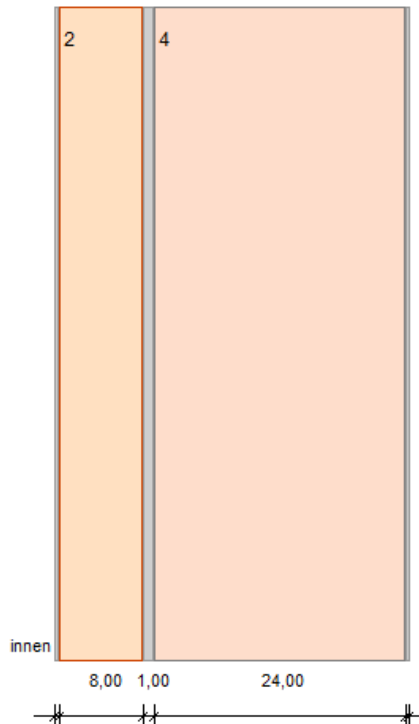




1.1 Außenwand Innendämmung

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

von innen

- 1 Leichtmörtel
- 2 Kappilaraktive Innendämmung
- 3 Klebemörtel
- 4 Ziegel-MW 1800
- 5 Fugensanierung

Bauteil: 1.1 Außenwand Innendämmung (1.1)

Bauteiltyp "Außenwand" (3)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Leichtmörtel	0,50	770	3,9	0,180	0,028
02 Kappilaraktive Innendämmung	8,00	115	9,2	0,047	1,702
03 Klebemörtel	1,00	770	7,7	0,180	0,056
04 Ziegel-MW 1800	24,00	1800	432,0	0,810	0,296
05 Fugensanierung	0,01	1800	0,2	1,000	0,000
R_{se}					0,040
d =	33,51	G =	452,9	$R_T =$	2,25

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,444 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

U_{max} bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen (EnEV 2014 Anl. 3)

Anforderung: Neue Bekleidung an der Außenwandseite mit Platten, plattenartigen Bauteilen oder Verschalungen oder neue MW-Vorsatzschale in Gebäuden/Zonen mit $T_i \geq 19^\circ\text{C}$

U $0,44 > 0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ nicht eingehalten

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Leichtmörtel	0,180	770	1000	0,028	0,005	0,080	0,062
2 Kappilaraktive Innen	0,047	115	850	1,702	0,080	0,115	0,696
3 Klebemörtel	0,180	770	1000	0,056	0,010	0,080	0,125
4 Ziegel-MW 1800	0,810	1800	940	0,296	0,240	0,115	2,092
5 Fugensanierung	1,000	1800	1010	0,000	0,000	0,123	0,001
außen				0,040			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}		Z_{12}		Z_{21}		Z_{22}	
-7,79	-0,73i	9,52	-5,98i	47,80	35,88i	-85,95	0,94i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,44 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,70 W/(m ² K)	2,50 h
Wärmeaufnahme außen	7,65 W/(m ² K)	2,10 h
dynamische Wärmeaufnahme U_{dyn}	0,09 W/(m ² K)	-9,86 h
Dekrement = U_{dyn} / U_{stat}	0,200	

wirksame Wärmekapazität innen	11 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	106 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

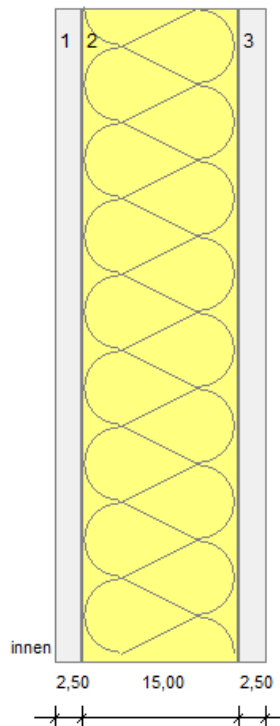
Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] \cdot i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



1.3 Wand ab 19 °C gg. < 12 °C
 $U = 0,21 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

von innen
 1 Gipskartonplatten nach DIN 18180
 2 Mineralwolle MW 035
 3 Gipskartonplatten nach DIN 18180

Bauteil: 1.3 Wand ab 19 °C gg. < 12 °C (1.3)

Bauteiltyp "Wohnungstrennwand" (6)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Gipskartonplatten nach DIN 18180	2,50	800	20,0	0,250	0,100
02 Mineralwolle MW 035	15,00	20	3,0	0,035	4,286
03 Gipskartonplatten nach DIN 18180	2,50	800	20,0	0,250	0,100
R_{se}					0,130
	d = 20,00	G = 43,0		$R_T = 4,75$	

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,211 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

U_{max} bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen (GEG 2020 A7)

Anforderung: Ersatz oder erstmaliger Einbau von Wänden gegen Erdreich oder zu unbeheizten Räumen (mit Ausnahme von Dachräumen) in Gebäuden/Zonen mit $T_i \geq 19 \text{ °C}$

$U \quad 0,21 \leq 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad \text{OK}$

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Gipskartonplatten na	0,250	800	1000	0,100	0,025	0,093	0,270
2 Mineralwolle MW 035	0,035	20	830	4,286	0,150	0,241	0,623
3 Gipskartonplatten na	0,250	800	1000	0,100	0,025	0,093	0,270
außen				0,130			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-1,91	6,96i	-4,02	-3,05i
10,40	-1,29i	-1,91	6,96i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,21 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	1,43 W/(m ² K)	4,54 h
Wärmeaufnahme außen	1,43 W/(m ² K)	4,54 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,20 W/(m ² K)	-2,48 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,940	

wirksame Wärmekapazität innen	21 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	21 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

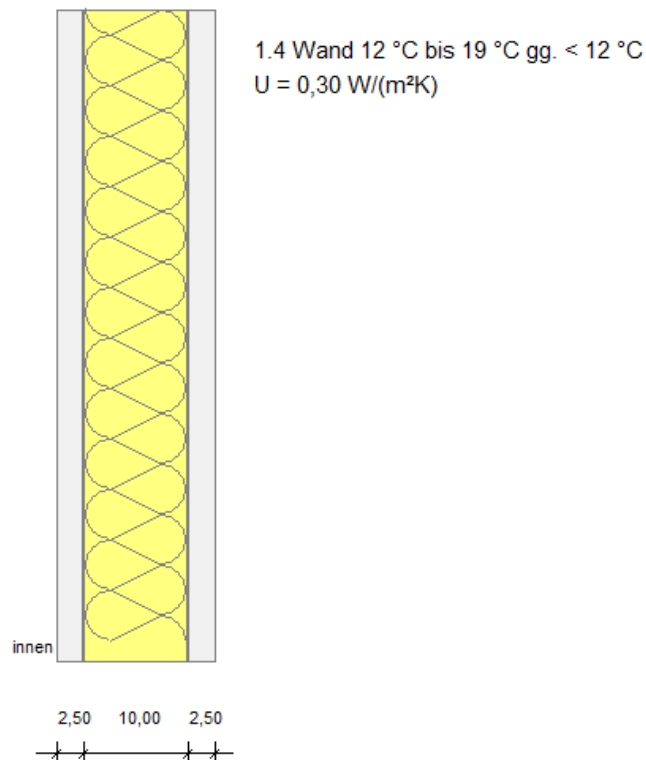
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



Bauteil: 1.4 Wand 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C

Bauteiltyp "Wohnungstrennwand" (6)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Gipskartonplatten nach DIN 18180	2,50	800	20,0	0,250	0,100
02 Mineralwolle MW 035	10,00	20	2,0	0,035	2,857
03 Gipskartonplatten nach DIN 18180	2,50	800	20,0	0,250	0,100
R_{se}					0,130
	d = 15,00	G =	42,0	$R_T =$	3,32

