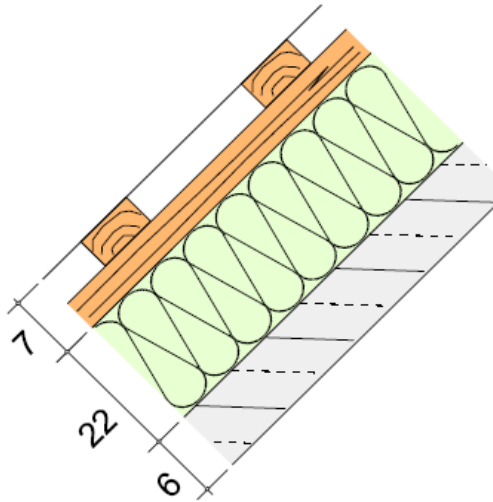
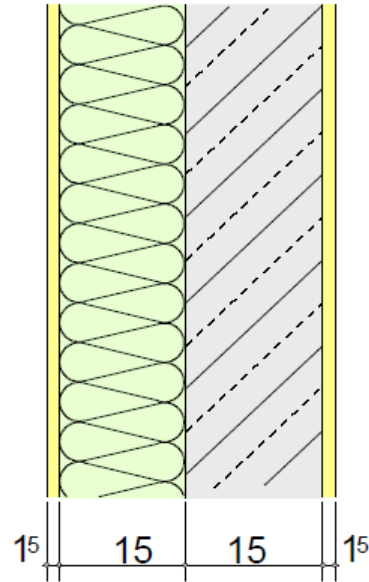


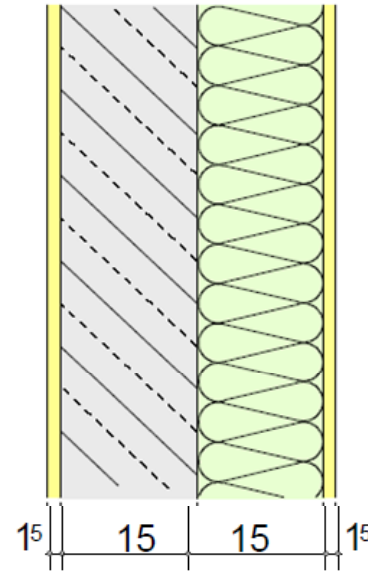
Übungsbeispiel 1



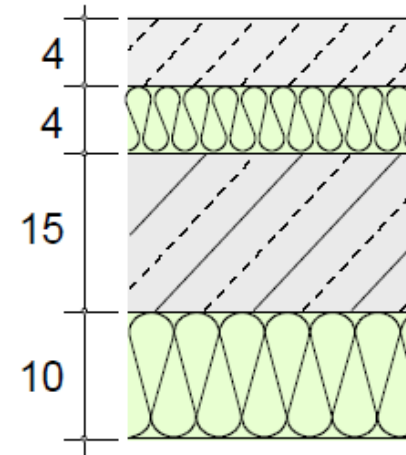
Dach



Außenwand
(außengedämmt)



Außenwand
(innen gedämmt)



Bodenplatte

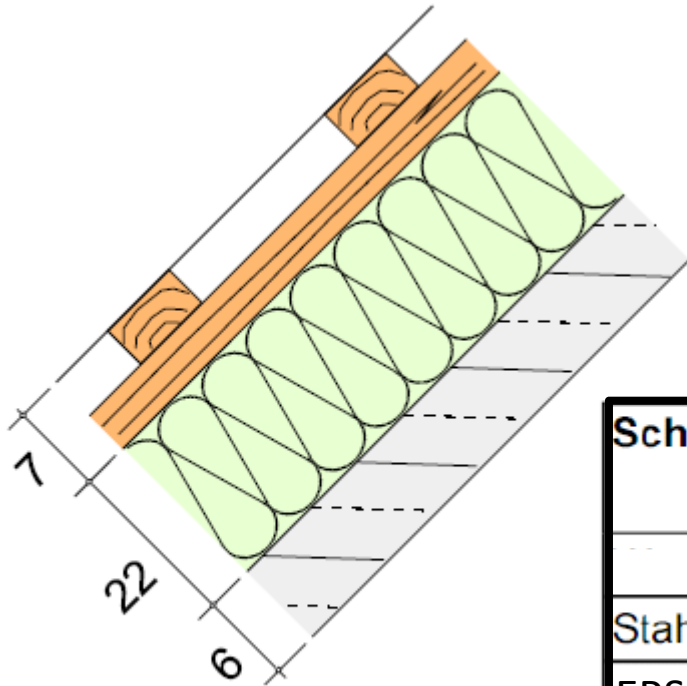
Übungsbeispiel 1

Aufgabenstellung

- A) Berechnen Sie für die oben dargestellten Bauteile die **Wärmedurchlasswiderstände R**.
- B) Skizzieren Sie für jedes dieser Bauteile den **Temperaturverlauf** unter Annahme stationärer Temperaturen an den Bauteiloberflächen.
- C) Erfüllen die Bauteile die Anforderungen an den **Wärmeschutz nach DIN 4108-2**?
- D) Wie groß ist der **Wärmedurchgangswiderstand R_T** bzw. der **Wärmedurchgangskoeffizient U** der Bauteile?
- E) Berechnen Sie für das Dach und die Außenwand die erforderliche Dämmschichtdicke, so dass der U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht überschritten wird.
- F) Welche **Temperaturgradienten** sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)? Welche **Temperaturen sind zwischen den Schichten** und an den Oberflächen zu erwarten?

