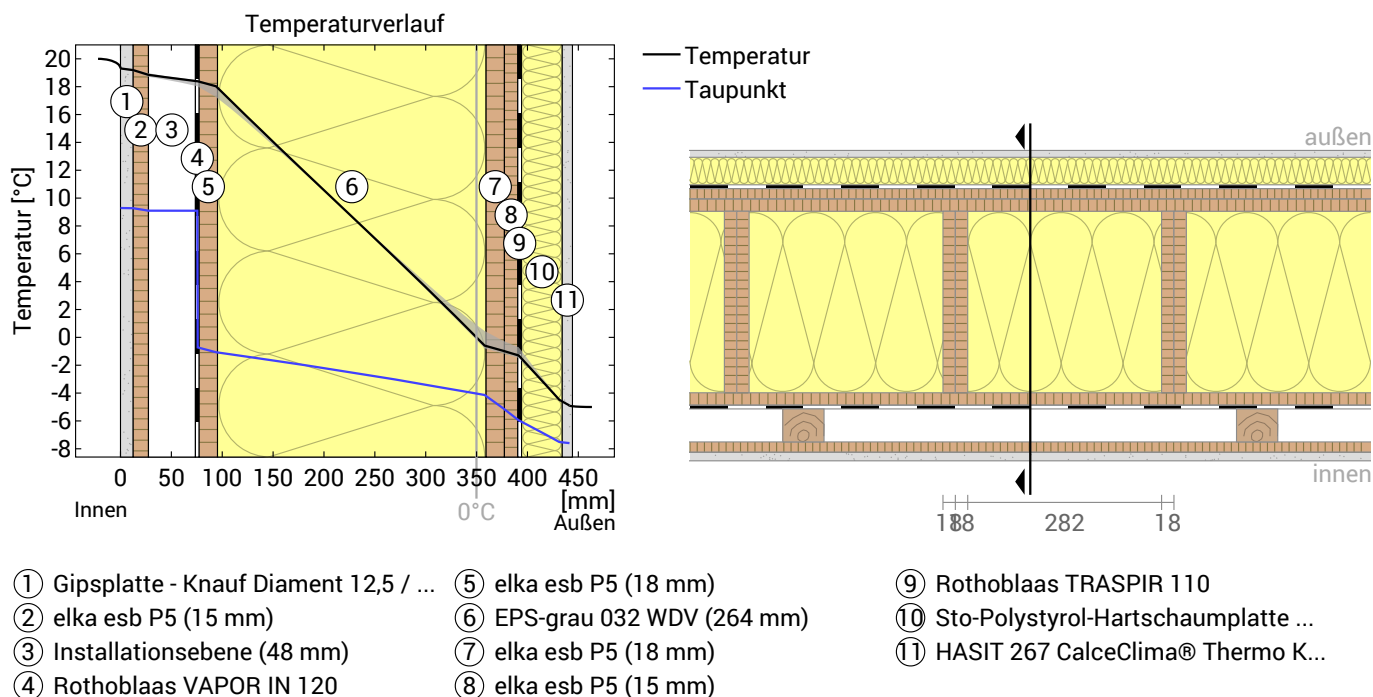
Hinweise

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



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

Rechts: Maßstäbliche Zeichnung des Bauteils.

Schichten (von innen nach außen)

#	Material	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	Temperatur [°C]		Gewicht [kg/m ²]
				min	max	
	Wärmeübergangswiderstand*		0,250	19,2	20,0	
1	1,25 cm Gipsplatte - Knauf Diamant 12,5 / 15	0,300	0,042	19,1	19,4	12,5
2	1,5 cm elka esb P5	0,120	0,125	18,7	19,3	9,3
3	4,8 cm Installationsebene	0,267	0,180	18,0	18,9	0,1
4	0,04 cm Rothoblaas VAPOR IN 120	0,300	0,001	18,0	18,5	0,1
5	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	17,3	18,5	11,2
	4,8 cm KVH Fichte (Breite: 6 cm)	0,130	0,369	18,2	19,0	2,2
6	26,4 cm EPS-grau 032 WDV	0,032	8,250	-0,8	18,1	4,6
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	0,120	2,200	0,3	17,4	10,7
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	0,120	2,200	0,4	17,4	10,7
7	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	-1,2	0,5	11,2
8	1,5 cm elka esb P5	0,120	0,125	-1,5	-0,2	9,3
9	0,04 cm Rothoblaas TRASPIR 110	0,300	0,001	-1,5	-0,7	0,1
10	4 cm Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte PS15SE 034	0,034	1,176	-4,5	-0,7	0,6
11	1 cm HASIT 267(vorher 840) CalceClima® Thermo Kalk-Dämmputz	0,067	0,149	-4,9	-4,4	3,0
	Wärmeübergangswiderstand*		0,040	-5,0	-4,9	
	44,13 cm Gesamtes Bauteil		8,738			85,5

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

Oberflächentemperatur innen (min / mittel / max): 19,2°C 19,3°C 19,4°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°C und 50% Luftfeuchtigkeit; außen: -5°C und 80% Luftfeuchtigkeit. Dieses Klima entspricht DIN 4108-3.