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,301 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Gipskartonplatten na	0,250	800	1000	0,100	0,025	0,093	0,270
2 Mineralwolle MW 035	0,035	20	830	2,857	0,100	0,241	0,415
3 Gipskartonplatten na	0,250	800	1000	0,100	0,025	0,093	0,270
außen				0,130			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-0,60	4,89i	-2,97	-1,86i
6,82	-2,32i	-0,60	4,89i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,30 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	1,41 W/(m ² K)	4,32 h
Wärmeaufnahme außen	1,41 W/(m ² K)	4,32 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,29 W/(m ² K)	-2,14 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,949	

wirksame Wärmekapazität innen	20 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	20 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

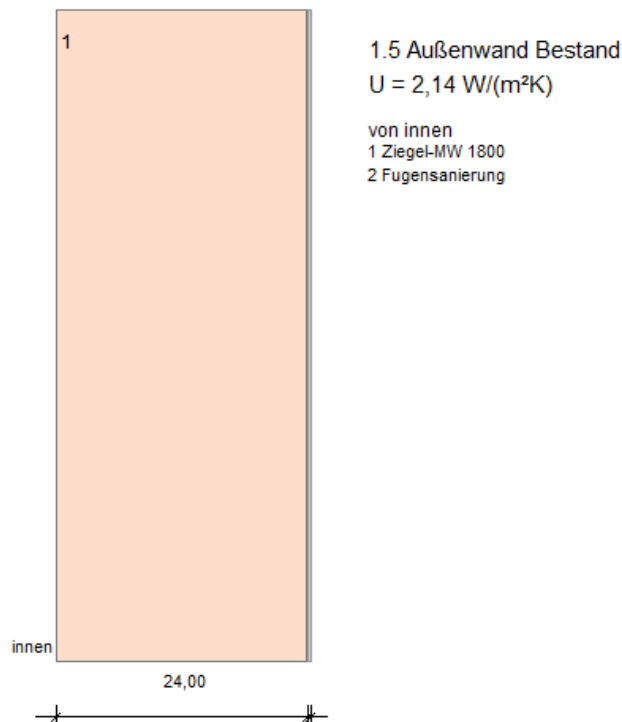
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



Bauteil: 1.5 Außenwand Bestand

Bauteiltyp "Außenwand" (3)
mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Ziegel-MW 1800	24,00	1800	432,0	0,810	0,296
02 Fugensanierung	0,01	1800	0,2	1,000	0,000
R_{se}					0,040
	d = 24,01	G =	432,2	$R_T =$	0,47

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 2,144 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Wände beheizter Räume gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen (DIN 4108-2:2013).
Mindestanforderungen nach Tab.3.

$R \quad 0,30 < 1,20 \text{ m}^2\text{K/W}$ nicht zulässig

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Ziegel-MW 1800	0,810	1800	940	0,296	0,240	0,115	2,092
2 Fugensanierung	1,000	1800	1010	0,000	0,000	0,123	0,001
außen				0,040			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-3,62	3,91i	0,44	-1,04i
39,22	-11,14i	-7,15	4,91i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	2,14 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	4,71 W/(m ² K)	1,32 h
Wärmeaufnahme außen	7,68 W/(m ² K)	2,17 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,89 W/(m ² K)	-7,53 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,413	

wirksame Wärmekapazität innen	74 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	116 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

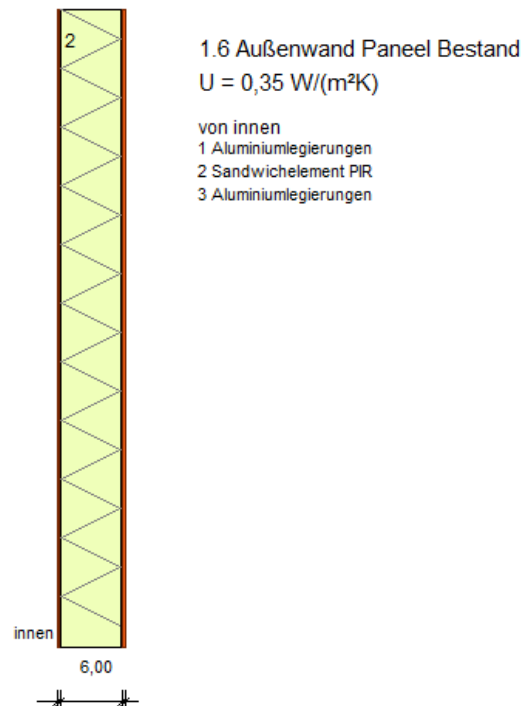
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



Bauteil: 1.6 Außenwand Panel Bestand (1.6)

Bauteiltyp "Wohnungstrennwand" (6)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	S cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Aluminiumlegierungen	0,01	2800	0,3	160,000	0,000
02 Sandwichelement PIR	6,00	30	1,8	0,023	2,609
03 Aluminiumlegierungen	0,01	2800	0,3	160,000	0,000
R_{se}					0,130
d =	6,02	G =	2,4	$R_T = 2,87$	

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,349 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Treppenraumwände und Treppenraumtüren zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum (DIN 4108-2:2013. Mindestanforderungen nach Tab.3.

R $2,61 \geq 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Aluminiumlegierungen	160,000	2800	880	0,000	0,000	1,336	0,000
2 Sandwichelement PIR	0,023	30	1400	2,609	0,060	0,123	0,489
3 Aluminiumlegierungen	160,000	2800	880	0,000	0,000	1,336	0,000
außen				0,130			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
0,98	0,31i	-2,86	-0,29i
		0,02	-0,22i
			0,98
			0,31i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,35 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,36 W/(m ² K)	0,80 h
Wärmeaufnahme außen	0,36 W/(m ² K)	0,80 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,35 W/(m ² K)	-0,38 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,998	

wirksame Wärmekapazität innen	2 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	2 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

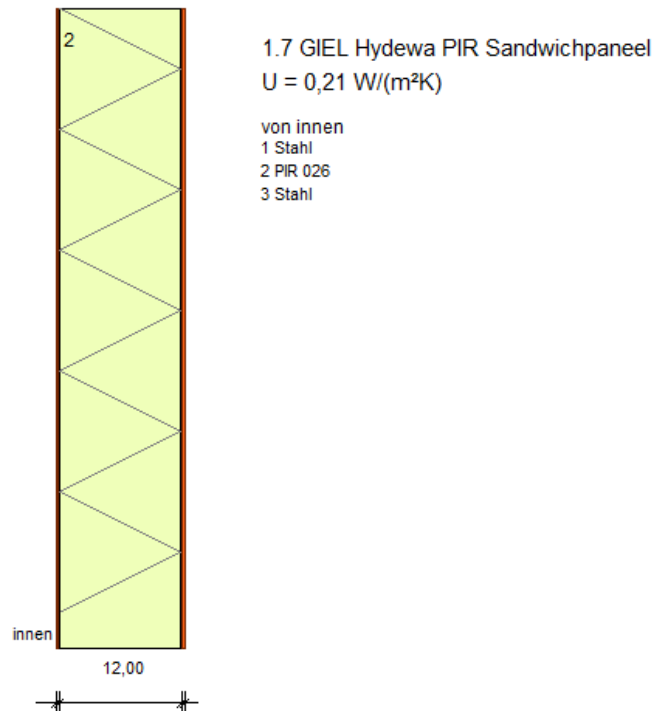
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



Bauteil: 1.7 GIEL Hydewa PIR Sandwichpaneel (1.7)

Bauteiltyp "Wohnungstrennwand" (6)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
02 PIR 026	12,00	30	3,6	0,026	4,615
03 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
R_{se}					0,130
d =	12,01	G =	4,5	$R_T = 4,88$	

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,205 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Treppenraumwände und Treppenraumtüren zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum (DIN 4108-2:2013. Mindestanforderungen nach Tab.3.