Übungsbeispiel 1-Bauteilaufbau

Dach



Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,06	**
EPS WLG 035	35	0,22	***
ruhende Luftschicht		0,07	****

* DIN 4108-4:2017

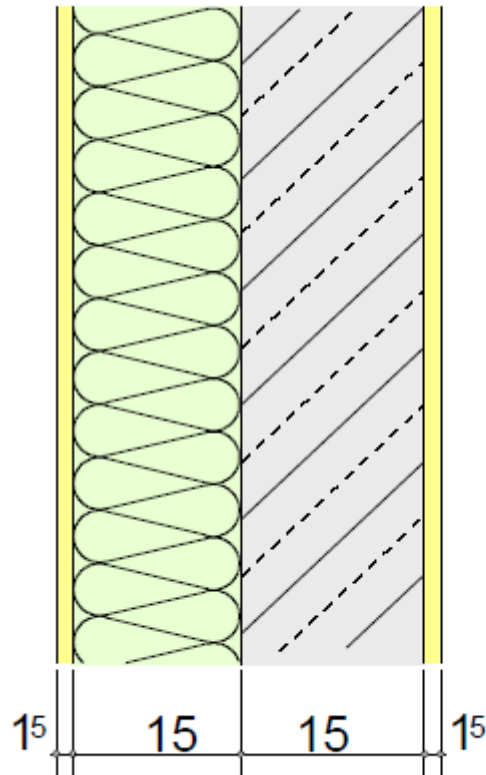
** DIN EN ISO 10456:2010

*** DIN 4108-4:2017,
 $\lambda_D=0,035$ W/(mK)

**** DIN EN ISO 6954:2018

Übungsbeispiel 1-Bauteilaufbau

Außenwand außen gedämmt



Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)
Kalkzementputz	1800	0,015	*
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,15	**
EPS WLG 040	35	0,15	***
Kunstharzputz	1100	0,015	*

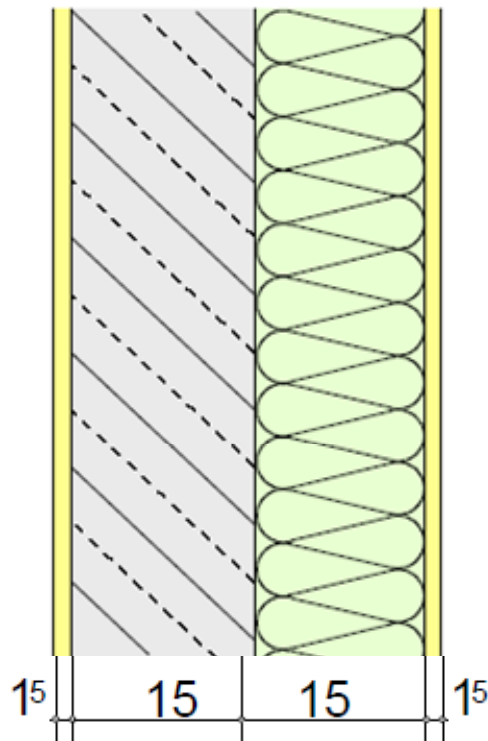
* DIN 4108-4:2017

** DIN EN ISO 10456:2010

*** DIN 4108-4:2017,
 $\lambda_D = 0,04 \text{ W/(mK)}$

Übungsbeispiel 1-Bauteilaufbau

Außenwand innen gedämmt



Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)
Kalkzementputz	1800	0,015	*
EPS WLG 040	35	0,15	***
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,15	**
Kunstharzputz	1100	0,015	*

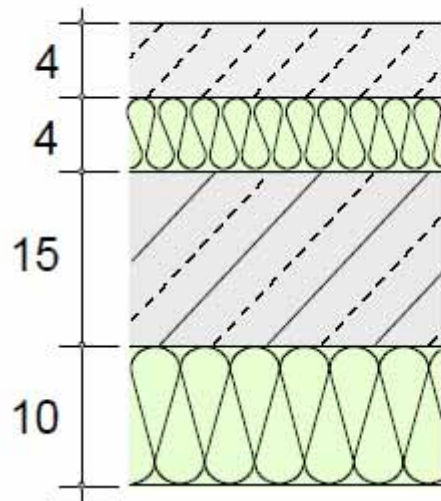
* DIN 4108-4:2017

** DIN EN ISO 10456:2010

*** DIN 4108-4:2017,
 $\lambda_D=0,04$ W/(mK)

Übungsbeispiel 1-Bauteilaufbau

Bodenplatte



Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)
Zementestrich	2000	0,04	*
EPS WLG 035	35	0,04	***
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,15	**
XPS WLG 040	35	0,10	***

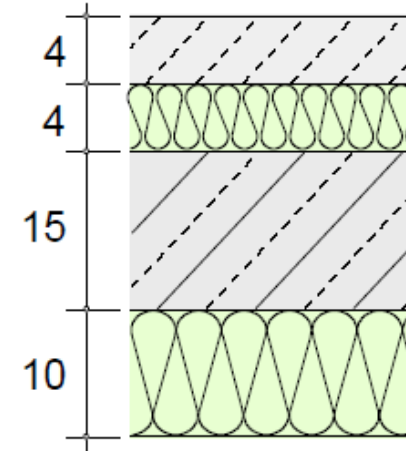
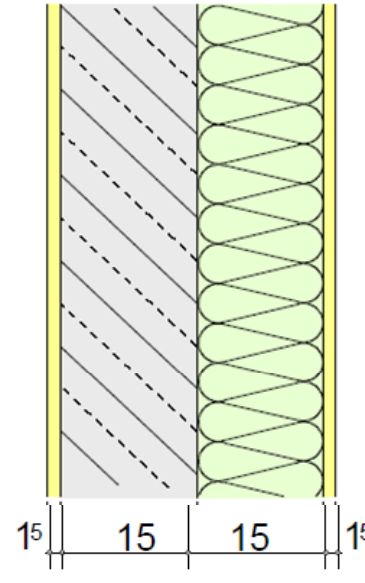
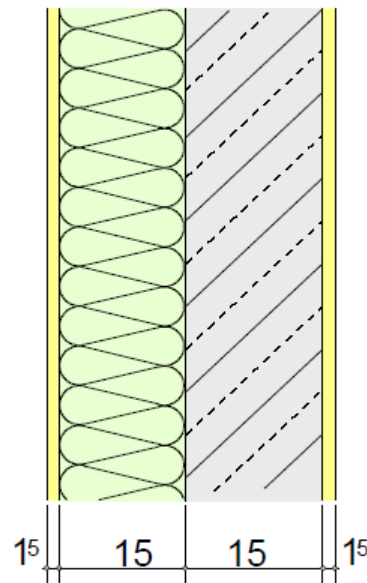
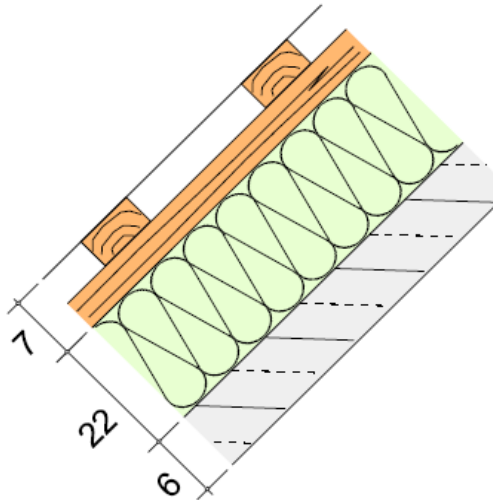
* DIN 4108-4:2017

** DIN EN ISO 10456:2010

*** DIN 4108-4:2013,
 $\lambda_D=0,035$ W/(mK) bzw.
 $\lambda_D=0,04$ W/(mK)

Übungsbeispiel 1 - Lösung

A) Berechnen Sie für die oben dargestellten Bauteile die **Wärmedurchlasswiderstände R**.



