

Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes

gemäß GEG 2023

Bauteilnachweis

1. Änderung

Gebäude: Sanierung Turnhalle Wildberg
Werdersteg 1
16845 Wildberg
Gesamtgebäude

Bauherr: Amt Temnitz
Bergstraße 2
16818 Walsleben

Ersteller: Ruppiner Architektur und Ingenieur Büro
Gerhart-Hauptmann-Straße 11
16816 Neuruppin

Projekt: 4022
Datum: 16.09.2025

Projektbeschreibung

Eine bestehende Turnhalle vom Bautyp KT60 in Fertigteilbauweise soll im Zuge einer Sanierung teilweise energetisch ertüchtigt werden. Für die teilweise verdeckten Bestandskonstruktionen stehen nur unvollständige Bestandsunterlagen zur Verfügung.

Dächer- und Wände bestehen aus HP- bzw. HPZ-Schalen. Diese wurden aus bewehrten Beton mit sehr geringen Bauteilstärken hergestellt, sodass die Betondeckungen des Bestandes in der Regel nicht dem gegenwärtigen Standard entsprechen. Nachträgliche mechanische Befestigungen in diesen Bauteilen können die Betondeckungen dabei weiter reduzieren und auch Folgeschäden herbeiführen. Zur Qualitätssicherung sollen aus diesem Grunde mechanische Befestigungen vermieden werden und nur in Ausnahmefällen begrenzt geplant zur Ausführung kommen. Innenseitig vorhandene vorgesetzte Teilwände werden bei den Bauteilnachweisen nicht berücksichtigt, da diese nicht vollumschließend ausgeführt sind.

I. Wandbekleidungen:

Die vorhandenen Außenwände der Halle und der Giebel sind 12cm stark aus HPZ-Wandschalen ausgeführt. Dabei wurden diese Wände mehrschalig mit 5 cm Wärmedämmung berücksichtigt. Die äußere Betonschale ist nur 5,5 cm stark, was mit der weiteren Planung Berücksichtigung finden muss. Die Wandelemente sind in der Regel tragend und in die Fundamente eingespannt. Bezüglich der energetischen Ertüchtigung wird im Zusammenhang mit den Brandschutzanforderungen die nachfolgende Ausführung nachgewiesen:

Außenwände(Giebel und Hallenlängswand) mit EPS-Dämmung:

Die vollständige hohlraumfreie Porenbeton-Ausmauerung der Betonhalbschalen mit flächenverteilten Anbindungen an den Bestand über Mauerwerksanschlüsse aus nichtrostenden Stahl. Herstellen eines ausschließlich verklebten WDV-Systems mit 14 cm Dämmstärke bei 035 WLK. Das WDV-System aus EPS-Dämmung und MIWO-Brandriegeln für die Zulassung schwer entflammbar wird über die Wandschlösser hinweg geführt.

II: Dachbekleidungen:

Hallenbereich-Dach Halle mit EPS-Dämmung(PIR-Dämmung):

Die Halle ist mit gekrümmten HP-Schalen bei 12m Spannweite überdeckt. Zur Vermeidung von Beeinträchtigungen des Bestandes soll die Dachdämmung im Zusammenhang mit einem verklebten soggesicherten Kompaktdach geplant werden. Die Schalen und die Schlösser werden mit der Krümmung verlaufend hohlraumfrei ausgedämmt bzw. überdämmt. Die Bestandsdachhaut wird vollständig abgetragen. Auf dem Bestandsbeton wird eine Dampfsperre neu aufgeklebt. Abgleich mit Brandschutznachweis erforderlich.

Sozialtraktbereich-Dach Sozialtrakt mit EPS-Dämmung(PIR-Dämmung):

Der Sozialtrakt ist mit geraden HP-Zylinderschalen in trogförmiger Ausführung bei 9m Spannweite überdeckt. Zur Vermeidung von Beeinträchtigungen des Bestandes soll die Dachdämmung im Zusammenhang mit einem verklebten soggesicherten Kompaktdach geplant werden.

Zur Veränderung der Gefällerichtung nach außen wird auf den ausgedämmten Trogschalen eine zusätzliche darauf konzipierte Gefälledämmung innerhalb des

Kompaktdachs aufgebracht. Die Altabdichtungen werden vollständig entfernt. Auf dem Bestandsbeton wird eine Dampfsperre neu aufgeklebt. Abgleich mit Brandschutznachweis erforderlich.

Aus bestehenden Altunterlagen geht hervor, dass für die Dachdeckungen ein Gewicht von 30 kg/m² bei der Bemessung und Herstellung der Dachelemente berücksichtigt ist. Dieser Lastansatz ist bei der Planung neuer Dachaufbauten entsprechend zu berücksichtigen. Die oberen abschließenden Dachabdichtungen erfolgen zweilagig. Der qualitative Bestandszustand ist vor den Sanierungsmaßnahmen bzw. mit den Abbruchmaßnahmen gewissenhaft zu prüfen. Vorhandene Schäden müssen durch einen Fachmann begutachtet/beurteilt werden.

III: Fußböden

Fußboden Sozialtrakt(Typ 1+2+3):

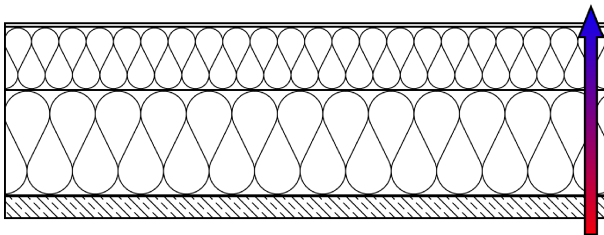
Die Fussböden werden im Bereich des Sozialtraktes erneuert. Hierbei wird eine Wärmedämmung unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Aufbauhöhe und im Rahmen eines positiven Bauteilnachweises berücksichtigt.

Fenster werden im Rahmen dieser Sanierung nicht erneuert. Eine Außentür wird ausgetauscht. Für Fördermaßnahmen können abweichende Randbedingungen erforderlich sein!

Übersicht über die Bauteilaufbauten

Bauteil: Dach Sozialtrakt mit EPS-Dämmung ($U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff
1	5,50	Beton armiert mit 2% Stahl ($2400 \text{ kg}/\text{m}^3$)
2	0,25	Diffusionsdichte Schicht (DIN 4108-3), $s_{d,i} \geq 1500\text{m}$, luftdicht (DIN 4108-7)
3	26,50	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/20 kg/m^3 nach DIN EN 13163
4	16,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/20 kg/m^3 nach DIN EN 13163
5	0,85	Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707

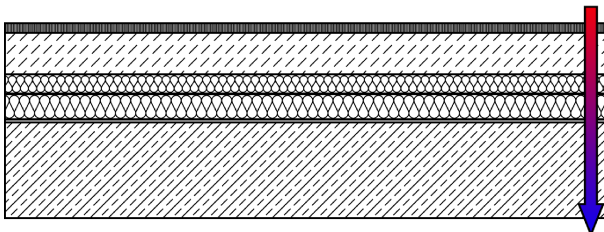


Bauteil: Außentür ($U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

(pauschal eingetragener U-Wert des Bauteilaufbaus, es sind keine Baustoffe eingetragen)

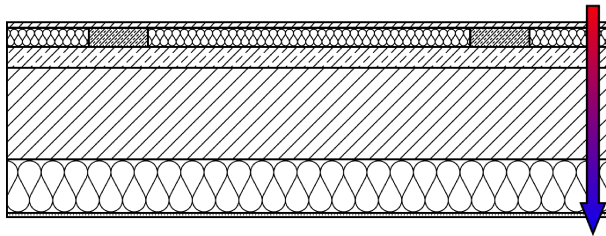
Bauteil: Fußboden Sozialtrakt Typ2 ($U = 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff
1	1,50	Platten aus Keramik/Porzellan
2	6,50	Zement-Estrich CT
3	3,00	Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) 040 nach DIN EN 13164
4	0,05	PP-Folien, Dicke $d \geq 0,05 \text{ mm}$
5	4,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m^3 (Perimeterdämmung mit Zul.)
6	0,50	Bitumendachbahnen G 200 S4 ($d=4 \text{ mm}$) nach DIN EN 13707
7	15,00	Beton mittlere Rohdichte ($2200 \text{ kg}/\text{m}^3$)