$R \quad 4,62 \geq 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
2 PIR 026	0,026	30	1400	4,615	0,120	0,130	0,920
3 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
außen				0,130			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
0,84	0,96i	-4,73	-1,54i
0,13	-0,38i	0,84	0,96i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,21 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,26 W/(m ² K)	2,04 h
Wärmeaufnahme außen	0,26 W/(m ² K)	2,04 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,20 W/(m ² K)	-1,20 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,980	

wirksame Wärmekapazität innen	3 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	3 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

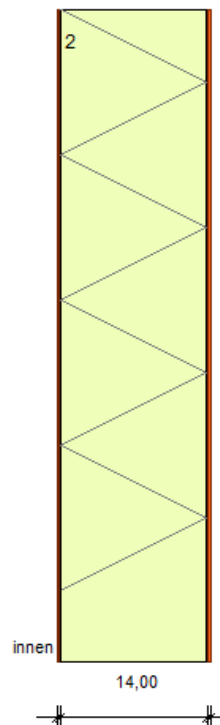
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



1.8 GIEL Hydewa PIR Sandwichpaneel Tiefkühl
 $U = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

von innen
 1 Stahl
 2 PIR 026
 3 Stahl

Bauteil: 1.8 GIEL Hydewa PIR Sandwichpaneel Tiefkühl (1.8)

Bauteiltyp "Wohnungstrennwand" (6)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
02 PIR 026	14,00	30	4,2	0,026	5,323
03 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
R_{se}					0,130
d =	14,01	G =	5,1	$R_T = 5,58$	

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,179 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Treppenraumwände und Treppenraumtüren zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum (DIN 4108-2:2013. Mindestanforderungen nach Tab.3.

$R \quad 5,32 \geq 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
2 PIR 026	0,026	30	1400	5,323	0,140	0,131	1,067
3 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
außen				0,130			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
0,73	1,26i	-5,29	-2,33i
		0,20	-0,43i
			0,73
			1,26i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
Ustat (nach EN ISO 6946)	0,18 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,25 W/(m ² K)	2,41 h
Wärmeaufnahme außen	0,25 W/(m ² K)	2,41 h
dynamische Wärmeaufnahme U_{dyn}	0,17 W/(m ² K)	-1,58 h
Dekrement = U_{dyn} / U_{stat}	0,966	
wirksame Wärmekapazität innen	3 kJ/(m ² K)	
wirksame Wärmekapazität außen	3 kJ/(m ² K)	

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

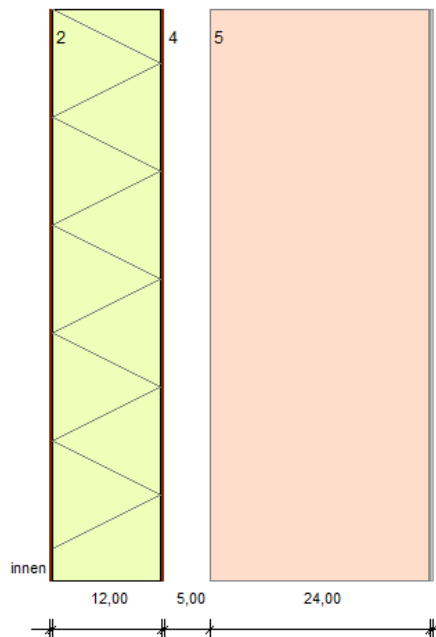
Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



1.9 GIEL Außenwand Hydewa PIR Sandwichpaneel
 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

von innen
 1 Stahl
 2 PIR 026
 3 Stahl
 4 Luftschicht belüftet
 5 Ziegel-MW 1800
 6 Fugensanierung

Bauteil: 1.9 GIEL Außenwand Hydewa PIR Sandwichpaneel (1.9)

Bauteiltyp "Außenwand" (3)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
02 PIR 026	12,00	30	3,6	0,026	4,615
03 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
04 Luftschicht belüftet	5,00	1	0,1	-	-
05 Ziegel-MW 1800	24,00	1800	432,0	0,810	0,296
06 Fugensanierung	0,01	1800	0,2	1,000	0,000
R_{se}					0,040
d =	41,02	G =	436,8	$R_T =$	5,08

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,197 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Treppenraumwände und Treppenraumbtüren zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum (DIN 4108-2:2013. Mindestanforderungen nach Tab.3.

$R \quad 4,91 \geq 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
2 PIR 026	0,026	30	1400	4,615	0,120	0,130	0,920
3 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
4 Luftschicht belüftet	-	1	1080	-	0,050	-	-
5 Ziegel-MW 1800	0,810	1800	940	0,296	0,240	0,115	2,092
6 Fugensanierung	1,000	1800	1010	0,000	0,000	0,123	0,001
außen				0,040			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-6,87	0,02i	22,72	-13,39i
44,95	27,27i	-201,92	-3,11i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,20 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,26 W/(m ² K)	2,02 h
Wärmeaufnahme außen	7,66 W/(m ² K)	2,09 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,04 W/(m ² K)	-9,97 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,193	

wirksame Wärmekapazität innen	4 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	106 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

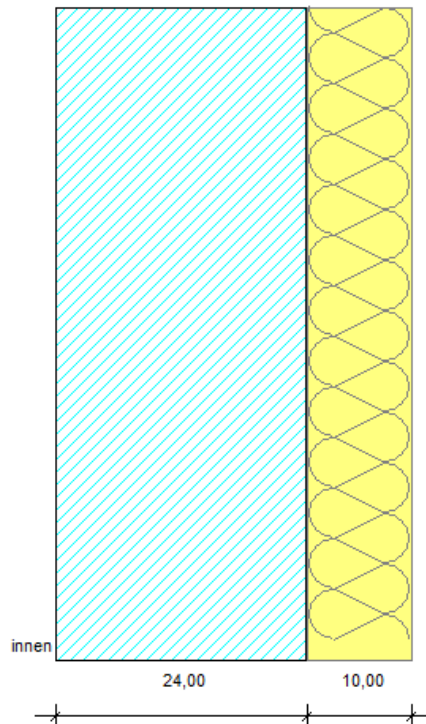
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



1.10 Massivwand 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C
 $U = 0,30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 1.10 Massivwand 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C (1.10)

Bauteiltyp "Wohnungstrennwand" (6)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,130
01 Kalksandstein-MW 1800	24,00	1800	432,0	0,990	0,242
02 Mineralwolle MW 035	10,00	20	2,0	0,035	2,857
R_{se}					0,130
	d = 34,00	G =	434,0	$R_T =$	3,36

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,298 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Kalksandstein-MW 180	0,990	1800	1000	0,242	0,240	0,123	1,951
2 Mineralwolle MW 035	0,035	20	830	2,857	0,100	0,241	0,415
außen				0,130			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-115,84	45,29i	19,56	-15,50i
		40,18	-9,85i
			-7,14
			4,25i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,30 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	4,98 W/(m ² K)	1,14 h
Wärmeaufnahme außen	0,33 W/(m ² K)	0,51 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,04 W/(m ² K)	-9,44 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,134	

wirksame Wärmekapazität innen	69 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	5 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