Dach

$$R_{\text{Luft}} = 0,116 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Dämmg.}} = 6,111 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Beton}} = 0,024 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\rightarrow R = 6,295 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Außenwand
(außengedämmt)

$$R_{\text{Außenputz}} = 0,021 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Dämmg.}} = 3,659 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Beton}} = 0,060 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Innenputz}} = 0,015 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\rightarrow R = 3,755 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Außenwand
(innen gedämmt)

Bodenplatte

$$R_{\text{Estrich}} = 0,029 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Dämmg. oben}} = 1,111 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Beton}} = 0,060 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Dämmg. unten}} = 2,439 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\rightarrow R = 3,639 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

A) Berechnen Sie für die oben dargestellten Bauteile die **Wärmedurchlasswiderstände R**.

Zusammenstellung der Wärmeleitfähigkeiten für alle Bauteile

- Stahlbeton (2% Stahl)

$$\lambda = 2,5 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{s. DIN EN ISO 10456:2010, S.15}$$

- EPS WLG 035

$$\lambda_D = 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{s. DIN 4108-4:2017, Tab.2, S.22, Zeile 5.2} \rightarrow \text{Fußnote a Tab.2, S.26}$$

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = \lambda_D \cdot 1,03; \quad \lambda_{\text{Bemessung}} = \lambda_D + 4\lambda \quad \text{mit } \lambda_D = 0,001 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

größere Wert maßgebend

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot 1,03 = 0,036 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}} + 0,001 \frac{\text{W}}{\text{mK}} = 0,036 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{hier gleich!}$$

$$\Rightarrow \lambda_{\text{Bemessung}} = \lambda = 0,036 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

- EPS WLG 040

$$\lambda_D = 0,040 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{vgl. oben}$$

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = 0,040 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot 1,03 = 0,041 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = 0,040 \frac{\text{W}}{\text{mK}} + 0,001 \frac{\text{W}}{\text{mK}} = 0,041 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{hier gleich!}$$

$$\Rightarrow \lambda_{\text{Bemessung}} = \lambda = 0,041 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

- XPS WLG 040

$$\lambda_D = 0,04 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{s. DIN 4108-4:2017, Tab.2, S.22, Zeile 5.3} \rightarrow \text{Fußnote a Tab.2, S.26}$$

vgl. EPS

$$\lambda_{\text{Bemessung}} = 0,041 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

- ruhende Luftschicht $d = 0,07\text{m}$

ACHTUNG: hier Konvektion und Strahlung neben der Wärmeleitung relevant

$$\text{nach DIN EN ISO 10456:2010, S.15 } \lambda = 0,025 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

JEDOCH muss für den Wärmedurchlasswiderstand R der 70mm ruhenden Luftschicht der Wert nach DIN EN ISO 6946:2018, Tab.8, S.25 gewählt werden (hier: $R = 0,16 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ für das Dach)
vgl. Folie 5, Wärme T4

- Kalkzementputz

$$\lambda = 1,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{s. DIN 4108-4:2017, S.12, Tab.1, Zeile 1.1.1}$$

- Kunstharzputz

$$\lambda = 0,70 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{s. DIN 4108-4:2017, S.12, Tab.1, Zeile 1.1.7}$$

- Zementestrich

$$\lambda = 1,4 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \quad \text{s. DIN 4108-4:2017, S.13, Tab.1, Zeile 1.3.2}$$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

A) Berechnen Sie für die oben dargestellten Bauteile die **Wärmedurchlasswiderstände R**.

Wärmedurchlasswiderstände R

Dach

$$R_{\text{Beton}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,06 \text{ m}}{2,5 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,024 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Dämmung}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,22 \text{ m}}{0,036 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 6,111 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Luftschicht}} = 0,16 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Dach}} = 6,295 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\rightarrow R_{\text{Dach}} = 6,3 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Bodenplatte

$$R_{\text{Zementestrich}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,04 \text{ m}}{1,4 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,029 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Dämmung 1}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,036 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 1,111 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Beton}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,15 \text{ m}}{2,5 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,060 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Dämmung 2}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,10 \text{ m}}{0,041 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 2,439 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Bodenplatte}} = 3,639 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Wand außen gedämmt

$$R_{\text{Ker.-Rute}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,015 \text{ m}}{1,0 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,015 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Beton}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,15 \text{ m}}{2,5 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,060 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Dämmung}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,15 \text{ m}}{0,041 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 3,659 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Ker.-Rute}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,015 \text{ m}}{0,70 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,021 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Außenwand, außengedämmt}} = 3,755 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} =$$