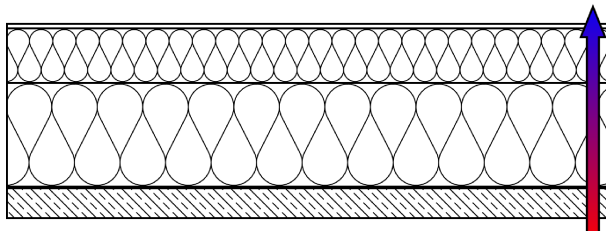
Bauteil: Außenwände(Giebel+Hallenlängswand)Ausmauerung+WDV+Bgemittelt ($U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff	Breite [cm]	Abstand [cm]	Versatz [cm]
1	1,50	Beton armiert mit 2% Stahl ($2400 \text{ kg}/\text{m}^3$)			
2	5,00	Holzwohle-Platten (WW) 120 nach DIN EN 13168	84,00		
		Beton C20/25 armiert mit 1% Stahl ($2300 \text{ kg}/\text{m}^3$)	16,00	100,00	0,00
3	5,50	Beton C20/25 armiert mit 2% Stahl ($2400 \text{ kg}/\text{m}^3$)			
4	24,00	Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) $0,10/400\text{kg}/\text{m}^3$ mit Zulassung			
5	14,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) $035/15 \text{ kg}/\text{m}^3$ nach DIN EN 13163			
6	1,00	Putze-Siliconharzputz			



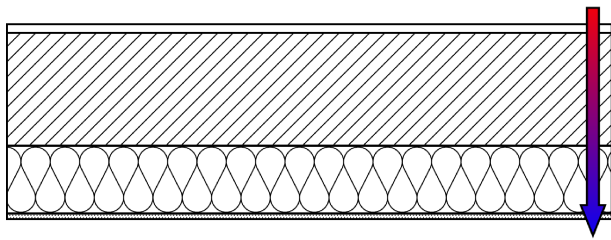
Bauteil: Dach Halle mit EPS-Dämmung ($U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff
1	5,50	Beton armiert mit 2% Stahl ($2400 \text{ kg}/\text{m}^3$)
2	0,25	Diffusionsdichte Schicht (DIN 4108-3), $s_{d,i} \geq 1500\text{m}$, luftdicht (DIN 4108-7)
3	19,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) $035/20 \text{ kg}/\text{m}^3$ nach DIN EN 13163
4	10,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) $035/20 \text{ kg}/\text{m}^3$ nach DIN EN 13163
5	0,85	Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707



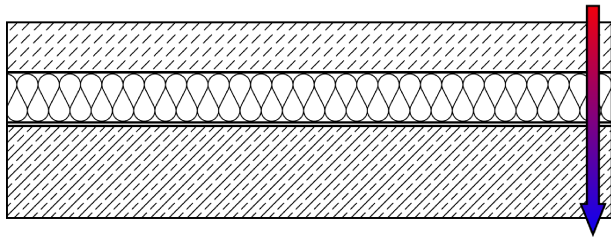
Bauteil: Außenwände(Sozialtraktlängswand)mit EPS-Dämmung+B 035 ($U = 0,21 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff
1	1,50	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit
2	20,00	Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) dünnfugig ($600 \text{ kg}/\text{m}^3$) nach DIN 4166
3	12,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) $035/15 \text{ kg}/\text{m}^3$ nach DIN EN 13163
4	1,00	Putze-Siliconharzputz



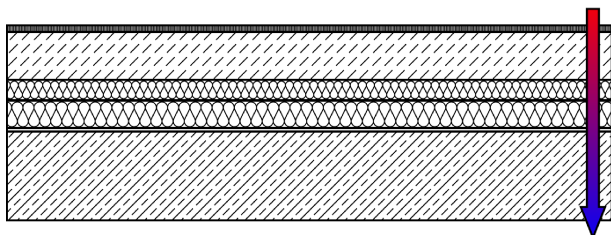
Bauteil: Fußboden Sozialtrakt Typ3 ($U = 0,43 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff
1	7,00	Zement-Estrich CT
2	0,05	PP-Folien, Dicke $d \geq 0,05 \text{ mm}$
3	7,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m^3 (Perimeterdämmung mit Zul.)
4	0,50	Bitumendachbahnen G 200 S4 ($d=4 \text{ mm}$) nach DIN EN 13707
5	13,00	Beton mittlere Rohdichte ($2200 \text{ kg}/\text{m}^3$)



Bauteil: Fußboden Sozialtrakt Typ1 ($U = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Schicht Nr.	Dicke [cm]	Baustoff
1	1,00	Fussbodenbeläge Kunststoff (PVC)
2	7,00	Zement-Estrich CT
3	3,00	Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) 040 nach DIN EN 13164
4	0,05	PP-Folien, Dicke $d \geq 0,05 \text{ mm}$
5	4,00	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m^3 (Perimeterdämmung mit Zul.)
6	0,50	Bitumendachbahnen G 200 S4 ($d=4 \text{ mm}$) nach DIN EN 13707
7	13,00	Beton mittlere Rohdichte ($2200 \text{ kg}/\text{m}^3$)



Bauphysikalische Berechnungen der Bauteilaufbauten

Bauteilaufbau: Dach Sozialtrakt mit EPS-Dämmung

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Baustoffe	Dicke d [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	maßg. μ [-]	äquiv. Dicke [m]	Temp.- Verlauf [°C]	Satt- dampf- druck [Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,100			20,0	2337
Beton armiert mit 2% Stahl (2400 kg/m³)	5,5	2,500	0,022	130	7,15	19,5	2259
Diffusionsdichte Schicht (DIN 4108-3), sd,i>=1500m, luftdicht (DIN 4108-7)	0,25	0,250	0,010		1500	19,4	2257
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/20 kg/m³ nach DIN EN 13163	26,5	0,035	7,571	100	26,5	4,3	831
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/20 kg/m³ nach DIN EN 13163	16,0	0,035	4,571	100	16	-4,8	407
Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	0,85	0,170	0,050	20000	170	-4,9	404
Wärmeübergang außen R_{se}			0,040			-5,0	401
$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$			12,365	$\Sigma S_d =$ 1719,7			

Temperaturverlauf und Sattdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ berechnet.

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

Die mittlere flächenbezogene Masse des Bauteils beträgt $m' = 151,4 \text{ kg/m}^2$.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 beträgt min $R = 1,20 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 12,22 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt.

Berechnung des Temperaturamplitudenverhältnisses und der Phasenverschiebung

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m²K]	f0 [-]
1	5,5	2,500	2400	1000	2449,5	0,325
2	0,25	0,250	275	1800	351,8	0,021
3	26,5	0,035	20	1450	31,9	1,455
4	16,0	0,035	20	1450	31,9	0,878
5	0,85	0,170	1200	1000	451,7	0,136

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 190,1$
Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,005$
Phasenverschiebung $\eta = 12,1 \text{ h}$