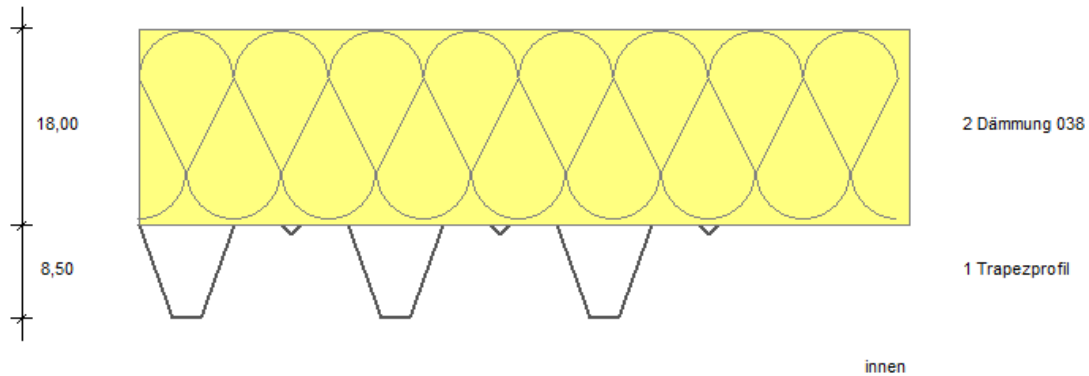
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



2.1 oberste Geschossdecke ab 19 °C gg. < 12 °C
 $U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 2.1 oberste Geschossdecke ab 19 °C gg. < 12 °C (2.1)

Bauteiltyp "Wohnungstrenndecke nach oben" (13)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,100
01 Trapezprofil	8,50	-	-	-	-
02 Dämmung 038	18,00	165	29,7	0,038	4,737
R_{se}					0,100
	d = 26,50	G =	29,7	$R_T =$	4,94

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,203 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

. Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse < 100 kg/m²

R $4,74 \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,100			
1 Trapezprofil	-	-	400	-	0,085	-	-
2 Dämmung 038	0,038	165	830	4,737	0,180	0,087	2,061
außen				0,100			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-2,11	3,48i	-1,56	-6,82i
		2,32	-0,74i
			-2,11
			3,48i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

U _{stat} (nach EN ISO 6946)	0,20 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,58 W/(m ² K)	2,94 h
Wärmeaufnahme außen	0,58 W/(m ² K)	2,94 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,14 W/(m ² K)	-5,14 h
Dekrement = U _{dyn} / U _{stat}	0,706	

wirksame Wärmekapazität innen	9 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	9 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

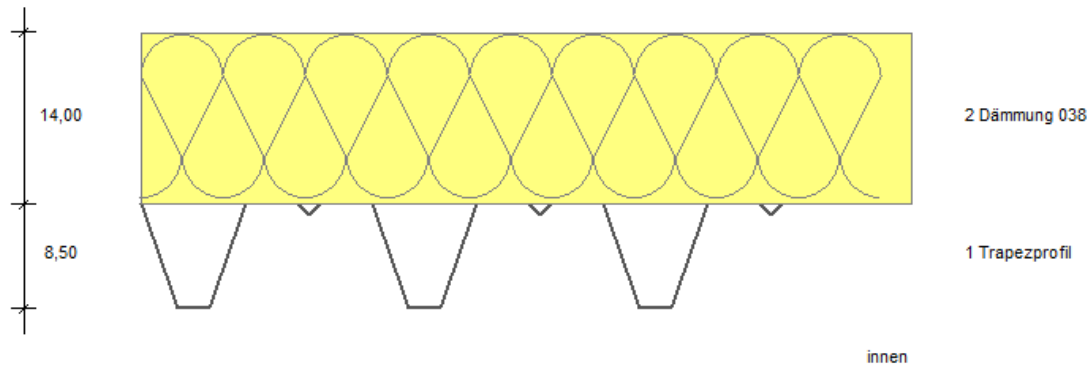
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



2.2 oberste Geschossdecke 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C
 $U = 0,26 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 2.2 oberste Geschossdecke 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C (2.2)

Bauteiltyp "Wohnungstrenndecke nach oben" (13)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,100
01 Trapezprofil	8,50	-	-	-	-
02 Dämmung 038	14,00	165	23,1	0,038	3,684
R_{se}					0,100
	d = 22,50	G =	23,1	$R_T =$	3,88

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,257 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

. Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse < 100 kg/m²

R 3,68 ≥ 1,75 m²K/W erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,100			
1 Trapezprofil	-	-	400	-	0,085	-	-
2 Dämmung 038	0,038	165	830	3,684	0,140	0,087	1,603
außen				0,100			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-0,20	2,49i	-2,85	-3,54i
1,16	-1,09i	-0,20	2,49i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,26 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,55 W/(m ² K)	2,89 h
Wärmeaufnahme außen	0,55 W/(m ² K)	2,89 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,22 W/(m ² K)	-3,41 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,855	

wirksame Wärmekapazität innen	8 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	8 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

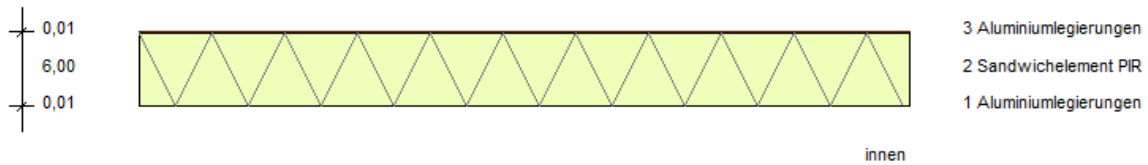
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



2.3 Dach Bestand
 $U = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 2.3 Dach Bestand (2.3)

Bauteiltyp "Decke gegen die Außenluft" (1)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,100
01 Aluminiumlegierungen	0,01	2800	0,3	160,000	0,000
02 Sandwichelement PIR	6,00	30	1,8	0,022	2,727
03 Aluminiumlegierungen	0,01	2800	0,3	160,000	0,000
R_{se}					0,040
d =	6,02	G =	2,4	$R_T =$	2,87

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,349 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Wärmedämmte Dachschrägen (DIN 4108-2:2013). Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse $< 100 \text{ kg/m}^2$

R $2,73 \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,100			
1 Aluminiumlegierungen	160,000	2800	880	0,000	0,000	1,336	0,000
2 Sandwichelement PIR	0,022	30	1400	2,727	0,060	0,120	0,500
3 Aluminiumlegierungen	160,000	2800	880	0,000	0,000	1,336	0,000
außen				0,040			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
0,98	0,31i	-2,86	-0,27i
		0,03	-0,22i
		0,98	0,32i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,35 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,36 W/(m ² K)	0,80 h
Wärmeaufnahme außen	0,36 W/(m ² K)	0,84 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,35 W/(m ² K)	-0,36 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,998	

wirksame Wärmekapazität innen	1 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	2 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

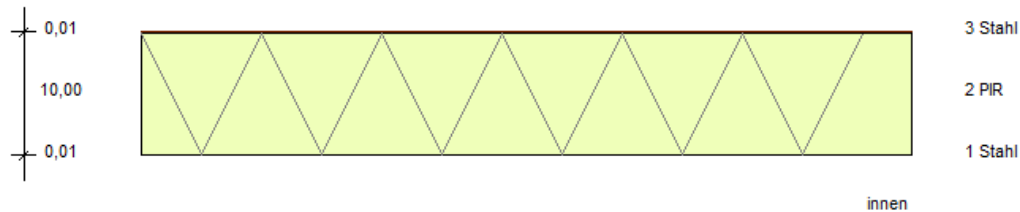
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



2.4 GIEL Decke Hydewa PIR Sandwichpaneel
 $U = 0,27 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 2.4 GIEL Decke Hydewa PIR Sandwichpaneel (2.4)

Bauteiltyp "Decke gegen die Außenluft" (1)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,100
01 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
02 PIR	10,00	30	3,0	0,028	3,571
03 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
R_{se}					0,040
	d = 10,01	G =	3,9	$R_T =$	3,71