Wand innen gedämmt

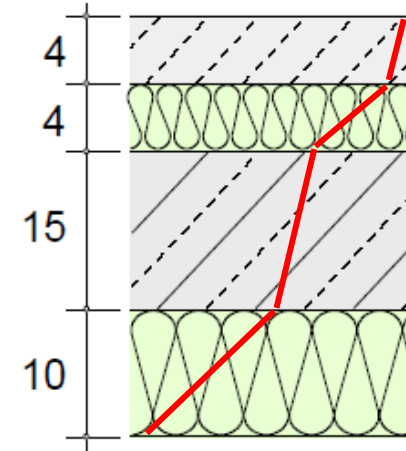
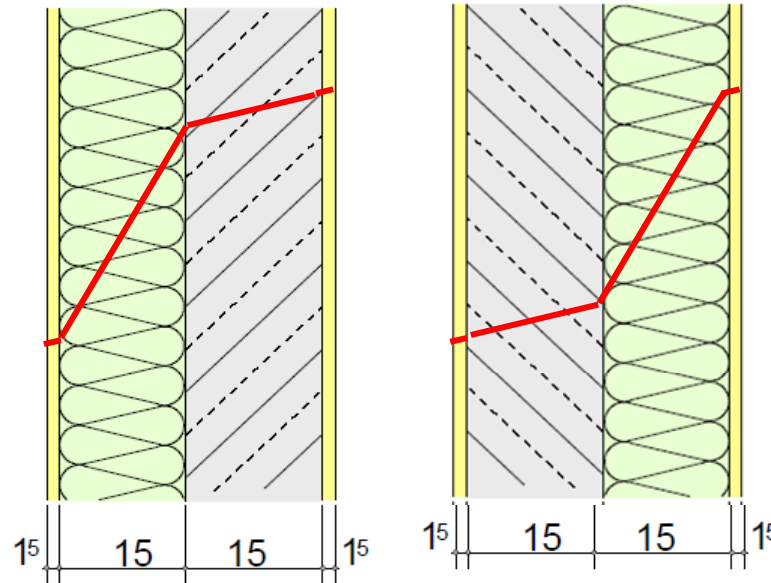
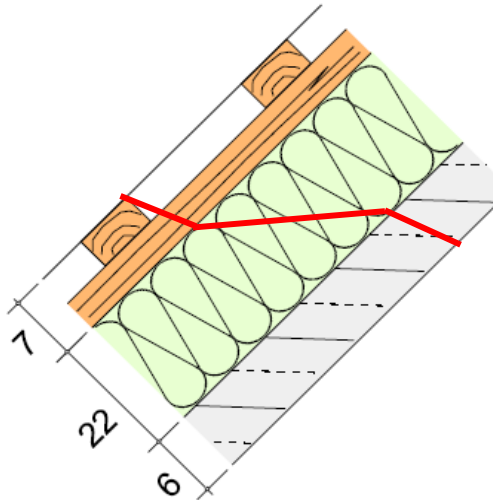
$$R_{\text{Außenwand, innengedämmt}} = R_{\text{Außenwand, außengedämmt}}$$

→ Anordnung der Schichten für R nicht relevant!

innen
gedämmt
gleiche Werte, nur
andere Anordnung

Übungsbeispiel 1 - Lösung

B) Skizzieren Sie für jedes dieser Bauteile den **Temperaturverlauf** unter Annahme stationärer Temperaturen an den Bauteiloberflächen.



Dach

$$R_{\text{Luft}} = 0,116 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Dämmg.}} = 6,111 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Beton}} = 0,024 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\rightarrow R = 6,295 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Außenwand
(außengedämmt)

Hinweis: je größer R einer Schicht, umso steiler der Temperaturgradient

$$R_{\text{Dämmg.}} = 3,659 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Beton}} = 0,060 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Innenputz}} = 0,015 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\rightarrow R = 3,755 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Bodenplatte

$$R_{\text{Estrich}} = 0,029 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Dämmg. oben}} = 1,111 \text{ m}^2\text{K/W}$$

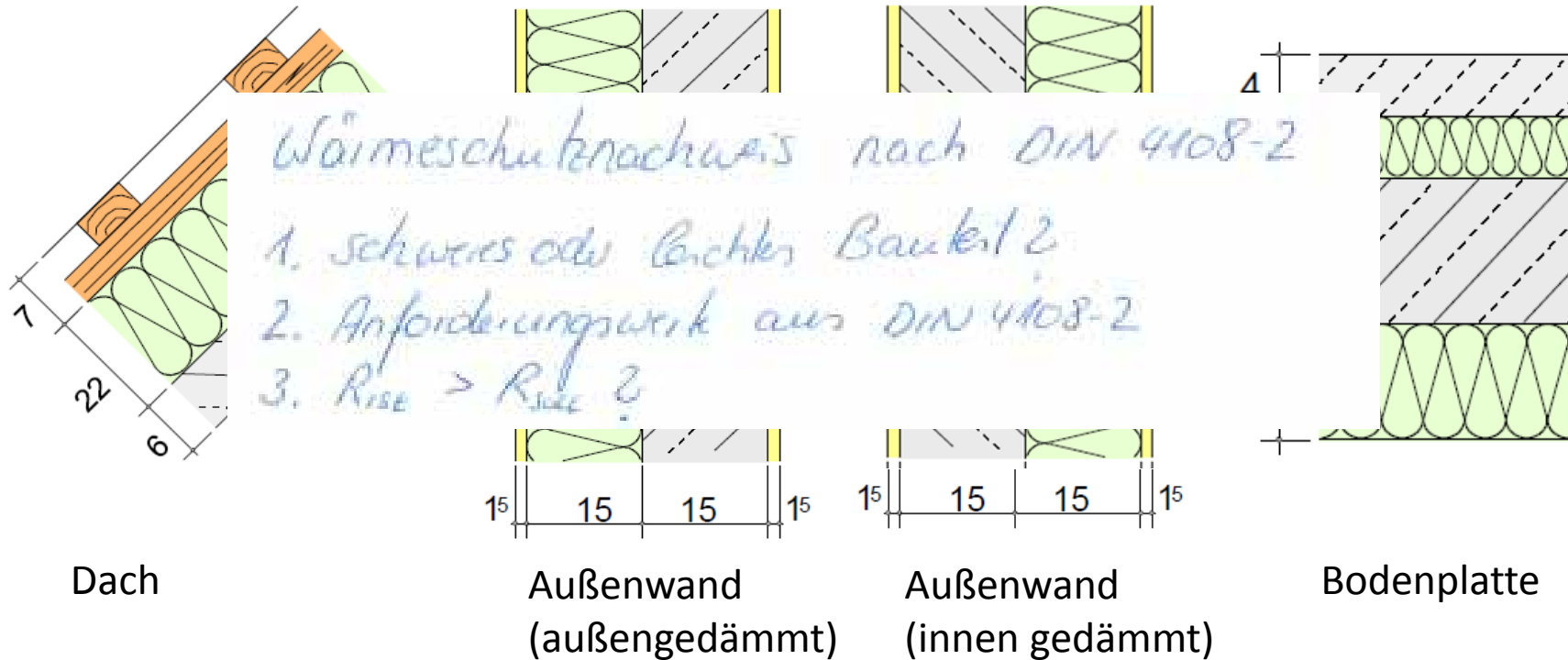
$$R_{\text{Beton}} = 0,060 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{\text{Dämmg. unten}} = 2,439 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\rightarrow R = 3,639 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