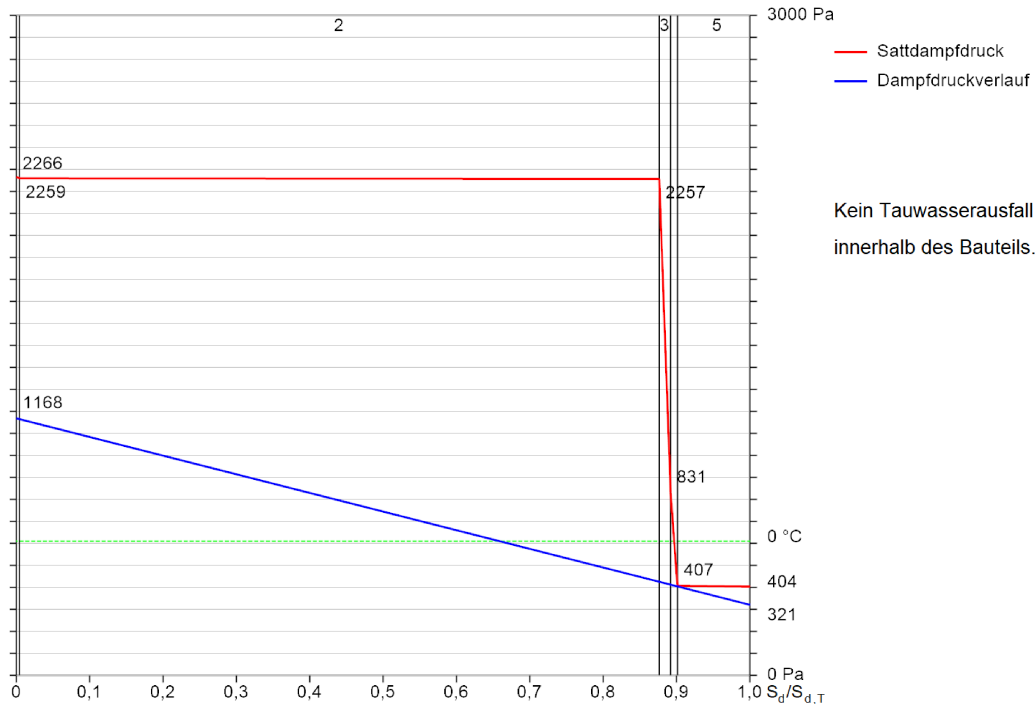
Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 13788:2013-05

Kein Tauwasserausfall in diesem Bereich.

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3:2018-10

Tauperiode (Winter)

Berechnung der Tauwassermenge



Bauteilaufbau: Außentür

pauschal eingetragener U-Wert des Bauteilaufbaus (ohne Berechnung): 1,80 W/(m²K)

Bauteilaufbau: Fußboden Sozialtrakt Typ2

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Baustoffe	Dicke d [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	maßg. μ [-]	äquiv. Dicke [m]	Temp.- Verlauf [°C]	Satt- dampf- druck [Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,170			20,0	2337
Platten aus Keramik/Porzellan	1,5	1,300	0,012	999999	1,5E004	17,4	1980
Zement-Estrich CT	6,5	1,400	0,046	35	2,275	17,2	1965
Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) 040 nach DIN EN 13164	3,0	0,040	0,750	250	7,5	16,7	1905
PP-Folien, Dicke $d \geq 0,05$ mm	0,05	50,000	0,000	1000	0,5	8,8	1132
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m³ (Perimeterdämmung mit Zul.)	4,0	0,035	1,143	100	4	-3,3	463
Bitumendachbahnen G 200 S4 (d=4 mm) nach DIN EN 13707	0,50	0,170	0,029	20000	100	-3,6	451
Beton mittlere Rohdichte (2200 kg/m³)	15,0	1,650	0,091	120	18	-4,6	416
Wärmeübergang außen R_{se}			0,000			-5,0	401
$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$			2,241	$\Sigma S_d = 15132,3$			

Temperaturverlauf und Sattdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25$ m²K/W und $R_{se} = 0,04$ m²K/W berechnet.

$$U = 1/R_T = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Die mittlere flächenbezogene Masse des Bauteils beträgt $m' = 502,7 \text{ kg/m}^2$.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 beträgt $\min R = 0,90 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 2,07 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt.

Berechnung des Temperaturamplitudenverhältnisses und der Phasenverschiebung

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m ² K]	f0 [-]
1	1,5	1,300	2300	840	1584,8	0,110
2	6,5	1,400	2000	1000	1673,3	0,468
3	3,0	0,040	40	1450	48,2	0,218
4	0,05	50,000	1100	1000	7416,2	0,000
5	4,0	0,035	30	1450	39,0	0,269
6	0,50	0,170	1045	1000	421,5	0,075
7	15,0	1,650	2200	1000	1905,3	1,044

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 32,1$

Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,031$

Phasenverschiebung $\eta = 10,2 \text{ h}$

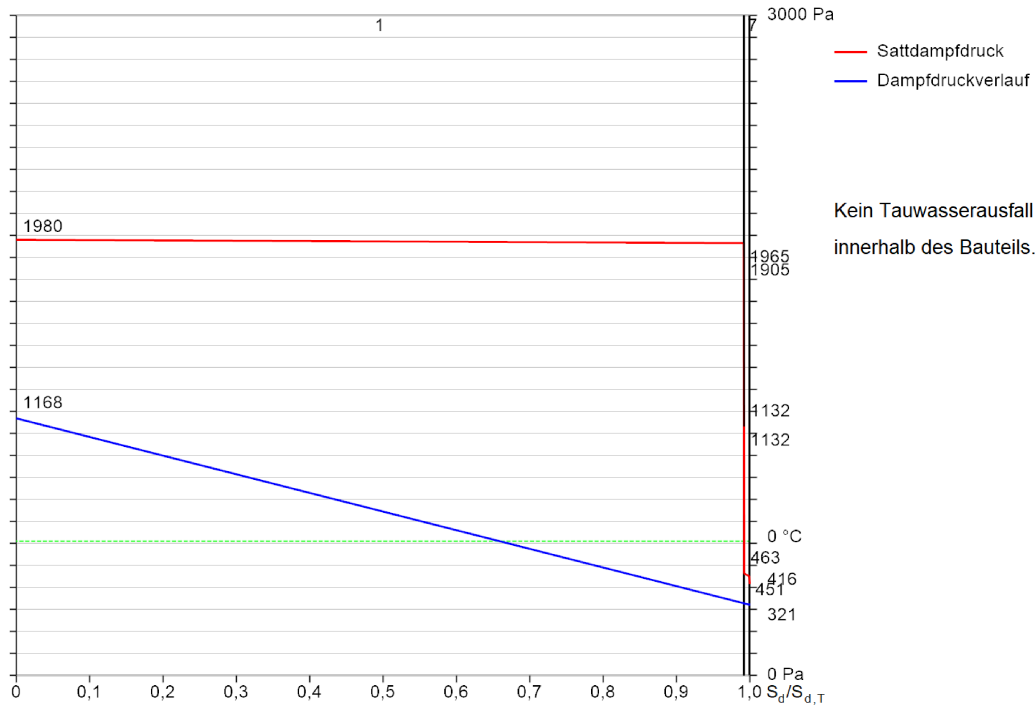
Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 13788:2013-05

Kein Tauwasserausfall in diesem Bereich.

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3:2018-10

Tauperiode (Winter)

Berechnung der Tauwassermenge



Bauteilaufbau: Außenwände(Giebel+Hallenlängswand)Ausmauerung+WDV+Bgemittelt

Berechnung des oberen Grenzwertes des Wärmedurchgangswiderstandes R_T'

Bereich 1 Anteil: 84,00% (f=0,8400)	Dicke d	λ	R	maßg. μ	äquiv. Dicke	Temp.- Verlauf	Satt- dampf- druck
Baustoffe	[cm]	[W/mK]	[m²K/W]	[-]	[m]	[°C]	[Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,130			20,0	2337
Beton armiert mit 2% Stahl (2400 kg/m³)	1,5	2,500	0,006	130	1,95	19,1	2210
Holzwohle-Platten (WW) 120 nach DIN EN 13168	5,0	0,120	0,417	5	0,25	17,6	2017
Beton C20/25 armiert mit 2% Stahl (2400 kg/m³)	5,5	2,500	0,022	130	7,15	17,6	2008
Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) 0,10/400kg/m³ mit Zulassung	24,0	0,100	2,400	10	2,4	9,2	1161
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/15 kg/m³ nach DIN EN 13163	14,0	0,035	4,000	100	14	-4,8	407
Putze-Siliconharzputz	1,00	1,000	0,010		0,14	-4,9	406
Wärmeübergang außen R_{se}			0,040			-5,0	401
$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$			7,025	$\Sigma S_d =$	25,9		

Temperaturverlauf und Sattdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ berechnet.