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,269 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Wärme gedämmte Dachschrägen (DIN 4108-2:2013). Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse $< 100 \text{ kg/m}^2$

$R \quad 3,57 \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,100			
1 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
2 PIR	0,028	30	1400	3,571	0,100	0,135	0,739
3 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
außen				0,040			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
0,94	0,61i	-3,67	-0,73i
		0,07	-0,33i
		0,93	0,63i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,27 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,30 W/(m ² K)	1,45 h
Wärmeaufnahme außen	0,30 W/(m ² K)	1,52 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,27 W/(m ² K)	-0,75 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,991	
wirksame Wärmekapazität innen	2 kJ/(m ² K)	
wirksame Wärmekapazität außen	2 kJ/(m ² K)	

mit $\delta = \sqrt{\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

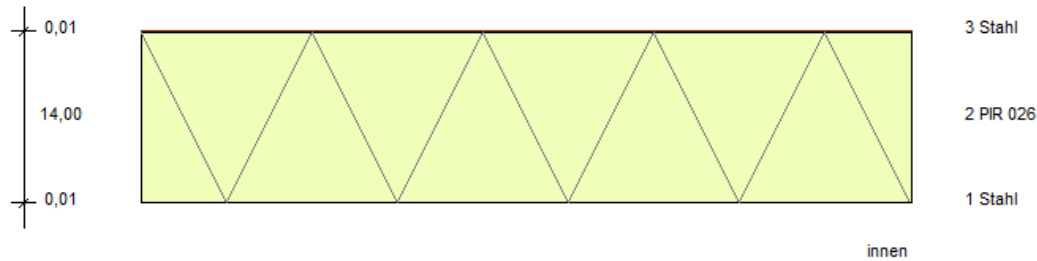
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



2.5 GIEL Decke Hydewa PIR Sandwichpaneel Tiefkühl
 $U = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 2.5 GIEL Decke Hydewa PIR Sandwichpaneel Tiefkühl (2.5)

Bauteiltyp "Decke gegen die Außenluft" (1)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,100
01 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
02 PIR 026	14,00	30	4,2	0,026	5,323
03 Stahl	0,01	7800	0,5	50,000	0,000
R_{se}					0,040
d =	14,01	G =	5,1	$R_T =$	5,46

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,183 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Wärme gedämmte Dachschrägen (DIN 4108-2:2013). Erhöhte Anforderungen für leichte Bauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse $< 100 \text{ kg/m}^2$

$R \quad 5,32 \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,100			
1 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
2 PIR 026	0,026	30	1400	5,323	0,140	0,131	1,067
3 Stahl	50,000	7800	450	0,000	0,000	0,626	0,000
außen				0,040			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
0,75	1,22i	-5,20	-2,18i
		0,20	-0,43i
			0,73
			1,24i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,18 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	0,25 W/(m ² K)	2,38 h
Wärmeaufnahme außen	0,26 W/(m ² K)	2,45 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,18 W/(m ² K)	-1,51 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,967	
wirksame Wärmekapazität innen	3 kJ/(m ² K)	
wirksame Wärmekapazität außen	3 kJ/(m ² K)	

mit $\delta = \sqrt{\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

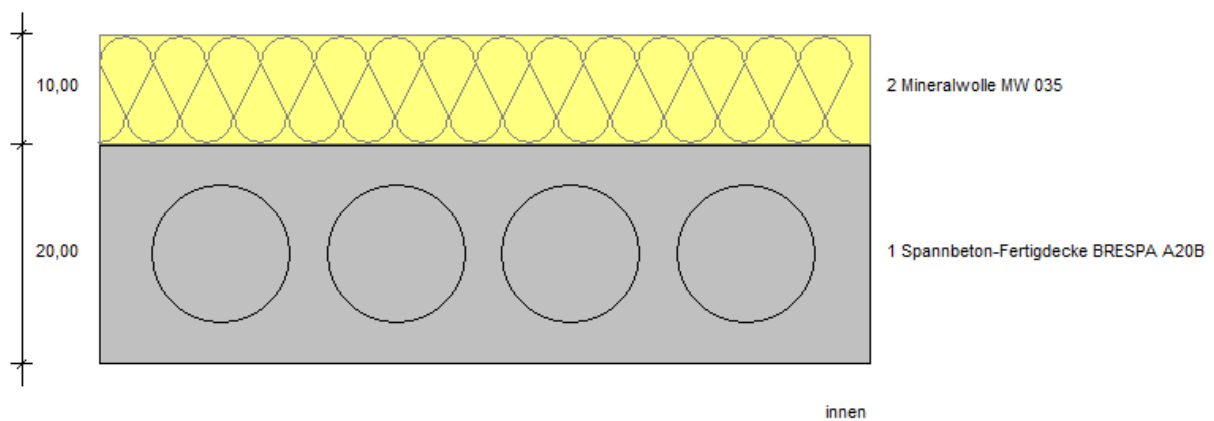
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] \cdot i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



2.6 oberste Geschossdecke 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C Masivdecke
 $U = 0,31 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 2.6 oberste Geschossdecke 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C Masivdecke (2.6)

Bauteiltyp "Wohnungstrenndecke nach oben" (13)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,100
01 Spannbeton-Fertigdecke BRESPA A2	20,00	-	311,0	-	0,145
02 Mineralwolle MW 035	10,00	20	2,0	0,035	2,857
R_{se}					0,100
	d = 30,00	G =	313,0	$R_T =$	3,20

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,312 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

. Mindestanforderungen nach Tab.3.

$R \quad 3,00 \geq 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,100			
1 Spannbeton-Fertigdec	1,379	1555	1000	0,145	0,200	0,156	1,281
2 Mineralwolle MW 035	0,035	20	830	2,857	0,100	0,241	0,415
außen				0,100			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-39,53	60,31i	2,49	-10,93i
		15,89	-18,45i
			-1,32
			3,54i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

U _{stat} (nach EN ISO 6946)	0,31 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	6,43 W/(m ² K)	1,36 h
Wärmeaufnahme außen	0,34 W/(m ² K)	0,51 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,09 W/(m ² K)	-6,85 h
Dekrement = U _{dyn} / U _{stat}	0,285	

wirksame Wärmekapazität innen	89 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	5 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

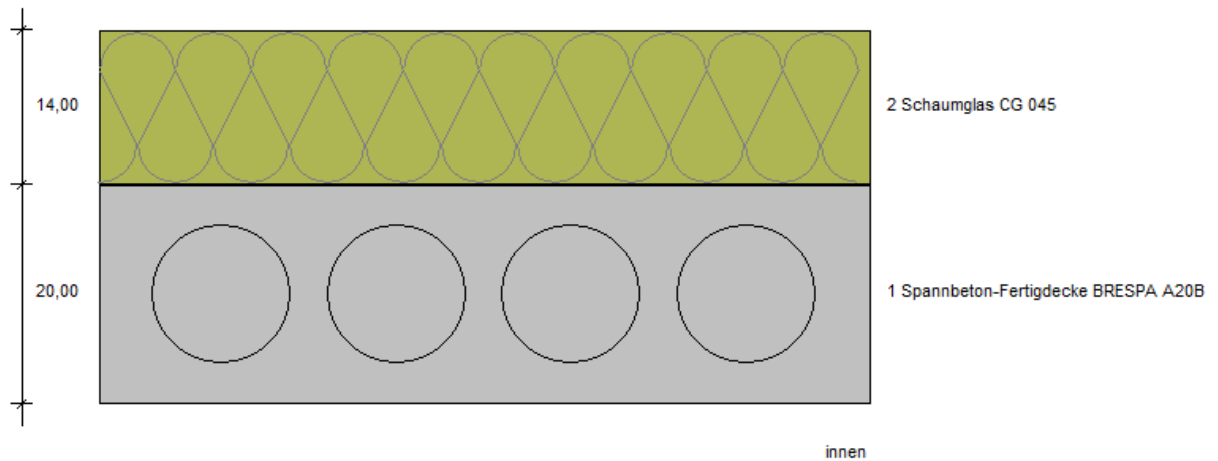
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] \cdot i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



2.7 oberste Geschossdecke 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C Masivdecke
 $U = 0,29 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 2.7 oberste Geschossdecke 12 °C bis 19 °C gg. < 12 °C Masivdecke (2.7)

Bauteiltyp "Wohnungstrenndecke nach oben" (13)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,100
01 Spannbeton-Fertigdecke BRESPA A2	20,00	-	311,0	-	0,145
02 Schaumglas CG 045	14,00	100	14,0	0,045	3,111
R_{se}					0,100
d =	34,00	G =	325,0	$R_T =$	3,46

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,289 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

. Mindestanforderungen nach Tab.3.