C) Erfüllen die Bauteile die Anforderungen an den **Wärmeschutz nach DIN 4108-2**?



$$R = 6,295 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R = 3,755 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R = 3,639 \text{ m}^2\text{K/W}$$

flächenbezogene Masse $m' = \rho \times d$

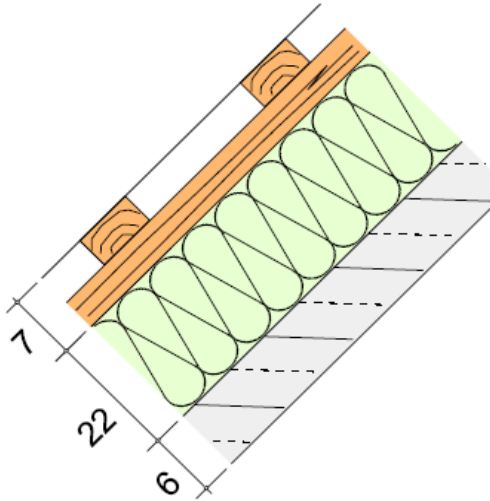
$$\begin{aligned} m' &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,06 \text{ m} \\ &= 144 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m' &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ m} \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

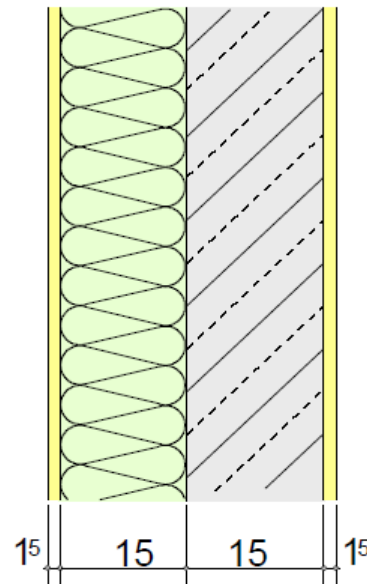
$> 100 \text{ kg/m}^2 \rightarrow$ schwere Bauteile $\rightarrow$ Tabelle 3 (DIN 4108-2) gilt

Übungsbeispiel 1 - Lösung

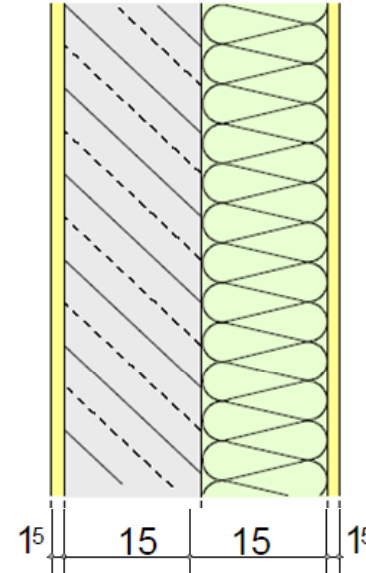
C) Erfüllen die Bauteile die Anforderungen an den **Wärmeschutz nach DIN 4108-2**?



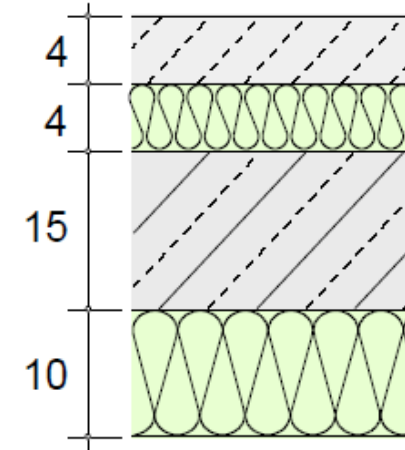
Dach



Außenwand
(außengedämmt)



Außenwand
(innen gedämmt)



Bodenplatte

$$R = 6,295 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R = 3,755 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R = 3,639 \text{ m}^2\text{K/W}$$

flächenbezogene Masse $m' = \rho \times d$

$$\begin{aligned} m' &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,06 \text{ m} \\ &= 144 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m' &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ m} \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$> 100 \text{ kg/m}^2 \rightarrow$ schwere Bauteile $\rightarrow$ Tabelle 3 (DIN 4108-2) gilt

Übungsbeispiel 1 - Lösung

C) Erfüllen die Bauteile die Anforderungen an den **Wärmeschutz nach DIN 4108-2?**

A) $\geq 100\text{kg/m}^2$

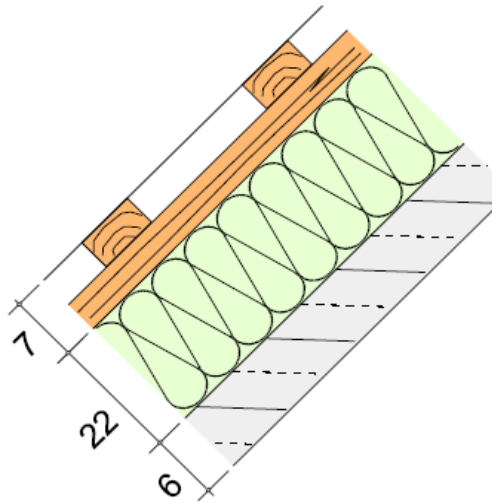
Tabelle 3 — Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen

Spalte	1	2	3
Zelle	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils ^b <i>R</i> in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
1	Wände beheizter Räume	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2 ^c
2	Dachschrägen beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2
3	Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer		
3.1		gegen Außenluft	1,2
3.2		zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Absittenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90
3.3		zu nicht beheizten Räumen, zu bekrleichen oder noch niedrigeren Räumen	0,90
3.4		zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Absittenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
4	Decken beheizter Räume nach unten		
4.1 ^a		gegen Außenluft, gegen Tiefgarage, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller	1,75
4.2		gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90
4.3		unterer Abschluss (z. B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
4.4		über einem nicht belüfteten Hohlraum, z. B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	