Bereich 2 Anteil: 16,00% (f=0,1600)	Dicke d	λ	R	maßg. μ	äquiv. Dicke	Temp.- Verlauf	Satt- dampf- druck
Baustoffe	[cm]	[W/mK]	[m²K/W]	[-]	[m]	[°C]	[Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,130			20,0	2337
Beton armiert mit 2% Stahl (2400 kg/m³)	1,5	2,500	0,006	130	1,95	19,1	2206
Beton C20/25 armiert mit 1% Stahl (2300 kg/m³)	5,0	2,300	0,022	130	6,5	19,1	2203
Beton C20/25 armiert mit 2% Stahl (2400 kg/m³)	5,5	2,500	0,022	130	7,15	18,9	2181
Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) 0,10/400kg/m³ mit Zulassung	24,0	0,100	2,400	10	2,4	10,0	1227
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/15 kg/m³ nach DIN EN 13163	14,0	0,035	4,000	100	14	-4,8	408
Putze-Siliconharzputz	1,00	1,000	0,010		0,14	-4,9	406
Wärmeübergang außen R_{se}			0,040			-5,0	401
	$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$		6,630	$\Sigma S_d =$		32,1	

Temperaturverlauf und Satttdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ berechnet.

$$R_T' = 1/\Sigma(f/R) = 6,958 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Berechnung des unteren Grenzwertes des Wärmedurchgangswiderstandes R_T''

Schicht Nr.	d [cm]	λ_a [W/mK]	f_a [%]	λ_b [W/mK]	f_b [%]	λ_c [W/mK]	f_c [%]	λ_d [W/mK]	f_d [%]	R_j [m²K/W]
1	1,50	2,500	84,00	2,500	16,00					0,006
2	5,00	0,120	84,00	2,300	16,00					0,107
3	5,50	2,500	84,00	2,500	16,00					0,022
4	24,00	0,100	84,00	0,100	16,00					2,400
5	14,00	0,035	84,00	0,035	16,00					4,000
6	1,00	1,000	84,00	1,000	16,00					0,010

$$R_T'' = R_{si} + \Sigma R_j + R_{se} = 6,715 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

$$R_T = (R_T' + R_T'') / 2 = (6,958 + 6,715) / 2 = 6,837 \text{ m}^2\text{K/W}$$

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

Die mittlere flächenbezogene Masse des Bauteils beträgt $m' = 316,1 \text{ kg/m}^2$.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 beträgt min $R = 1,00 \text{ m}^2\text{K/W}$.

(DIN 4108-2 Abs. 5.1.3: inhomogene Bauteile)

Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 6,67 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt.

Der Mindestwärmeschutz des Gefachbereiches beträgt min $R = 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$. (DIN 4108-2 Abs. 5.1.3)

Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 6,85 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt.

Berechnung des Temperaturamplitudenverhältnisses und der Phasenverschiebung

Bereich 1 (Anteil: 84,00%)

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m²K]	f0 [-]
1	1,5	2,500	2400	1000	2449,5	0,089
2	5,0	0,120	300	1470	230,0	0,578
3	5,5	2,500	2400	1000	2449,5	0,325
4	24,0	0,100	400	1000	200,0	2,894
5	14,0	0,035	15	1450	27,6	0,665
6	1,00	1,000	1900	1000	1378,4	0,083

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 915,1$
 Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,001$
 Phasenverschiebung $\eta = 20,7 \text{ h}$

Bereich 2 (Anteil: 16,00%)

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m²K]	f0 [-]
1	1,5	2,500	2400	1000	2449,5	0,089
2	5,0	2,300	2300	1000	2300,0	0,302
3	5,5	2,500	2400	1000	2449,5	0,325
4	24,0	0,100	400	1000	200,0	2,894
5	14,0	0,035	15	1450	27,6	0,665
6	1,00	1,000	1900	1000	1378,4	0,083

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 927,6$
 Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,001$
 Phasenverschiebung $\eta = 17,9 \text{ h}$

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 13788:2013-05

Bereich 1 (Anteil: 84,00%):
Kein Tauwasserausfall in diesem Bereich.

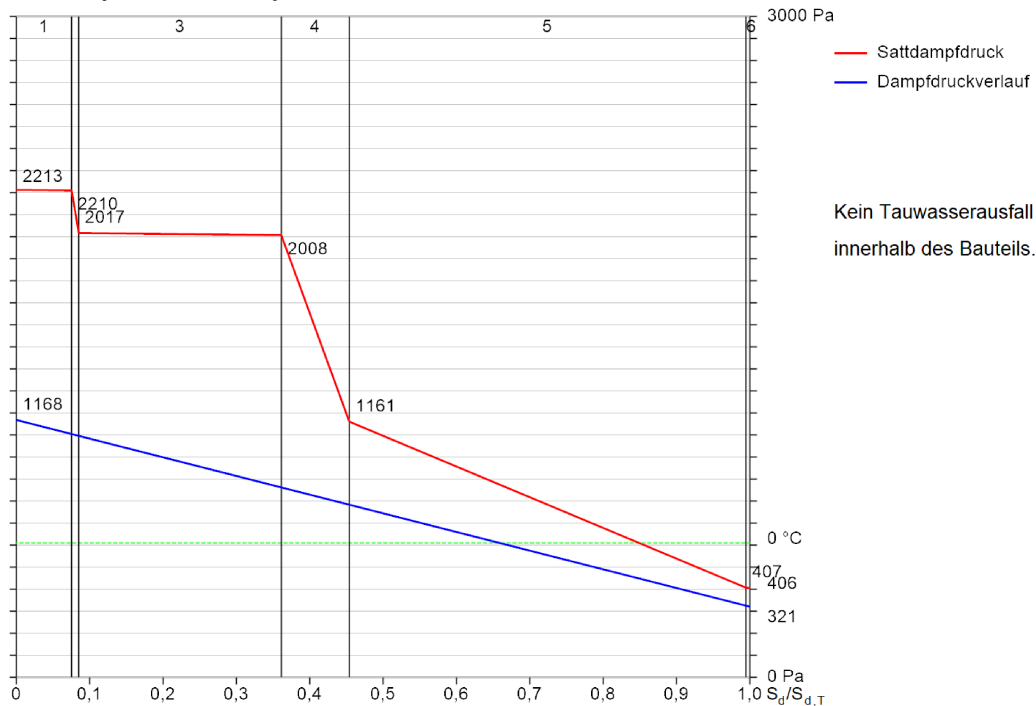
Bereich 2 (Anteil: 16,00%):
Kein Tauwasserausfall in diesem Bereich.