R 3,26 $\geq$ 0,00 m²K/W erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,100			
1 Spannbeton-Fertigdec	1,379	1555	1000	0,145	0,200	0,156	1,281
2 Schaumglas CG 045	0,045	100	2100	3,111	0,140	0,077	1,824
außen				0,100			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-101,96	-4,22i	15,18	-4,90i
		53,86	54,84i
			-10,88
			-5,12i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

U _{stat} (nach EN ISO 6946)	0,29 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	6,40 W/(m ² K)	1,35 h
Wärmeaufnahme außen	0,75 W/(m ² K)	2,88 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,06 W/(m ² K)	-10,81 h
Dekrement = U _{dyn} / U _{stat}	0,218	
wirksame Wärmekapazität innen	89 kJ/(m ² K)	
wirksame Wärmekapazität außen	11 kJ/(m ² K)	

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

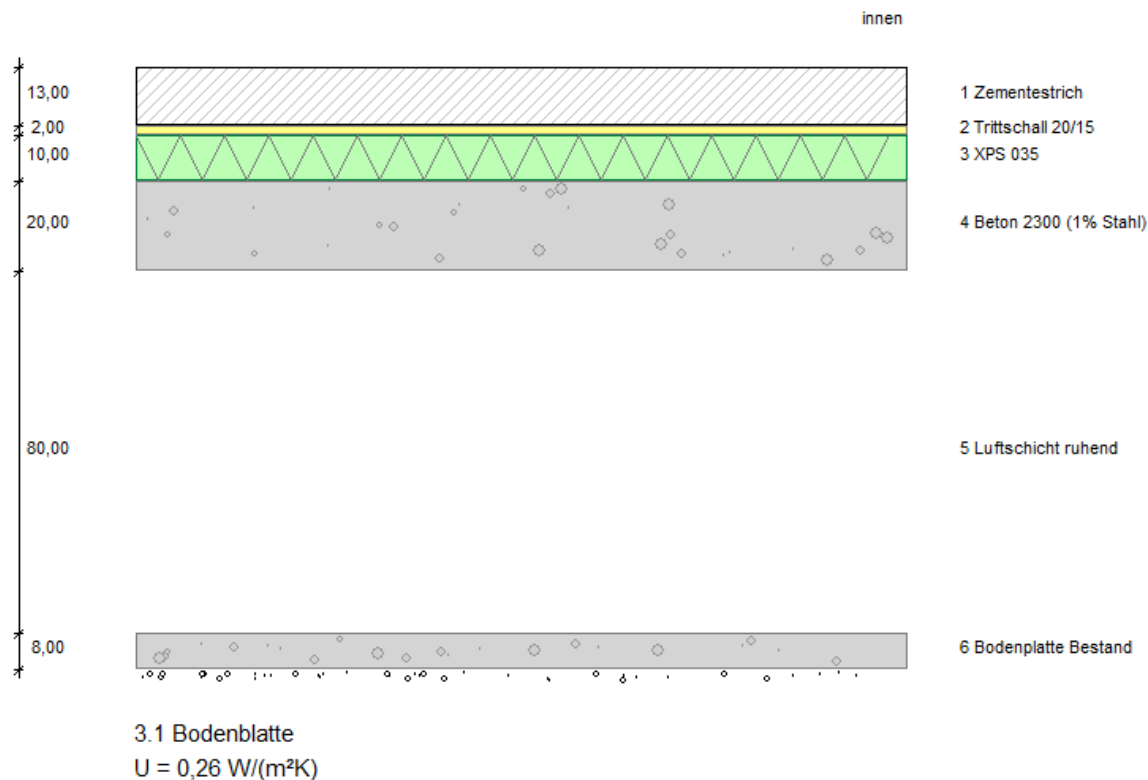
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] \cdot i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



Bauteil: 3.1 Bodenplatte (3.1)

Bauteiltyp "Fußboden gegen Erdreich" (9)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,17$ und $R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,170
01 Zementestrich	13,00	2000	260,0	1,400	0,093
02 Trittschall 20/15	2,00	-	-	0,040	0,500
03 XPS 035	10,00	25	2,5	0,035	2,857
04 Beton 2300 (1% Stahl)	20,00	2300	460,0	2,300	0,087
05 Luftschicht ruhend	80,00	1	0,0	-	0,160
06 Bodenplatte Bestand	8,00	2300	184,0	2,300	0,035
R_{se}					0,000
d = 133,00					G = 906,5
					$R_T = 3,90$

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,256 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Sohlplatten, unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m (DIN 4108-2:2013. Mindestanforderungen nach Tab.3.

R $3,73 \geq 0,90 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,170			
1 Zementestrich	1,400	2000	1000	0,093	0,130	0,139	0,937
2 Trittschall 20/15	0,040	-	830	0,500	0,020	-	-
3 XPS 035	0,035	25	1480	2,857	0,100	0,161	0,620
4 Beton 2300 (1% Stahl	2,300	2300	1000	0,087	0,200	0,166	1,206
5 Luftschicht ruhend	5,000	1	1080	0,160	0,800	11,284	0,071
6 Bodenplatte Bestand	2,300	2300	1000	0,035	0,080	0,166	0,482
außen				0,000			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-275,56 -362,92i	76,04	57,43i -2605,59	5487,58i 213,35-1252,33i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,26 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	4,78 W/(m ² K)	1,05 h
Wärmeaufnahme außen	13,33 W/(m ² K)	4,17 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,01 W/(m ² K)	9,53 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,039	

wirksame Wärmekapazität innen	66 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	183 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)} =$ periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung