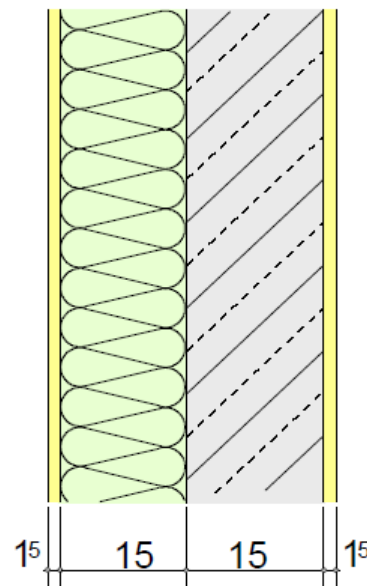


Übungsbeispiel 1 - Lösung

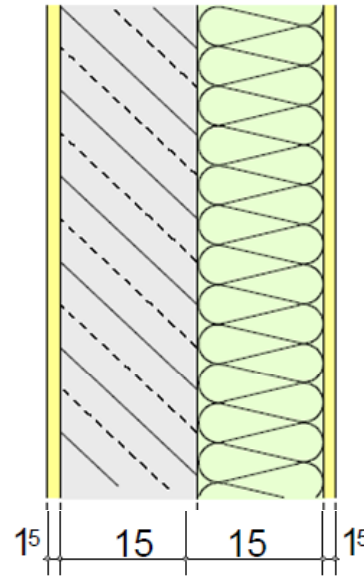
C) Erfüllen die Bauteile die Anforderungen an den **Wärmeschutz nach DIN 4108-2**?



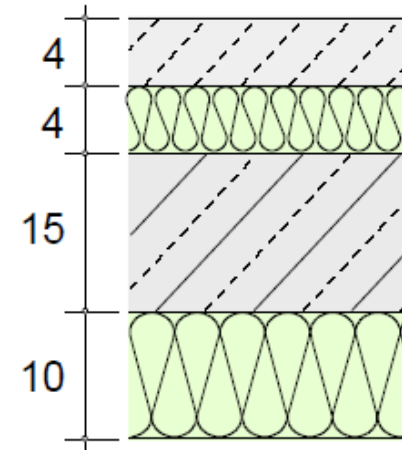
Dach



Außenwand
(außengedämmt)



Außenwand
(innen gedämmt)



Bodenplatte

IST: $R = 6,295 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R = 3,755 \text{ m}^2\text{K/W}$

$R = 3,639 \text{ m}^2\text{K/W}$

SOLL: $R = 1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ ✓

$R = 1,2 \text{ m}^2\text{K/W}$ ✓

$R = 0,9 \text{ m}^2\text{K/W}$ ✓

Übungsbeispiel 1 - Lösung

D) Wie groß ist der **Wärmedurchgangswiderstand** R_T bzw. der **Wärmedurchgangskoeffizient** U der Bauteile?

Dach

$$R_{T,dach} = R_{si} + R_{dach} + R_{se}$$

$$\text{mit } R_{si} = 0,10 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}, R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

für Wärmestrom aufwärts nach DIN EN ISO 6946
2018, Tab 7, S. 24

$$R_{T,dach} = 0,10 + 6,30 + 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 6,44 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{dach} = \frac{1}{R_{T,dach}} = 0,16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Bodenplatte

$$R_{T,Bodenplatte} = R_{si} + R_{Bodenplatte} + R_{se}$$

$$\text{mit } R_{si} = 0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}, R_{se} = 0,00 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

für Wärmestrom abwärts nach DIN EN ISO 6946
2018, Tab 7 S. 24 wäre $R_{si} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$, jedoch nur für Luft; für Kontakt mit Erdreich gilt $R_{si} = 0 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

da keine Strahlung oder/und Konvektion mit F:

$$\Rightarrow R_{T,Bodenplatte} = 0,17 + 3,64 + 0,00 = 3,81 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\Rightarrow U_{Bodenplatte} = 0,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad \text{S. DIN EN ISO 6946:2018}$$

Wand innen- und außengedämmt

$$R_{T,Wand} = R_{si} + R_{wand} + R_{se}$$

$$\text{mit } R_{si} = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}, R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

für Wärmestrom horizontal nach DIN EN ISO 6946
2018, Tab 7, S. 24

$$R_{T,Wand} = 0,13 + 3,76 + 0,04 = 3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{Wand} = \frac{1}{R_{T,Wand}} = 0,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

D) Wie groß ist der **Wärmedurchgangswiderstand** R_T bzw. der **Wärmedurchgangskoeffizient** U der Bauteile?

Dach

$$R_{T,dach} = R_{si} + R_{dach} + R_{se}$$

$$\text{mit } R_{si} = 0,10 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}, R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

für Wärmestrom aufwärts nach DIN EN ISO 6946
2018, Tab. 7, S. 24

$$R_{T,dach} = 0,10 + 6,30 + 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 6,44 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{dach} = \frac{1}{R_{T,dach}} = 0,16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Wand innen- und außengedämmt

$$R_{T,wand} = R_{si} + R_{wand} + R_{se}$$

$$\text{mit } R_{si} = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}, R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

für Wärmestrom horizontal nach DIN EN ISO 6946
2018, Tab. 7, S. 24

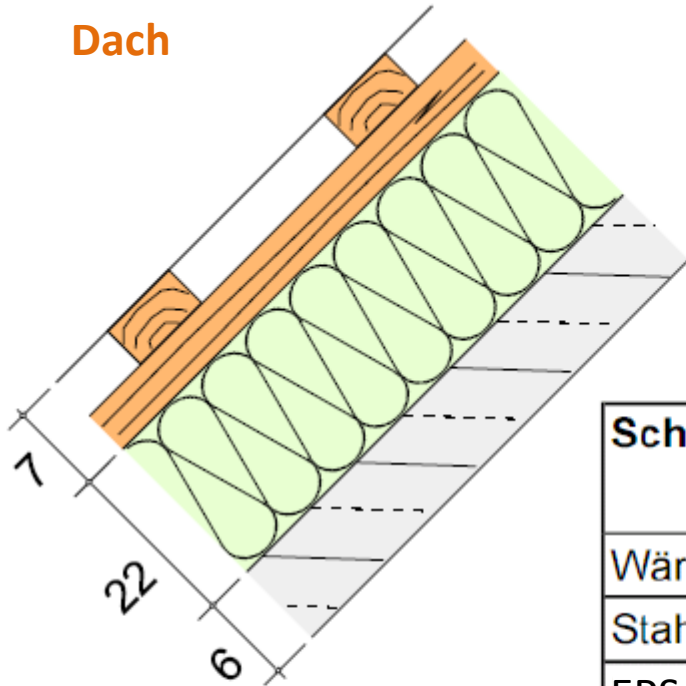
$$R_{T,wand} = 0,13 + 3,76 + 0,04 = 3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{wand} = \frac{1}{R_{T,wand}} = 0,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

D) Wie groß ist der **Wärmedurchgangswiderstand** R_T bzw. der **Wärmedurchgangskoeffizient** U ?