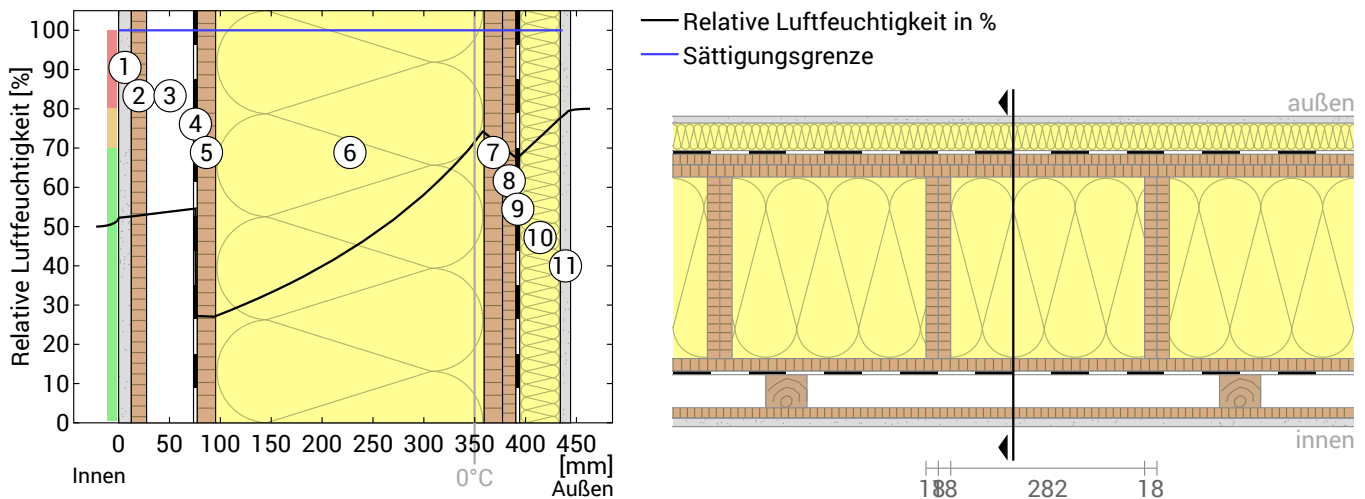
Unter den angenommenen Bedingungen bildet sich kein Tauwasser.

Trocknungsreserve gemäß DIN 4108-3:2018: 231 g/(m²a)
Von der DIN 68800-2 mindestens gefordert: 100 g/(m²a)

#	Material	sd-Wert [m]	Tauwasser [kg/m²] [Gew.-%]	Gewicht [kg/m²]
1	1,25 cm Gipsplatte - Knauf Diamant 12,5 / 15	0,05	-	12,5
2	1,5 cm elka esb P5	0,60	-	9,3
3	4,8 cm Installationsebene	0,01	-	0,1
4	0,04 cm Rothoblaas VAPOR IN 120	25,00	-	0,1
5	1,8 cm elka esb P5	0,72	-	11,2
	4,8 cm KVH Fichte (Breite: 6 cm)	1,92	-	2,2
6	26,4 cm EPS-grau 032 WDV	5,28	-	4,6
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	10,56	-	10,7
	26,4 cm elka esb P5 (5,7%)	10,56	-	10,7
7	1,8 cm elka esb P5	1,44	-	11,2
8	1,5 cm elka esb P5	1,20	-	9,3
9	0,04 cm Rothoblaas TRASPIR 110	0,03	-	0,1
10	4 cm Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte PS15SE 034	2,00	-	0,6
11	1 cm HASIT 267(vorher 840) CalceClima® Thermo Kalk-Dämmputz	0,10	-	3,0
	44,13 cm Gesamtes Bauteil	36,98	0	85,5