$\xi = d / \delta =$ Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

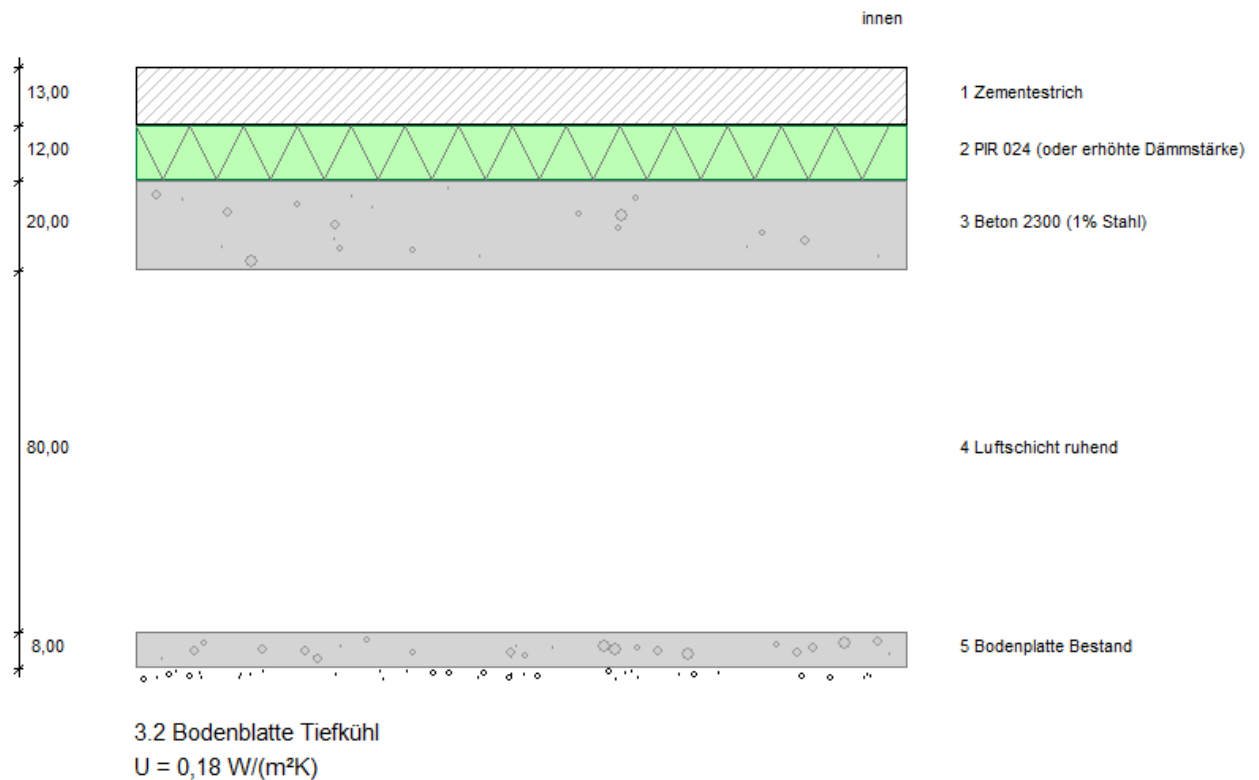
Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



Bauteil: 3.2 Bodenplatte Tiefkühl (3.2)

Bauteiltyp "Fußboden gegen Erdreich" (9)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,17$ und $R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,170
01 Zementestrich	13,00	2000	260,0	1,400	0,093
02 PIR 024 (oder erhöhte Dämmstärke)	12,00	25	3,0	0,024	5,000
03 Beton 2300 (1% Stahl)	20,00	2300	460,0	2,300	0,087
04 Luftschicht ruhend	80,00	1	0,0	-	0,160
05 Bodenplatte Bestand	8,00	2300	184,0	2,300	0,035
R_{se}					0,000
d = 133,00					G = 907,0
					$R_T = 5,54$

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,180 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Sohlplatten, unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m (DIN 4108-2:2013. Mindestanforderungen nach Tab.3.

R 5,37 $\geq$ 0,90 m²K/W erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,170			
1 Zementestrich	1,400	2000	1000	0,093	0,130	0,139	0,937
2 PIR 024 (oder erhöht)	0,024	25	1480	5,000	0,120	0,134	0,898
3 Beton 2300 (1% Stahl)	2,300	2300	1000	0,087	0,200	0,166	1,206
4 Luftschicht ruhend	5,000	1	1080	0,160	0,800	11,284	0,071
5 Bodenplatte Bestand	2,300	2300	1000	0,035	0,080	0,166	0,482
außen				0,000			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
-380,78 -704,05i	116,29 120,01i	-5996,22 8825,21i	706,83-2112,44i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
Ustat (nach EN ISO 6946)	0,18 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	4,79 W/(m ² K)	1,05 h
Wärmeaufnahme außen	13,33 W/(m ² K)	4,17 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	0,01 W/(m ² K)	8,94 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	0,033	
wirksame Wärmekapazität innen	66 kJ/(m ² K)	
wirksame Wärmekapazität außen	183 kJ/(m ² K)	

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

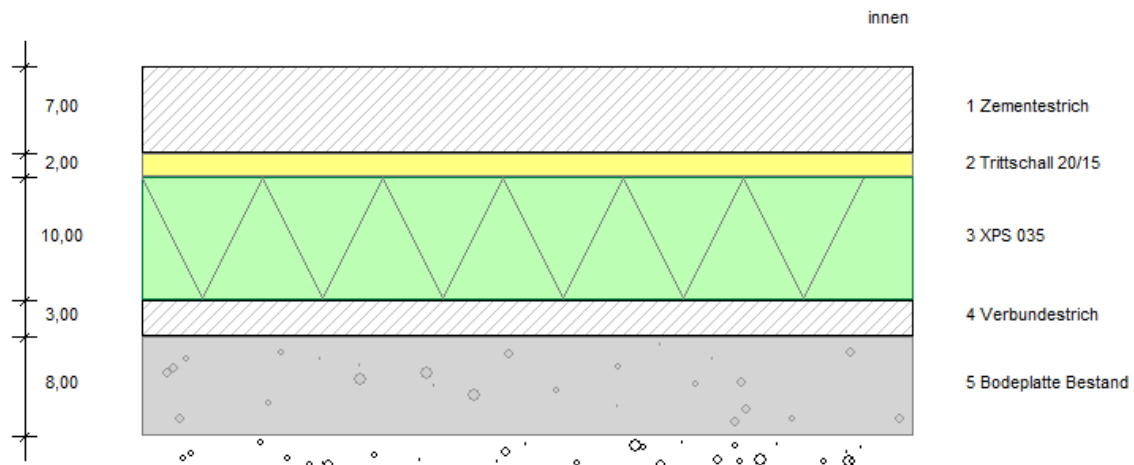
mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



3.3 Fußbodenaufbau
 $U = 0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Bauteil: 3.3 Fußbodenaufbau

Bauteiltyp "Fußboden gegen Erdreich" (9)
 mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,17$ und $R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{si}					0,170
01 Zementestrich	7,00	2000	140,0	1,400	0,050
02 Trittschall 20/15	2,00	-	-	0,040	0,500
03 XPS 035	10,00	25	2,5	0,035	2,857
04 Verbundestrich	3,00	2000	60,0	1,400	0,021
05 Bodeplatte Bestand	8,00	2300	184,0	2,300	0,035
R_{se}					0,000
d =	30,00	G =	386,5	$R_T =$	3,63

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0,275 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (ohne Korrekturen)

Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände nach DIN 4108-2

Sohlplatten, unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m (DIN 4108-2:2013. Mindestanforderungen nach Tab.3.

$R \quad 3,46 \geq 0,90 \text{ m}^2\text{K/W}$ erfüllt die Anforderungen

Anforderungen nach ...