Dach



Schicht	ρ kg/m³	d m	λ_R W/(mK)	R m²K/W
Wärmeübergang, innen				0,100
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,06	2,50	0,024
EPS WLG 035	35	0,22	0,036	6,111
ruhende Luftschicht		0,07		0,16
Wärmeübergang, außen				0,040
$R_T =$				6,435

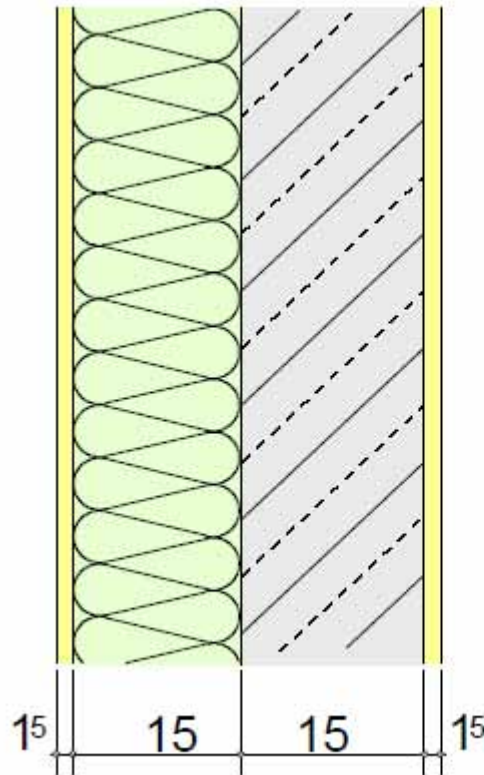
$1/R_T =$

U = 0,16

Übungsbeispiel 1 - Lösung

D) Wie groß ist der **Wärmedurchgangswiderstand** R_T bzw. der **Wärmedurchgangskoeffizient** U ?

Außenwand innen und außen gedämmt

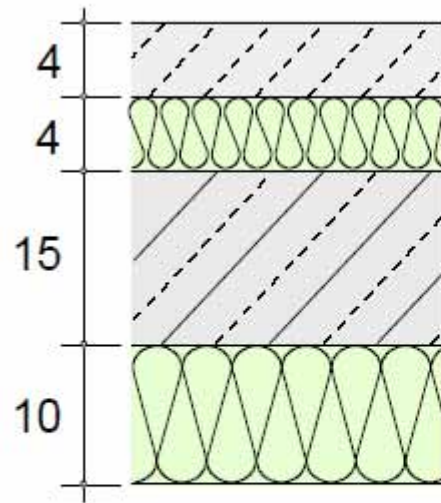


Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)	R m ² K/W
Wärmeübergang, innen				0,130
Kalkzementputz	1800	0,015	1,0	0,015
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,15	2,5	0,060
EPS WLG 040	35	0,15	0,041	3,659
Kunstharzputz	1100	0,015	0,70	0,021
Wärmeübergang, außen				0,040
			$R_T =$	3,925
$1/R_T =$			U = 0,25	

Übungsbeispiel 1 - Lösung

D) Wie groß ist der **Wärmedurchgangswiderstand** R_T bzw. der **Wärmedurchgangskoeffizient** U ?

Bodenplatte



Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)	R m ² K/W
Wärmeübergang, innen				0,170
Zementestrich	2000	0,04	1,4	0,029
EPS WLG 035	35	0,04	0,036	1,111
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,15	2,5	0,060
XPS WLG 040	35	0,10	0,041	2,439
Wärmeübergang, außen				0,000
$R_T =$				3,809

$1/R_T =$

U = 0,26

Übungsbeispiel 1 - Lösung

E) Berechnen Sie für das Dach und die Außenwand die erforderliche Dämmschichtdicke, so dass der U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nicht überschritten wird.

Bauteiloptimierung

Optimierung der Dämmschichtdicke

Ziel: $U = 0,15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ 1. Dach
2. Außenwand

$$U_{\text{soll}} = 0,15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \rightarrow R_{T,\text{soll}} = \frac{1}{0,15} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 6,67 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

1. Dach

$$R_{T,\text{Dach},15^\circ} = 6,44 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad \text{vgl. D)}$$

$$\rightarrow \Delta R = R_{T,\text{soll}} - R_{T,\text{Dach},15^\circ} = 6,67 - 6,44 \\ = 0,23 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\rightarrow \Delta R = \frac{\Delta d}{\lambda} \rightarrow \Delta d = \Delta R \cdot \lambda \\ = 0,23 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot 0,036 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ = 0,008 \text{ m} \\ = 8 \text{ mm}$$

$\rightarrow$ die erforderliche Dämmschichtdicke ist $0,22 \text{ m} + 0,008 \text{ m} \rightarrow 23 \text{ cm}$

2. Außenwand

$$R_{T,\text{AW},15^\circ} = 3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad \text{vgl. D)}$$

$$\rightarrow \Delta R = R_{T,\text{soll}} - R_{T,\text{AW},15^\circ} = 6,67 - 3,93 \\ = 2,74 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\rightarrow \Delta R = \frac{\Delta d}{\lambda} \rightarrow \Delta d = \Delta R \cdot \lambda \\ = 2,74 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot 0,041 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \\ = 0,11 \text{ m}$$

$\rightarrow$ die erforderliche Dämmschichtdicke ist $0,15 \text{ m} + 0,11 \text{ m} \rightarrow 26 \text{ cm}$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

F) Welche **Temperaturgradienten** sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)? Welche **Temperaturen** sind zwischen den Schichten und an den Oberflächen zu erwarten?

$$T_i = 20^{\circ}\text{C}, T_e = -10^{\circ}\text{C} \rightarrow \Delta T_{\text{ges}} = 30\text{ K}$$

$$\begin{aligned} q &= U \cdot \Delta T_{\text{ges}} \Rightarrow \\ &= \frac{1}{R_T} \cdot \Delta T_{\text{ges}} \end{aligned} \quad \begin{aligned} q_{\text{Bodenpl.}} &= \frac{1}{3,81 \frac{\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{ K} = 7,87 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\ q_{\text{Wand}} &= 0,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 30\text{ K} = 7,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\ q_{\text{Dach}} &= \frac{1}{6,44 \frac{\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{ K} = 4,66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

F) Welche **Temperaturgradienten** sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)? Welche **Temperaturen** sind zwischen den Schichten und an den Oberflächen zu erwarten?

