
Bauphysik

Wärme: Wärmeschutz nach 4108-2

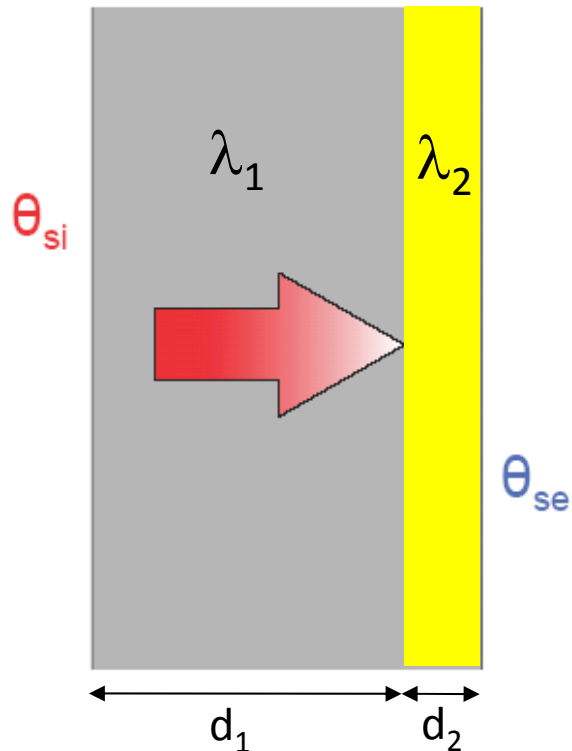
Prof. Dr.-Ing. Petra Rucker-Gramm

Vorlesungsunterlagen nur für studentische Zwecke. Eine Weitergabe oder Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur nach schriftlicher Genehmigung durch die Verfasserin erlaubt.

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

DEUTSCHE NORM		Februar 2013
	DIN 4108-2	
ICS 91.120.10	Ersatz für DIN 4108-2:2003-07	
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz Thermal protection and energy economy in buildings – Part 2: Minimum requirements to thermal insulation Protection thermique et économie d'énergie dans la construction immobilière – Partie 2: Exigences minimales à l'insolation thermique		

Wärmedurchlasswiderstand R für mehrschichtige Bauteile



θ_s Oberflächentemperaturen
innen (i), außen (e)

Wärmedurchlasswiderstand R für eine Schicht

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \text{in} \quad \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Wärmedurchlasswiderstand R für mehrere Schichten