Anforderung:

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,170			
1 Zementestrich	1,400	2000	1000	0,050	0,070	0,139	0,505
2 Trittschall 20/15	0,040	-	830	0,500	0,020	-	-
3 XPS 035	0,035	25	1480	2,857	0,100	0,161	0,620
4 Verbundestrich	1,400	2000	1000	0,021	0,030	0,139	0,216
5 Bodeplatte Bestand	2,300	2300	1000	0,035	0,080	0,166	0,482
außen				0,000			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}		Z_{12}		Z_{21}		Z_{22}	
-18,04	26,41i	0,83	-6,79i	509,77	166,88i	-113,31	18,41i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	0,28 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	4,67 W/(m ² K)	1,82 h
Wärmeaufnahme außen	16,77 W/(m ² K)	4,92 h
dynamische Wärmeaufnahme U_{dyn}	0,15 W/(m ² K)	-6,46 h
Dekrement = U_{dyn} / U_{stat}	0,530	

wirksame Wärmekapazität innen	65 kJ/(m ² K)
wirksame Wärmekapazität außen	233 kJ/(m ² K)

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)} =$ periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta =$ Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

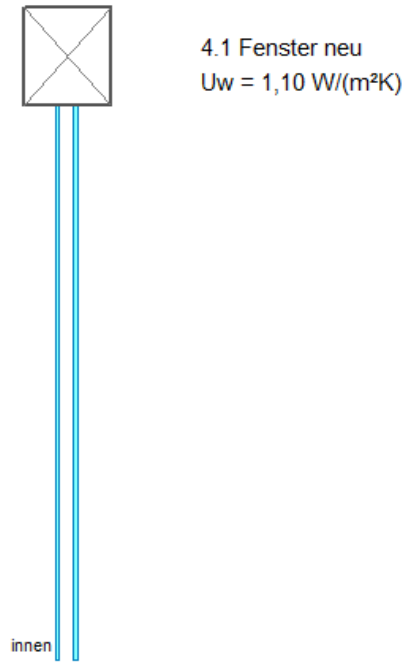
Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] \cdot i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] \cdot i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7



Bauteil: 4.1 Fenster neu

Bauteiltyp "Fenster" (20)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Fenster

Mehrscheibenverglasung

Rahmen

Wärmedurchgangskoeffizient nach EN ISO 10077-1

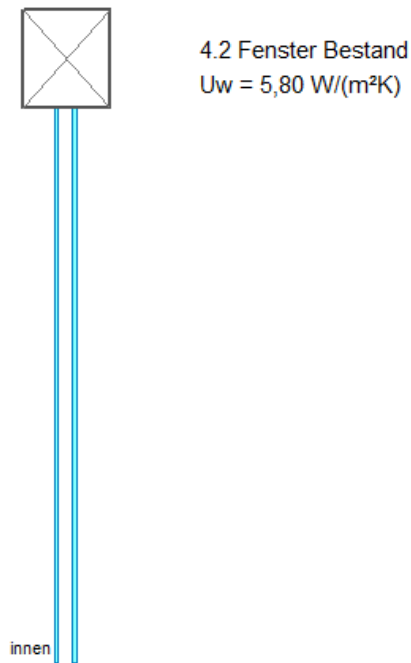
Einfachfenster, Tabellenwert $U_w = 1,10 (1,1) \text{ W/(m}^2\text{K)}$

U-Wert des Fensters mit Zwei- / Dreischeibenverglasung, verbesserter Randverbund, 20%

Rahmenanteil, Tab. H.4

mit $U_g = 0,90$ und $U_f = 1,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

$U_w = 1,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wird für die weiteren Berechnungen angenommen



Bauteil: 4.2 Fenster Bestand (4.2)

Bauteiltyp "Fenster" (20)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Fenster

Einfachverglasung
Metallrahmen

Wärmedurchgangskoeffizient nach EN ISO 10077-1

Einfachfenster, Tabellenwert $U_W = 5,79 \text{ (5,8) W/(m}^2\text{K)}$

U-Wert des Fensters mit Einscheibenverglasung, typischer Randverbund, 20% Rahmenanteil, Tab.

H.2

mit $U_g = 5,00$ und $U_f = 5,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

$U_W = 5,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wird mit zwei wertgebenden Ziffern für die weiteren Berechnungen angenommen

3 Polycarbonate
 2 Scheibenzwischenraum
 1 Polycarbonate

innen

4.3 Lichtdach 20 mm Mehrfachstegplatte

Bauteil: 4.3 Lichtdach 20 mm Mehrfachstegplatte

Bauteiltyp "Dachdecke" (1)

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{Si} = 0,13$ und $R_{Se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Querschnitt

von innen	s cm	ρ kg/m ³	kg/m ²	λ W/(mK)	R m ² K/W
R_{Si}					0,130
01 Polycarbonate	0,30	1200	3,6	0,200	0,015
02 Scheibenzwischenraum	1,40	-	-	-	0,170
03 Polycarbonate	0,30	1200	3,6	0,200	0,015
R_{Se}					0,040
d =	2,00	G =	7,2	$R_T =$	0,37

Fenster

Polycarbonat 20 mm Mehrfachstegplatte

-

Wärmedurchgangskoeffizient nach EN ISO 10077-1

 Fassadenabschluss $U_g 1,9$ $U_f 1,90$ $\Psi_g 0,000 (4,3 \text{ m})$ $U_D = 1,90 (1,9) \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 $A_{\text{glas}} = 0,70 \text{ m}^2 (70\%)$, $A_{\text{frame}} = 0,30 \text{ m}^2$, $l_{\text{verbund}} 4,26 \text{ m}$, $A_D = * = 1,00 \text{ m}^2$

 opake Füllung: $A_p = 0,00 \text{ m}^2$, $U_p = 0,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $l_{\text{verbund}} = 0,00 \text{ m}$ mit $\Psi = 0,00 \text{ W/(mK)}$
 $U_D = (0,70 \cdot 1,90 + 0,30 \cdot 1,90 + 4,26 \cdot 0,000) / (0,70 + 0,30) = 1,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 $U_W = 1,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ wird für die weiteren Berechnungen angenommen

Thermisch-dynamische Charakteristik

nach prEN ISO 13786:2005

Periodendauer der Temperaturschwankung $T = 86.400 \text{ sec}$ (24 Stunden)

von innen	λ W/(mK)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)	R m ² K/W	d m	δ m	ξ
innen				0,130			
1 Polycarbonate	0,200	1200	1200	0,015	0,003	0,062	0,049
2 Scheibenzwischenraum	0,082	-	1080	0,170	0,014	-	-
3 Polycarbonate	0,200	1200	1200	0,015	0,003	0,062	0,049
außen				0,040			

Wärmeübergangsmatrix

Z_{11}	Z_{12}	Z_{21}	Z_{22}
1,00	0,03i	-0,20	0,00i
		0,00	-0,63i
		1,00	0,09i

Kenngröße	Betrag	Zeitverschiebung
-----------	--------	------------------

Ustat (nach EN ISO 6946)	1,90 W/(m ² K)	
Wärmeaufnahme innen	5,00 W/(m ² K)	0,04 h
Wärmeaufnahme außen	5,02 W/(m ² K)	0,25 h
dynamische Wärmeaufnahme U _{dyn}	5,00 W/(m ² K)	-0,10 h
Dekrement = U _{dyn} / Ustat	2,631	
wirksame Wärmekapazität innen	2 kJ/(m ² K)	
wirksame Wärmekapazität außen	6 kJ/(m ² K)	

mit $\delta = \sqrt{(\lambda \cdot T / \pi \cdot \rho \cdot c)}$ = periodische Eindringtiefe der Temperaturschwankung $\xi = d / \delta$ = Verhältnis der Schichtdicke zur periodischen Eindringtiefe

Wärmeübergangsmatrix des Bauteils aus Matrizenmultiplikation von außen nach innen

mit den komplexen Matrixelementen (je Baustoffschicht)

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cdot \cos(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i$$

$$Z_{12} = \delta / 2\lambda \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) - \sinh(\xi) \cdot \cos(\xi)] i)$$

$$Z_{21} = -2\lambda / \delta \cdot (\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) - \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi) + [\sinh(\xi) \cdot \cos(\xi) + \cosh(\xi) \cdot \sin(\xi)] i)$$

dynamisch thermische Kenngrößen aus der Wärmeübergangsmatrix nach Abs. 7

Bauteil: 5.1 Türen und Tore (5.1)

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1,600 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (manuell festgelegt)

Bauteil: 5.2 Tore Bestand (5.2)

Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 4,000 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (manuell festgelegt)