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3:2018-10

Bereich 1

Tauperiode (Winter)

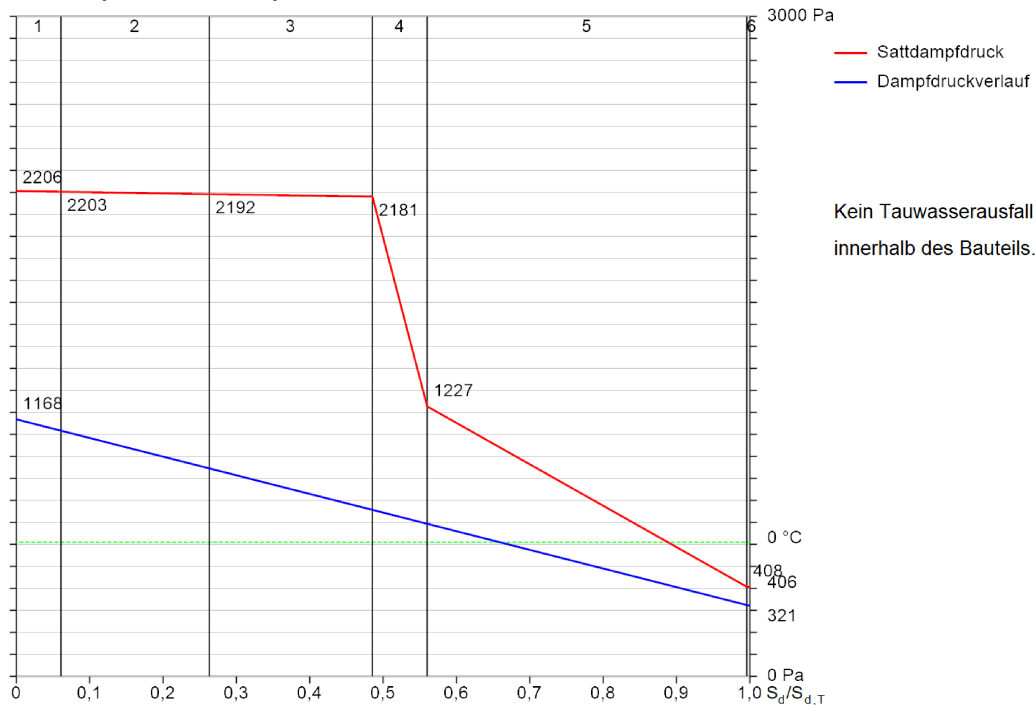
Berechnung der Tauwassermenge



Bereich 2

Tauperiode (Winter)

Berechnung der Tauwassermenge



Bauteilaufbau: Dach Halle mit EPS-Dämmung

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Baustoffe	Dicke d [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	maßg. μ [-]	äquiv. Dicke [m]	Temp.- Verlauf [°C]	Satt- dampf- druck [Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,100			20,0	2337
Beton armiert mit 2% Stahl (2400 kg/m³)	5,5	2,500	0,022	130	7,15	19,3	2235
Diffusionsdichte Schicht (DIN 4108-3), $s_{d,i} \geq 1500m$, luftdicht (DIN 4108-7)	0,25	0,250	0,010		1500	19,2	2226
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/20 kg/m³ nach DIN EN 13163	19,0	0,035	5,429	100	19	19,2	2222
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/20 kg/m³ nach DIN EN 13163	10,0	0,035	2,857	100	10	3,5	785
Bitumendachbahnen nach DIN EN 13707	0,85	0,170	0,050	20000	170	-4,7	410
Wärmeübergang außen R_{se}			0,040			-4,9	405
			$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$			-5,0	401
			8,508	$\Sigma S_d =$		1706,2	

Temperaturverlauf und Sattdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ berechnet.

$$U = 1/R_T = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Die mittlere flächenbezogene Masse des Bauteils beträgt $m' = 148,7 \text{ kg/m}^2$.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 beträgt min $R = 1,20 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 8,37 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt.

Berechnung des Temperaturamplitudenverhältnisses und der Phasenverschiebung

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m²K]	f0 [-]
1	5,5	2,500	2400	1000	2449,5	0,325
2	0,25	0,250	275	1800	351,8	0,021
3	19,0	0,035	20	1450	31,9	1,043
4	10,0	0,035	20	1450	31,9	0,549
5	0,85	0,170	1200	1000	451,7	0,136

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 94,1$
 Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,011$
 Phasenverschiebung $\eta = 9,3$ h

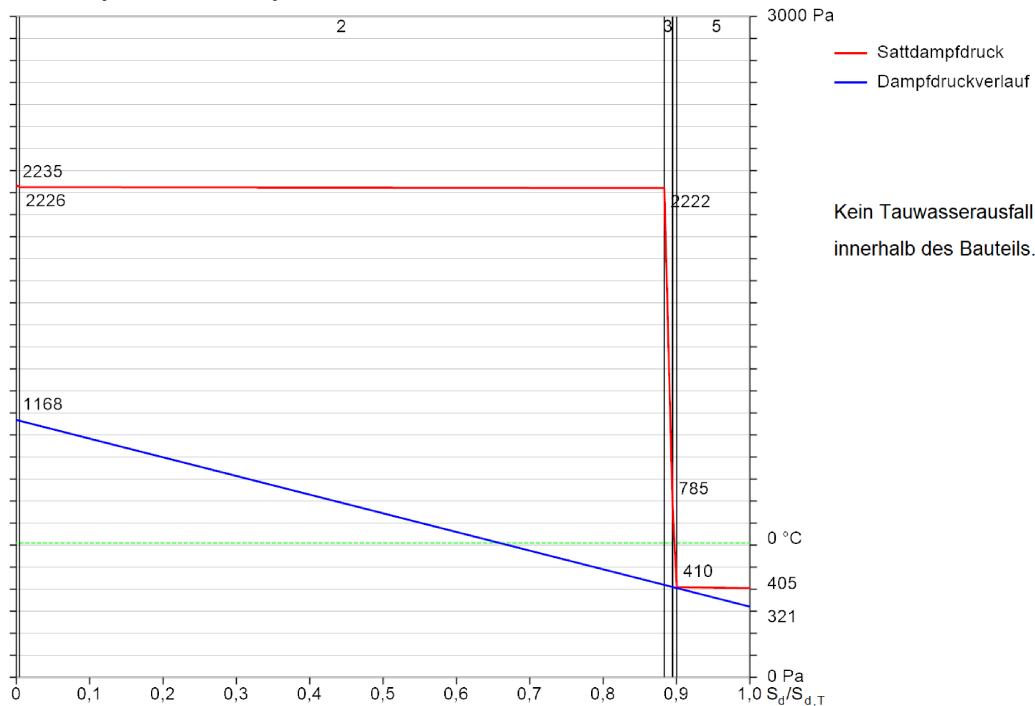
Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 13788:2013-05

Kein Tauwasserausfall in diesem Bereich.

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3:2018-10

Tauperiode (Winter)

Berechnung der Tauwassermenge



Bauteilaufbau: Außenwände(Sozialtraktlängswand)mit EPS-Dämmung+B 035

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Baustoffe	Dicke d [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	maßg. μ [-]	äquiv. Dicke [m]	Temp.- Verlauf [°C]	Satt- dampf- druck [Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,130			20,0	2337
Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	1,5	0,700	0,021	10	0,15	18,7	2155
Porenbeton-Planbauplatten (Pppl) dünnfugig (600 kg/m³) nach DIN 4166	20,0	0,190	1,053	10	2	13,1	1508
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/15 kg/m³ nach DIN EN 13163	12,0	0,035	3,429	100	12	-4,7	410
Putze-Siliconharzputz	1,00	1,000	0,010		0,14	-4,8	408
Wärmeübergang außen R_{se}			0,040			-5,0	401
$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$			4,683	$\Sigma S_d =$	14,3		

Temperaturverlauf und Sattdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ berechnet.

$$U = 1/R_T = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Die mittlere flächenbezogene Masse des Bauteils beträgt $m' = 161,8 \text{ kg/m}^2$.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 beträgt $\min R = 1,20 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 4,51 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt.