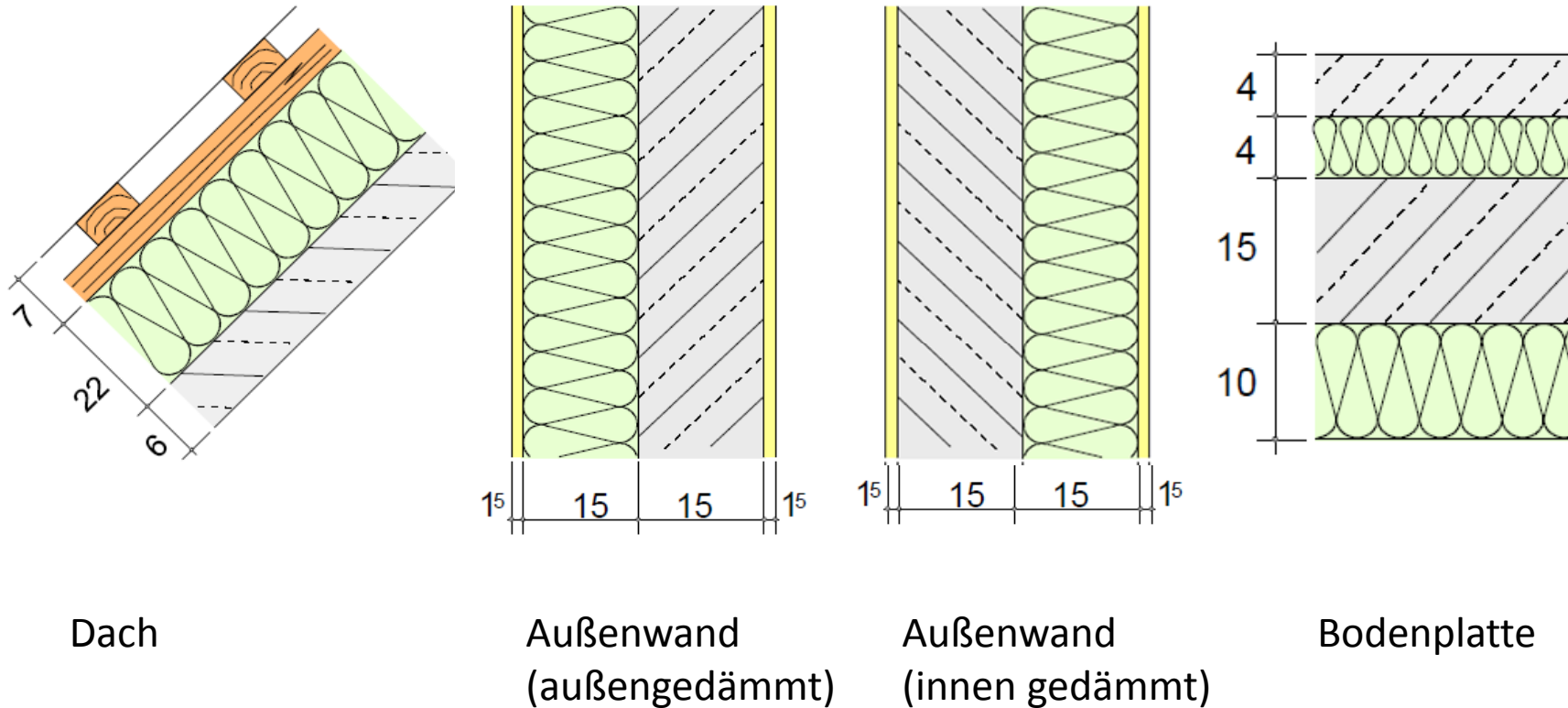
$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad \text{in} \quad \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

NICHT:

~~$$R = \frac{(d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n)}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n)} \quad \text{in} \quad \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$~~

Beispiel Wärmedurchlasswiderstand und Temperaturgradienten

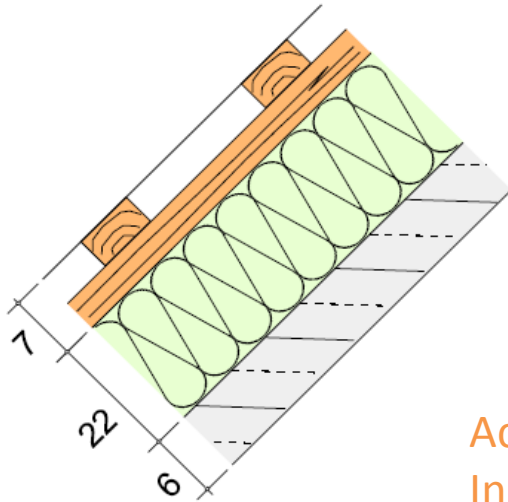
Aufgabenstellung



- 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.

Beispiel Wärmedurchlasswiderstand und Temperaturgradienten

Besonderheit Luftschichten



Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)	R m ² K/W
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,06	2,50	...
PS-Hartschaum WLG 035	35	0,22	...	...
ruhende Luftschicht		0,07		0,16



Achtung:

In Luftschichten findet im Gegensatz zu Feststoffen neben der Wärmeleitung zu einem erheblichen Teil auch Wärmestrahlung statt.

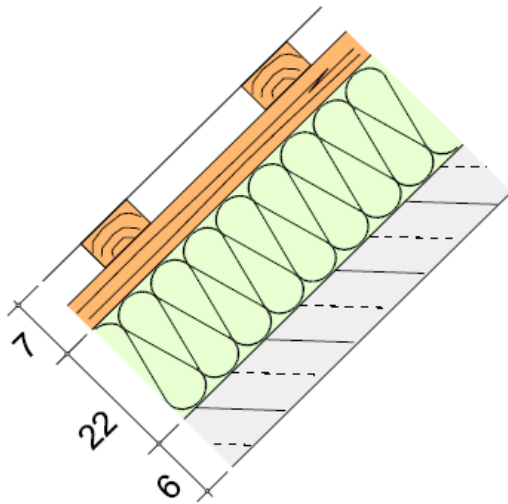
Für ruhende Luftschichten werden Wärmedurchlasswiderstände gemäß DIN EN ISO 6946, Tabelle 2 verwendet:

Dicke der Luftschicht mm	Wärmedurchlasswiderstand m ² · K/W Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

ANMERKUNG Zwischenwerte können mittels linearer Interpolation ermittelt werden.