Luftfeuchtigkeit

Die Oberflächentemperatur auf der Raumseite beträgt 19,2 °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 Gipsplatte - Knauf Diamant 12,5 / ... | ⑤ elka esb P5 (18 mm) | ⑨ Rothoblaas TRASPIR 110 |
| ② elka esb P5 (15 mm) | ⑥ EPS-grau 032 WDV (264 mm) | ⑩ Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte ... |
| ③ Installationsebene (48 mm) | ⑦ elka esb P5 (18 mm) | ⑪ HASIT 267 CalceClima® Thermo K... |
| ④ Rothoblaas VAPOR IN 120 | ⑧ elka esb P5 (15 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 4108-3:2018 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	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	sd [m]	ρ [kg/m ³]	T [°C]	ps [Pa]	Σ sd [m]
Wärmeübergangswiderstand		0,250						
1	1,25 cm Gipsplatte - Knauf Diamant 12,5 / 15	0,300	0,042	0,05	1000	19,41	2254	0
2	1,5 cm elka esb P5	0,120	0,125	0,6	621	19,31	2240	0,05
3	4,8 cm Installationsebene	0,267	0,180	0,01	1	19,02	2199	0,65
4	0,04 cm Rothoblaas VAPOR IN 120	0,300	0,001	25	300	18,60	2143	0,66
5	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	0,72	621	18,59	2142	25,7
6	26,4 cm EPS-grau 032 WDV	0,032	8,250	5,28	20	18,24	2095	26,4
7	1,8 cm elka esb P5	0,120	0,150	1,44	621	-1,14	556	31,7
8	1,5 cm elka esb P5	0,120	0,125	1,2	621	-1,49	540	33,1
9	0,04 cm Rothoblaas TRASPIR 110	0,300	0,001	0,1	280	-1,79	527	34,3
10	4 cm Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte PS15SE 034	0,034	1,176	2	15	-1,79	526	34,4
11	1 cm HASIT 267(vorher 840) CalceClima® Thermo Kalk-Dämmputz	0,067	0,149	0,1	300	-4,56	417	36,4
Wärmeübergangswiderstand		0,040				-4,91	404	36,5

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

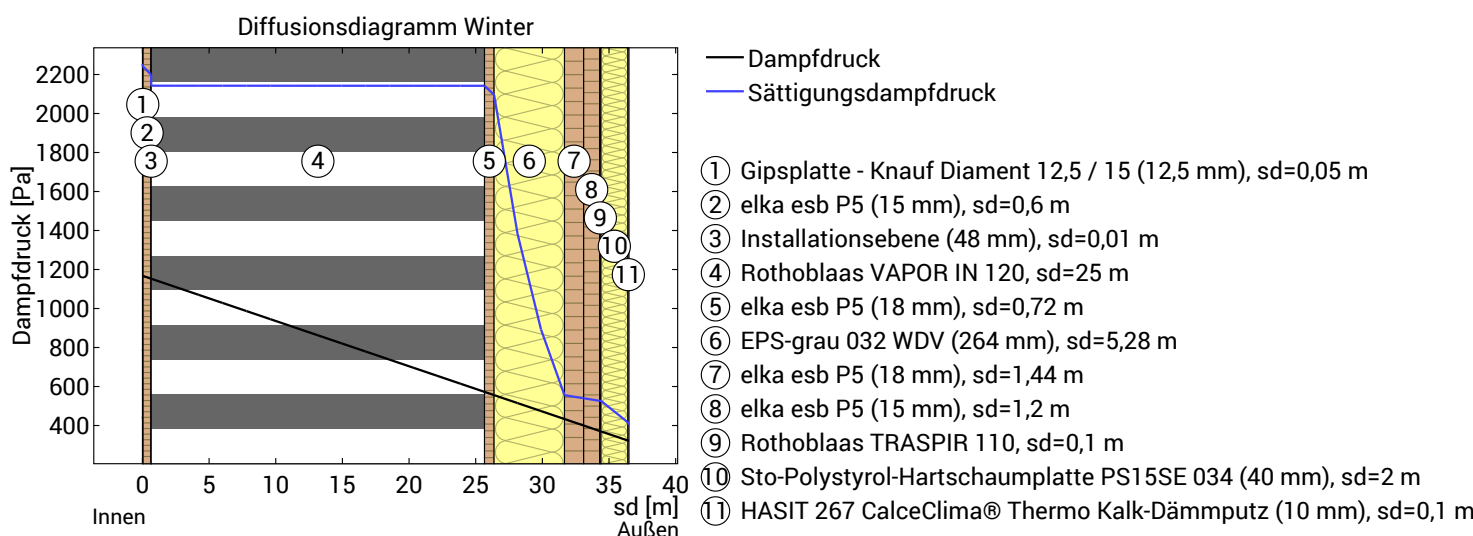
Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche

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



Tauperiode (Winter)

Randbedingungen	
Dampfdruck innen bei 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit	$p_i = 1168 \text{ Pa}$
Dampfdruck außen bei -5°C und 80% Luftfeuchtigkeit	$p_e = 321 \text{ Pa}$
Dauer Tauperiode (90 Tage)	$t_c = 7776000 \text{ s}$
Wasserdampf-Diffusionsleitkoeffizient in ruhender Luft	$\delta_0 = 2.0\text{E-}10 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$
sd-Wert (gesamtes Bauteil)	$s_{de} = 36,50 \text{ m}$



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:

$s_d=31,66 \text{ m}$; $x=35,79 \text{ cm}$; $p_s=556 \text{ Pa}$:

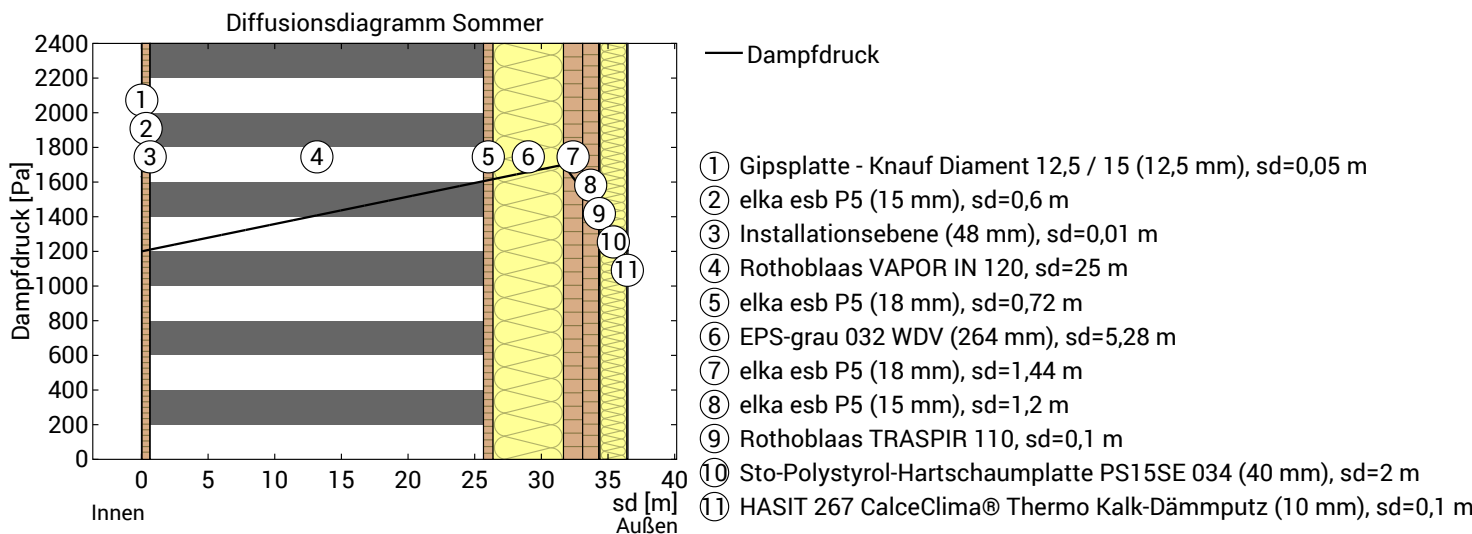
Schichtgrenze zwischen EPS-grau 032 WDV und elka esb P5

$$M_{ev,Tauperiode} = t_c \cdot \delta_0 \cdot ((p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_d - s_{ev})) = 0,045 \text{ kg/m}^2$$

Verdunstungsperiode (Sommer)

Randbedingungen

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



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

Betrachtet wird die Ebene, die in der Tauperiode das geringste Verdunstungspotential aufweist bei $s_d=31,66 \text{ m}$; $x=35,79 \text{ cm}$:

Schichtgrenze zwischen EPS-grau 032 WDV und elka esb P5

$$\text{Verdunstungsmenge: } M_{ev} = \delta_0 \cdot t_{ev} \cdot [(p_s - p_i)/s_d + (p_s - p_e)/(s_d - s_{ev})] = 0,19 \text{ kg/m}^2$$

Trocknungsreserve (DIN 68800-2)

Tauwasserfreies Bauteil: Das Verdunstungspotential der Tauperiode wird ebenfalls berücksichtigt.

$$\text{Trocknungsreserve: } M_r = (M_{ev} + M_{ev,Tauperiode}) \cdot 1000 = 231 \text{ g/m}^2/\text{a}$$

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



Bewertung gemäß DIN 4108-3

Das Bauteil ist diffusionstechnisch zulässig.