Berechnung des Temperaturamplitudenverhältnisses und der Phasenverschiebung

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m²K]	f0 [-]
1	1,5	0,700	1400	1000	989,9	0,128
2	20,0	0,190	600	1000	337,6	2,143
3	12,0	0,035	15	1450	27,6	0,570
4	1,00	1,000	1900	1000	1378,4	0,083

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 65,7$

Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,015$

Phasenverschiebung $\eta = 12,5 \text{ h}$

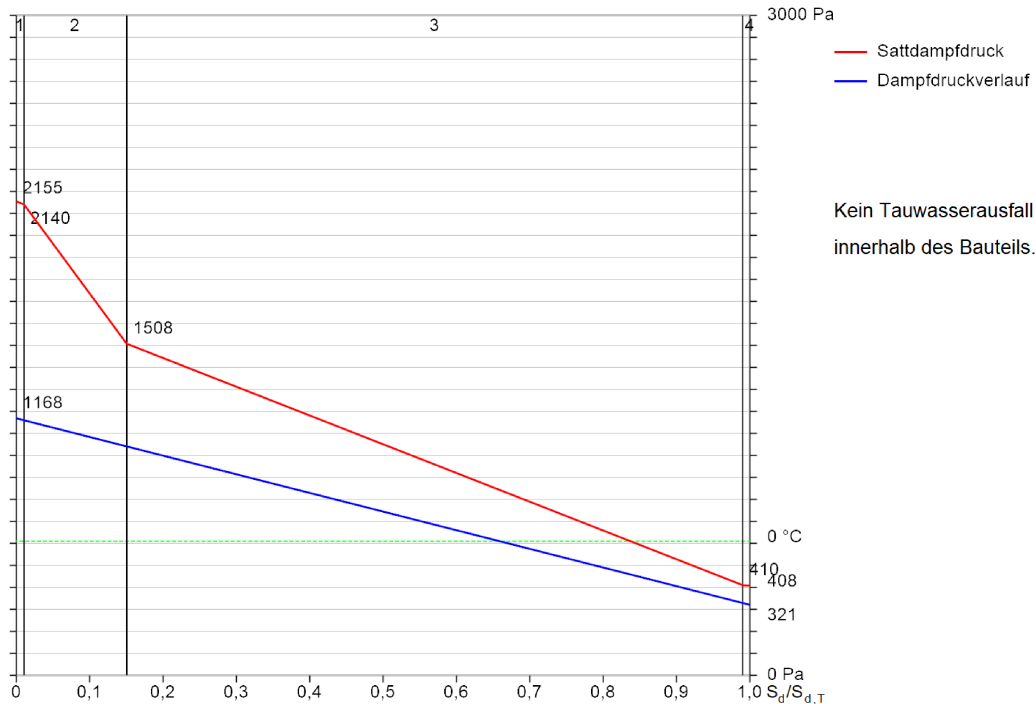
Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 13788:2013-05

Kein Tauwasserausfall in diesem Bereich.

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3:2018-10

Tauperiode (Winter)

Berechnung der Tauwassermenge



Bauteilaufbau: Fußboden Sozialtrakt Typ3

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Baustoffe	Dicke d [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	maßg. μ [-]	äquiv. Dicke [m]	Temp.- Verlauf [°C]	Satt- dampf- druck [Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,170			20,0	2337
Zement-Estrich CT	7,0	1,400	0,050	15	1,05	17,4	1992
PP-Folien, Dicke $d \geq 0,05$ mm	0,05	50,000	0,000	1000	0,5	16,9	1929
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m³ (Perimeterdämmung mit Zul.)	7,0	0,035	2,000	20	1,4	-3,5	456
Bitumendachbahnen G 200 S4 (d=4 mm) nach DIN EN 13707	0,50	0,170	0,029	20000	100	-3,8	445
Beton mittlere Rohdichte (2200 kg/m³)	13,0	1,650	0,079	120	15,6	-4,6	415
Wärmeübergang außen R_{se}			0,000			-5,0	401
$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$			2,328	$\Sigma S_d =$		118,5	

Temperaturverlauf und Sattdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ berechnet.

$$U = 1/R_T = 0,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Die mittlere flächenbezogene Masse des Bauteils beträgt $m' = 433,9 \text{ kg/m}^2$.

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 beträgt $\min R = 0,90 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 2,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt.

Berechnung des Temperaturamplitudenverhältnisses und der Phasenverschiebung

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m²K]	f0 [-]
1	7,0	1,400	2000	1000	1673,3	0,505
2	0,05	50,000	1100	1000	7416,2	0,000
3	7,0	0,035	30	1450	39,0	0,471
4	0,50	0,170	1045	1000	421,5	0,075
5	13,0	1,650	2200	1000	1905,3	0,905

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 26,6$

Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,038$

Phasenverschiebung $\eta = 9,3$ h

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 13788:2013-05

Schicht "Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m³ (Perimeterdämmung mit Zul.)" wurde in 8 Schichten mit $R \leq 0,25$ mK/W aufgeteilt.

Tauwasser tritt erstmals im Monat Oktober auf.

Grenze 1 ist an der Innenseite Schicht "Bitumendachbahnen G 200 S4 (d=4 mm) nach DIN EN 13707"

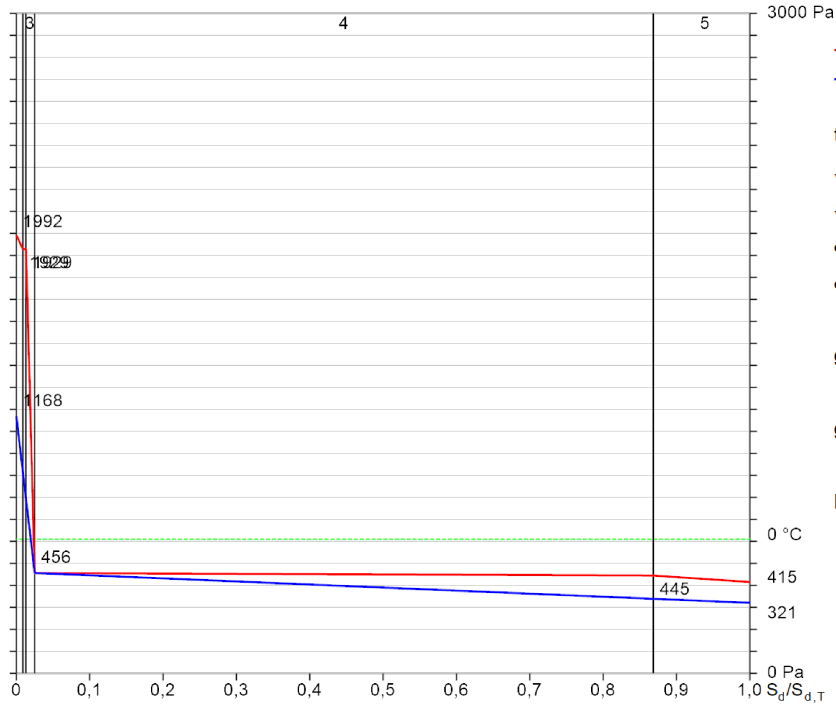
Monat	θ_e [°C]	ϕ_e [-]	θ_i [°C]	ϕ_i [-]	Grenze 1	
					ϑ_s [°C]	g_c [g/m²]
Oktober	9,5	0,80	20,0	0,60	10,0	29,1
November	4,1	0,80	20,0	0,60	4,9	122,4
Dezember	0,9	0,80	20,0	0,60	1,9	245,4
Januar	1,0	0,80	20,0	0,60	2,0	367,4
Februar	1,9	0,80	20,0	0,60	2,8	481,7
März	4,7	0,80	20,0	0,60	5,5	568,9
April	9,2	0,80	20,0	0,60	9,7	602,1
Mai	14,1	0,80	20,0	0,60	14,4	558,8
Juni	16,7	0,80	20,0	0,60	16,9	466,0
Juli	19,0	0,80	20,0	0,60	19,1	323,3
August	18,6	0,80	20,0	0,60	18,7	189,6
September	14,3	0,80	20,0	0,60	14,6	142,8

Am Ende des betrachteten Jahresverlaufes ist das Tauwasser nicht vollständig abgetrocknet. Der Bauteilaufbau ist daher nach DIN 13788 nicht nachweisbar.