Dach

$$\Delta T_{se} = q \cdot R_{se} =$$

$$\Delta T_{luft} = q \cdot R_{luft} =$$

$$\Delta T_{dämm} = q \cdot R_{dämm} = 4,66 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot$$

$$\Delta T_{beton} = q \cdot R_{beton} =$$

$$\Delta T_{si} = q \cdot R_{si} =$$

$$\begin{aligned} & \cdot 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,2 \text{ K} \quad \begin{array}{l} \swarrow T_{luft} = 20^{\circ}\text{C} \\ \searrow T_{si} = 19,8^{\circ}\text{C} \end{array} \\ & \cdot 0,16 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,7 \text{ K} \quad \begin{array}{l} \swarrow T_{L10} = 19,1^{\circ}\text{C} \\ \searrow T_{D/B} = -9,4^{\circ}\text{C} \end{array} \\ & \cdot 6,11 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 28,5 \text{ K} \\ & \cdot 0,024 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,1 \text{ K} \quad \begin{array}{l} \swarrow T_{se} = -9,5^{\circ}\text{C} \\ \searrow T_{luft} = -10^{\circ}\text{C} \end{array} \\ & \cdot 0,10 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,5 \text{ K} \\ & \underline{30 \text{ K}} \end{aligned}$$

Übungsbeispiel 1 - Lösung

F) Welche **Temperaturgradienten** sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)? Welche **Temperaturen** sind zwischen den Schichten und an den Oberflächen zu erwarten?

Bodenplatte

$$\Delta T_{si} = q \cdot R_{si} =$$

$$\Delta T_{ze} = q \cdot R_{ze} =$$

$$\Delta T_{D1} = q \cdot R_{D1} =$$

$$\Delta T_B = q \cdot R_B =$$

$$\Delta T_{D2} = q \cdot R_{D2} =$$

$$\Delta T_{nse} = q \cdot R_{se} =$$

$$7,87 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 1,3 \text{ K} \quad \begin{matrix} T_{\text{Luft}} = 20^{\circ}\text{C} \\ T_{si} = 18,7^{\circ}\text{C} \end{matrix}$$

$$0,029 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,2 \text{ K} \quad \begin{matrix} T_{ze/0} = 18,5^{\circ}\text{C} \end{matrix}$$

$$1,111 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 8,7 \text{ K} \quad \begin{matrix} T_{D1/B} = 9,8^{\circ}\text{C} \end{matrix}$$

$$0,060 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,5 \text{ K} \quad \begin{matrix} T_{B/D2} = 9,3^{\circ}\text{C} \end{matrix}$$

$$2,439 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 19,2 \text{ K} \quad \begin{matrix} T_{se} = 40,9^{\circ}\text{C} \end{matrix}$$

$$0,00 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0 \text{ K} \quad \begin{matrix} T_{se} = 40,9^{\circ}\text{C} \\ T_{er} = -9,9^{\circ}\text{C} \end{matrix}$$

29,9 K $\approx 0,1$ durch

Übungsbeispiel 1 - Lösung

F) Welche **Temperaturgradienten** sind an den Grenzen zwischen den einzelnen zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)
Temperaturen sind zwischen den Schichten und an den Oberflächen

Außenwand hier alternativer Rechenweg

$$\text{statt } q = \frac{1}{R_T} \cdot \Delta T_{gs} \rightarrow \Delta T_n = q \cdot R_n$$

$$\Rightarrow \Delta T_n = \frac{R_n}{R_T} \cdot \Delta T_{gs}$$

ACHTUNG: Die Gradienten innerhalb der jeweiligen Materialschichten entsprechen der aufengedämmten Variante
 ABER jetzt kommt für den Temperaturverlauf die Materialanordnung zum Tragen.

außen gedämmt

$$\begin{aligned} \Delta T_{Si} &= \frac{0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{K} = 1\text{K} & T_{\text{Luft}} &= 20^{\circ}\text{C} \\ & & T_{Si} &= 19^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{K2} &= \frac{0,015 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{K} = 0,1\text{K} & & \\ & & T_{K2/B} &= 18,9^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{Beton}} &= \frac{0,060 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{K} = 0,5\text{K} & & \\ & & T_{B/Dämm} &= 18,4^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{Dämmung}} &= \frac{3,659 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{K} = 27,9\text{K} & & \\ & & T_{\text{Dämm/KH}} &= -9,5^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{KH-Putz}} &= \frac{0,021 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{K} = 0,2\text{K} & & \\ & & T_{\text{KH-Putz}} &= -9,7^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{Se} &= \frac{0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}{3,93 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \cdot 30\text{K} = 0,3\text{K} & T_{\text{Luft}} &= -10^{\circ}\text{C} \\ & & \Sigma 30\text{K (v)} & \end{aligned}$$

innen gedämmt

$$\begin{aligned} \Delta T_{Si} &= 1\text{K} & T_{\text{Luft}} &= 20^{\circ}\text{C} \\ & & T_{Si} &= 19^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{K2} &= 0,1\text{K} & & \\ & & T_{K2/Da} &= 18,9^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{Dämmung}} &= 27,9\text{K} & & \\ & & T_{\text{Dämm/Beton}} &= -9^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{Beton}} &= 0,5\text{K} & & \\ & & T_{\text{Beton/KH-Putz}} &= -9,5^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{\text{KH-Putz}} &= 0,2\text{K} & & \\ & & T_{Se} &= -9,7^{\circ}\text{C} \\ \Delta T_{Se} &= 0,3\text{K} & T_{\text{Luft}} &= -10^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$