Beispiel Wärmedurchlasswiderstand und Temperaturgradienten

Besonderheit Luftschichten



NICHT:

$\lambda = 0,025 \text{ W/(mK)}$ aus DIN EN ISO 10456

$d = 0,07 \text{ m}$

$\rightarrow R = d/\lambda = 0,07/0,025 = 2,8 \text{ m}^2\text{K/W}$

DA HIER EINFLUSS KONVEKTION UND STRAHLUNG NICHT BERÜCKSICHTIGT!

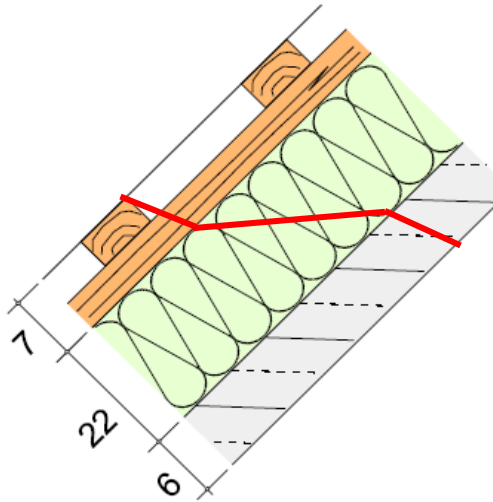
Für ruhende Luftschichten werden Wärmedurchlasswiderstände gemäß DIN EN ISO 6946, Tabelle 2 verwendet:

Dicke der Luftschicht mm	Wärmedurchlasswiderstand $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

ANMERKUNG Zwischenwerte können mittels linearer Interpolation ermittelt werden.

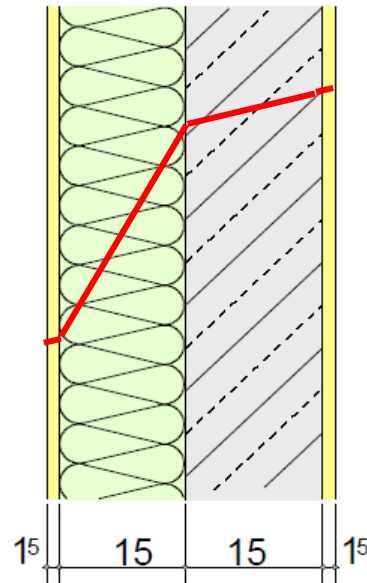
Beispiel Wärmedurchlasswiderstand und Temperaturgradienten

Aufgabenstellung



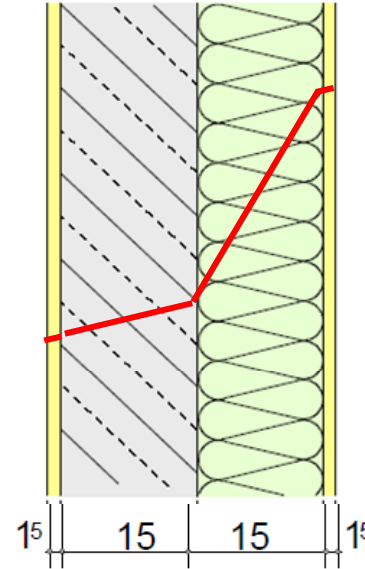
Dach

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

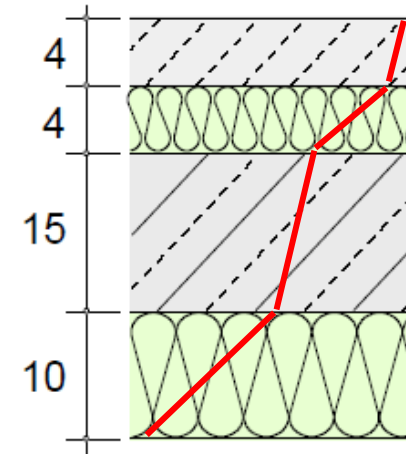


Außenwand
(außengedämmt)