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3:2018-10

Tauperiode (Winter)

Berechnung der Tauwassermenge



— Sattedampfdruck
— Dampfdruckverlauf

$$t_t = 2160 \text{ h}$$

$$\vartheta_a = -5,0 \text{ °C}$$

$$\vartheta_i = 20,0 \text{ °C}$$

$$\varphi_a = 80 \%$$

$$\varphi_i = 50 \%$$

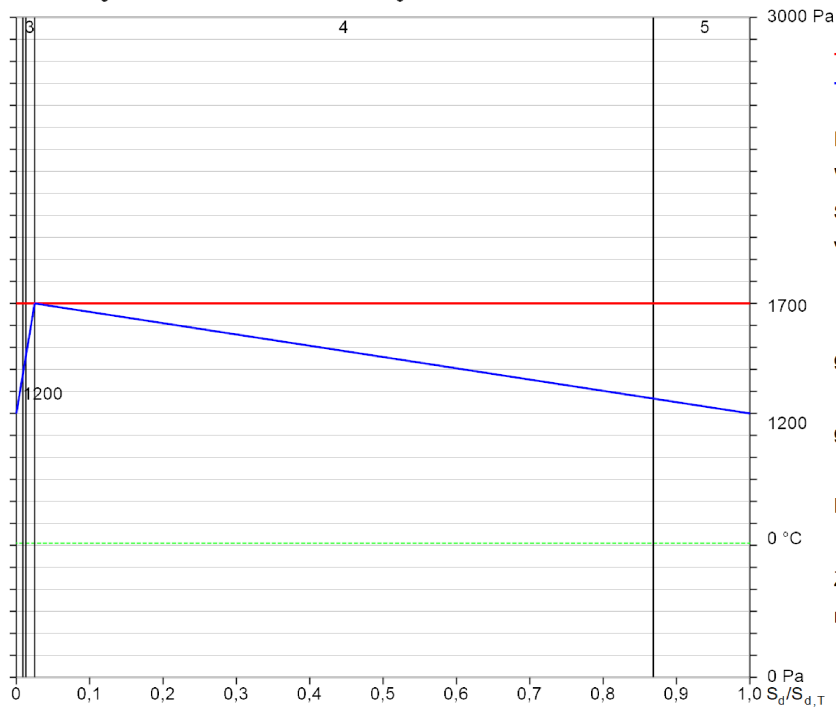
$$g_i = \delta_0 \cdot \frac{p_i - p_c}{s_{d,i}} = 0,1738 \text{ g/(m}^2\text{h)}$$

$$g_e = \delta_0 \cdot \frac{p_c - p_e}{s_{d,e}} = 0,0008431 \text{ g/(m}^2\text{h)}$$

$$M_c = t_c \cdot (g_i - g_e) = 373,6 \text{ g/m}^2$$

Verdunstungsperiode (Sommer)

Berechnung der verdunstenden Tauwassermenge



— Sattedampfdruck
— Dampfdruckverlauf

Dauer Verdunstungsperiode $t_v = 2160 \text{ h}$

Wasserdampfdruck Außen: 1200 Pa

Sättigungsdampfdruck: 1700 Pa

Verdunstung von einem Punkt

$$g_i = \delta_0 \cdot \frac{p_c - p_i}{s_{d,i}} = 0,122 \text{ g/(m}^2\text{h)}$$

$$g_e = \delta_0 \cdot \frac{p_c - p_e}{s_{d,e}} = 0,003114 \text{ g/(m}^2\text{h)}$$

$$M_{ev} = 270,3 \text{ g/m}^2$$

Zur Beurteilung der anfallenden Tauwassermasse siehe DIN 4108-3:2018-10.

Bauteilaufbau: Fußboden Sozialtrakt Typ1

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

Baustoffe	Dicke d [cm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	maßg. μ [-]	äquiv. Dicke [m]	Temp.- Verlauf [°C]	Satt- dampf- druck [Pa]
Wärmeübergang innen R_{si}			0,170			20,0	2337
Fussbodenbeläge Kunststoff (PVC)	1,00	0,250	0,040	10000	100	17,4	1983
Zement-Estrich CT	7,0	1,400	0,050	15	1,05	16,4	1868
Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) 040 nach DIN EN 13164	3,0	0,040	0,750	80	2,4	8,6	1113
PP-Folien, Dicke $d \geq 0,05$ mm	0,05	50,000	0,000	1000	0,5	8,6	1113
Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m³ (Perimeterdämmung mit Zul.)	4,0	0,035	1,143	20	0,8	-3,4	458
Bitumendachbahnen G 200 S4 (d=4 mm) nach DIN EN 13707	0,50	0,170	0,029	20000	100	-3,8	446
Beton mittlere Rohdichte (2200 kg/m³)	13,0	1,650	0,079	120	15,6	-4,6	416
Wärmeübergang außen R_{se}			0,000			-5,0	401
$R_T = \Sigma(d_i/\lambda_i) =$			2,261	$\Sigma S_d =$ 220,4			

Temperaturverlauf und Sattdampfdruck werden gem. DIN 4108-3 mit $R_{si} = 0,25$ m²K/W und $R_{se} = 0,04$ m²K/W berechnet.

$$U = 1/R_T = 0,44 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Die mittlere flächenbezogene Masse des Bauteils beträgt $m' = 451,2$ kg/m².

Der Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2:2013-02 beträgt min $R = 0,90$ m²K/W.
Diese Anforderung ist mit vorh. $R = 2,09$ m²K/W erfüllt.

Berechnung des Temperaturamplitudenverhältnisses und der Phasenverschiebung

Schicht	d [cm]	λ_a [W/mK]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	b [Ws ^{0,5} /m²K]	f0 [-]
1	1,00	0,250	1700	1400	771,4	0,186
2	7,0	1,400	2000	1000	1673,3	0,505
3	3,0	0,040	40	1450	48,2	0,218
4	0,05	50,000	1100	1000	7416,2	0,000
5	4,0	0,035	30	1450	39,0	0,269
6	0,50	0,170	1045	1000	421,5	0,075
7	13,0	1,650	2200	1000	1905,3	0,905

Temperaturamplitudendämpfung $\Theta = 29,6$
Temperaturamplitudenverhältnis $v = 1 / \Theta = 0,034$
Phasenverschiebung $\eta = 9,7$ h

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 13788:2013-05

Schicht "Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) 040 nach DIN EN 13164" wurde in 3 Schichten mit $R \leq 0,25$ mK/W aufgeteilt.
Schicht "Expandierter Polystyrolschaum (EPS) 035/30 kg/m³ (Perimeterdämmung mit Zul.)" wurde in 5 Schichten mit $R \leq 0,25$ mK/W aufgeteilt.

Tauwasser tritt erstmals im Monat November auf.

Grenze 1 ist an der Innenseite Schicht "Bitumendachbahnen G 200 S4 (d=4 mm) nach DIN EN 13707"