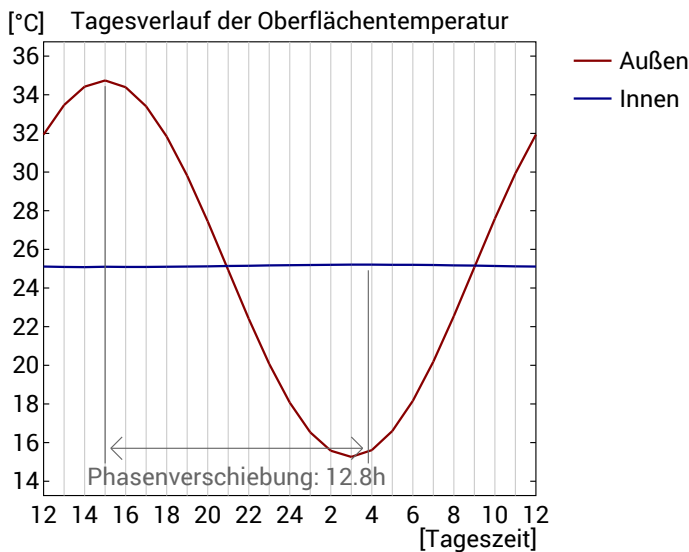
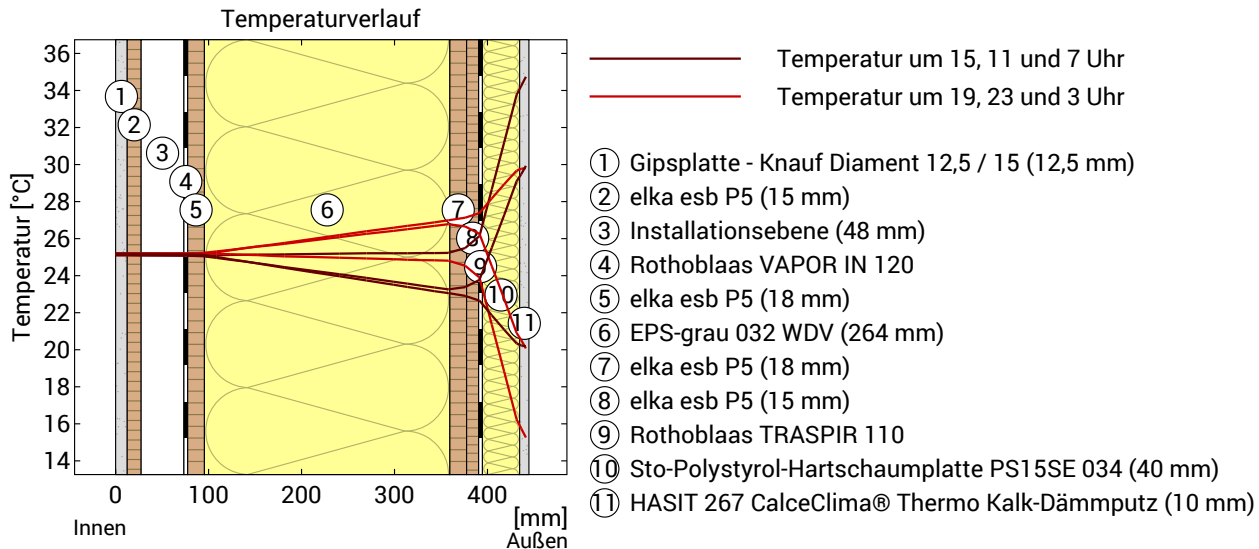
Hinweise

Bei inhomogenen Konstruktionen, wie Skelett-, Ständer- oder Rahmenbauweisen sowie bei Holzbalken-, Sparren- oder Fachwerk-Konstruktionen o.ä. sind die eindimensionalen Diffusionsberechnungen nur für den Gefachbereich nachzuweisen. Ausnahmefälle sind Sonderkonstruktionen, bei denen z.B. die diffusionshemmende Schicht auch abschnittsweise über den Außenbereich verlegt wird. In diesen Ausnahmefällen ist die hier durchgeführte Berechnung ungültig.

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

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):	138 kJ/m²K
Amplitudendämpfung**	>100	Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten:	82 kJ/m²K
TAV***	0,007		

* 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.