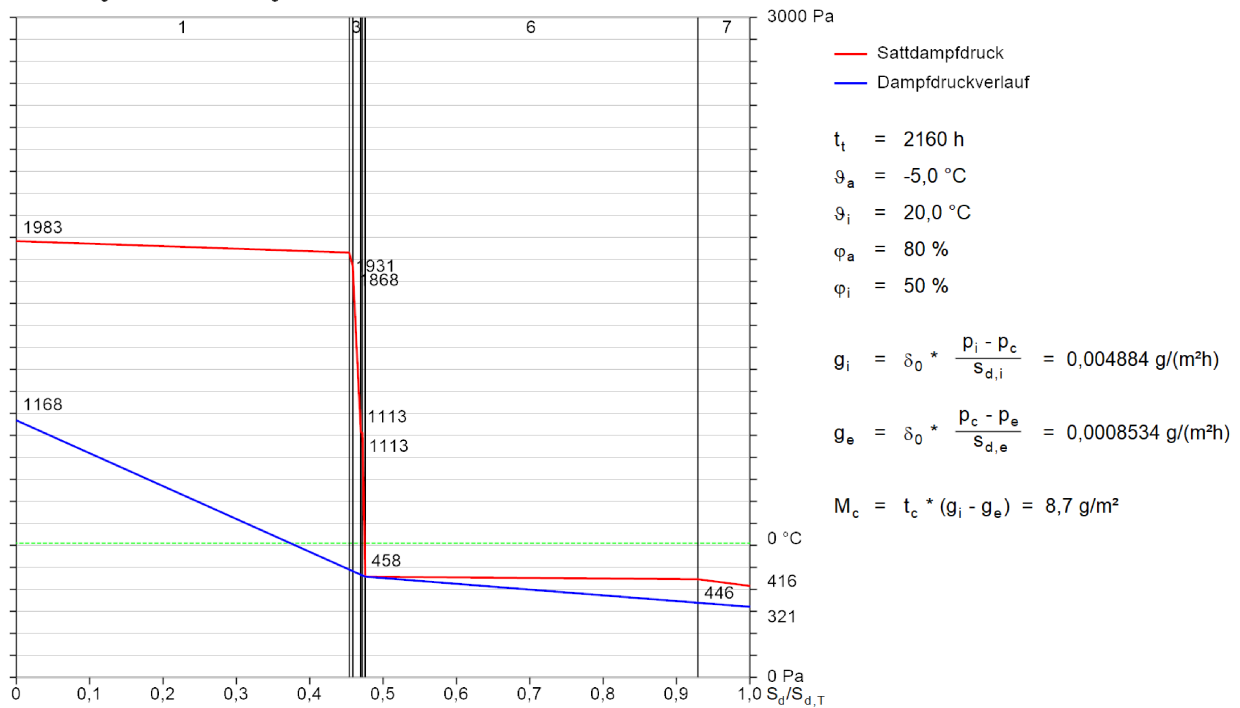
Monat	θ_e	ϕ_e	θ_i	ϕ_i	Grenze 1	
	[°C]	[-]	[°C]	[-]	ϑ_s	g_c
November	4,1	0,80	20,0	0,60	4,9	1,7
Dezember	0,9	0,80	20,0	0,60	1,9	4,4
Januar	1,0	0,80	20,0	0,60	2,0	7,0
Februar	1,9	0,80	20,0	0,60	2,8	9,4
März	4,7	0,80	20,0	0,60	5,5	10,9
April	9,2	0,80	20,0	0,60	9,8	10,6
Mai	14,1	0,80	20,0	0,60	14,4	7,9
Juni	16,7	0,80	20,0	0,60	16,9	3,5
Juli	19,0	0,80	20,0	0,60	19,1	0,0
August	18,6	0,80	20,0	0,60	18,7	0,0
September	14,3	0,80	20,0	0,60	14,6	0,0
Oktober	9,5	0,80	20,0	0,60	10,0	0,0

Am Ende des betrachteten Jahresverlaufes ist das Tauwasser vollständig abgetrocknet. Die Beurteilung der zulässigen Tauwassermenge in den Grenzbereichen muss nach DIN 13788 erfolgen.

Berechnung der Wasserdampf-Diffusion und des Tauwasseranfalls nach DIN 4108-3:2018-10

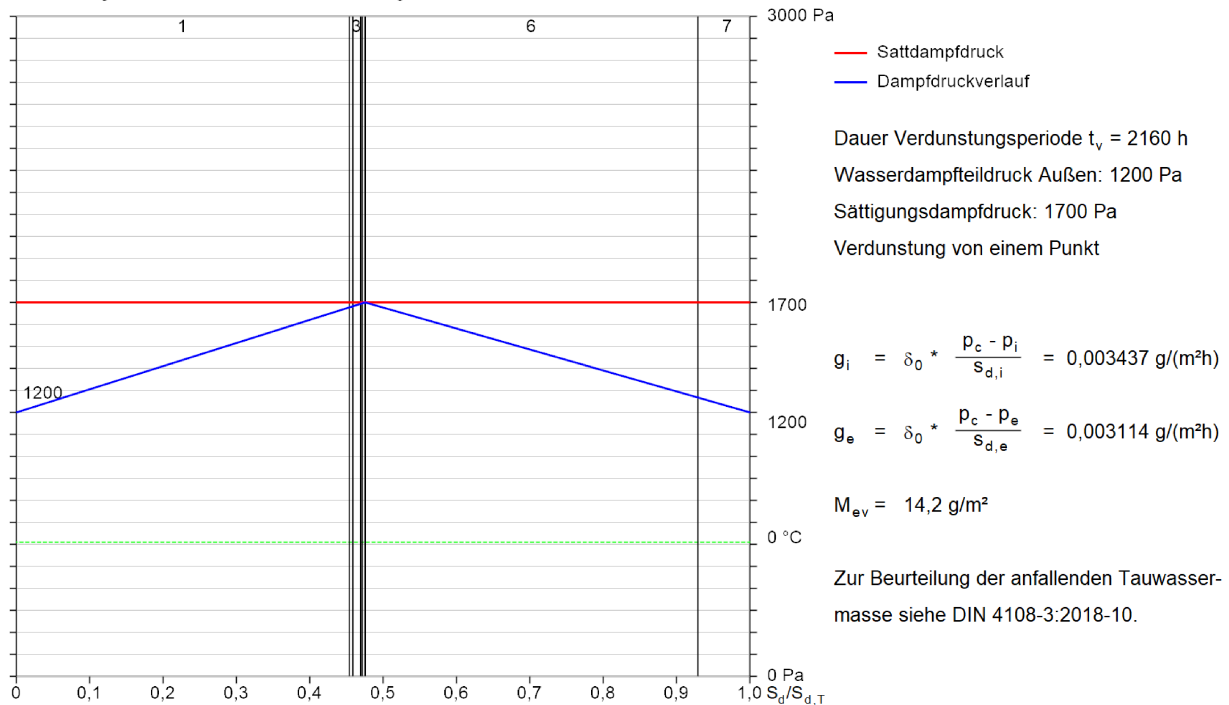
Tauperiode (Winter)

Berechnung der Tauwassermenge



Verdunstungsperiode (Sommer)

Berechnung der verdunstenden Tauwassermenge



Bauteilnachweis für bestehende Bauteile

Nachweis gemäß GEG § 48 und Anlage 7

Bauteil Dach Sozialtrakt mit EPS-Dämmung : $U = 0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geändertes Flachdach/Abdichtung unter normalen Bedingungen

(Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 5c)

Anforderung U-Wert: $0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten Schalenausdämmung und Gefälledämmung!

Bauteil Außentür: $U = 1,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geänderte Außentüre unter normalen Bedingungen

(Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 4)

Anforderung U-Wert: $1,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten Bauteilaustausch!

Bauteil Fußboden Sozialtrakt Typ2: $U = 0,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geänderte Wände und Decken gegen unbeheizte Räume oder Erdreich: neuer Fußbodenaufbau

(U-Wert nur des Fußbodenaufbaus; Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 6c)

Anforderung U-Wert: $0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten Erneuerung!

Bauteil Außenwände(Giebel+Hallenlängswand)Ausmauerung+WDV+Bgemittelt: $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geänderte Außenwand unter normalen Bedingungen

(Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 1a und 1b)

Anforderung U-Wert: $0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten Ausmauerung+WDV-System mit EPS und MIWO-Brandriegeln!

Bauteil Dach Halle mit EPS-Dämmung: $U = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geändertes Flachdach/Abdichtung unter normalen Bedingungen

(Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 5c)

Anforderung U-Wert: $0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten Schalenausdämmung und Überdämmung in vorh. gekrümmter Form!

Bauteil Außenwände(Sozialtraktlängswand)mit EPS-Dämmung+B 035: $U = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geänderte Außenwand unter normalen Bedingungen

(Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 1a und 1b)

Anforderung U-Wert: $0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten WDV-System mit EPS und MIWO-Brandriegeln!

Bauteil Fußboden Sozialtrakt Typ3: $U = 0,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geänderte Wände und Decken gegen unbeheizte Räume oder Erdreich: neuer Fußbodenaufbau

(U-Wert nur des Fußbodenaufbaus; Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 6c)

Anforderung U-Wert: $0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten Erneuerung!

Bauteil Fußboden Sozialtrakt Typ1: $U = 0,44 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

geänderte Wände und Decken gegen unbeheizte Räume oder Erdreich: neuer Fußbodenaufbau

(U-Wert nur des Fußbodenaufbaus; Änderung nach GEG Anlage 7 Nr. 6c)

Anforderung U-Wert: $0,50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Nachweis eingehalten Erneuerung!