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



Außenwand
(innen gedämmt)



Bodenplatte

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

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

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

DEUTSCHE NORM		Februar 2013
	DIN 4108-2	DIN
ICS 91.120.10	Ersatz für DIN 4108-2:2003-07	
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz		
Thermal protection and energy economy in buildings – Part 2: Minimum requirements to thermal insulation		
Protection thermique et économie d'énergie dans la construction immobilière – Partie 2: Exigences minimales à l'insolation thermique		

Anforderungen an den Mindestwärmeschutz erfüllt?

→ s. DIN 4108-2:2013, Kapitel 5.1.2, Seite 14 ff

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

5.1 Mindestwärmeschutz flächiger Bauteile

Anforderungen an homogene Bauteile (Abschnitt 5.1.2)

Achtung, hier Unterscheidung Massiv- oder Leichtbauweise?:

- A) Grenzwerte für Einzelbauteile
mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse $\geq 100 \text{ kg/m}^2$,
Achtung: Unterscheidung: niedrige Innenraumtemperaturen $< 19^\circ\text{C}$
- B) Anforderungen an leichte Bauteile, Rahmen- und Skelettbauarten $\leq 100 \text{ kg/m}^2$

mit:

flächenbezogene Masse:
 $m' = \rho \times d \quad [\text{kg/m}^2]$

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

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

Tabelle 3 — Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen

Spalte	1	2	3
Zelle	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlass- widerstand 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 bekrleichbaren 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	

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

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

Tabelle 3 — Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen

Spalte	1	2	3
Zelle	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils ^b <i>R</i> in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
5	Bauteile an Treppenträumen		
5.1		Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tabelle 3 erfüllen	0,07
5.2		Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tabelle 3 erfüllen.	0,25
5.3		oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraumes	wie Bauteile beheizter Räume
6	Bauteile zwischen beheizten Räumen		
6.1		Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen	0,07
6.2		Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35
^a Vermeidung von Fußkälte. ^b bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand ^c bei niedrig beheizten Räumen $0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$			

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

Tabelle 3 — Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen

Spalte	1	2	3
Zelle	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils ^b R 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 Abseltenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90
3.3		zu nicht beheizten Räumen, zu bekrlehbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,90
3.4		zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseltenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

B) Leichte Bauteile! $\leq 100 \text{ kg/m}^2$

5.1.2.2 Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse $m' < 100 \text{ kg/m}^2$

Der Wärmedurchlasswiderstand ein- und mehrschaliger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse von $m' < 100 \text{ kg/m}^2$ muss mindestens $R = 1,75 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ betragen.

d.h. bei Festlegung der Anforderung auf Bauweise und Innenraumtemperaturen achten

!!! Anforderungen variieren!!!

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

- Grundlagen
- Ausführungshinweise
- Anforderungen

→ min. R (SOLL)

Wärmedurchlass-
widerstand R

IST?

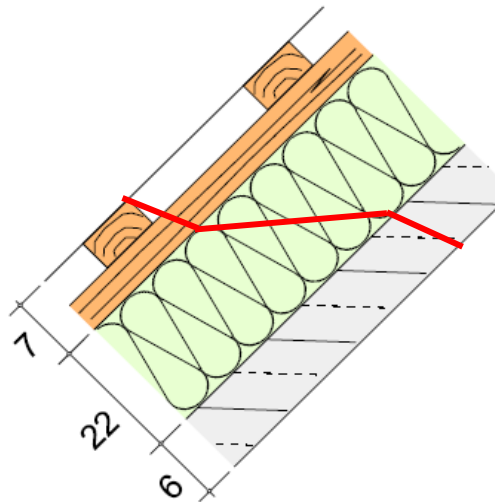
DIN EN ISO 6946: Berechnungsverfahren

→ vorh. R
(IST)

λ aus DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456: Bemessungswerte

Beispiel Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2

Aufgabenstellung

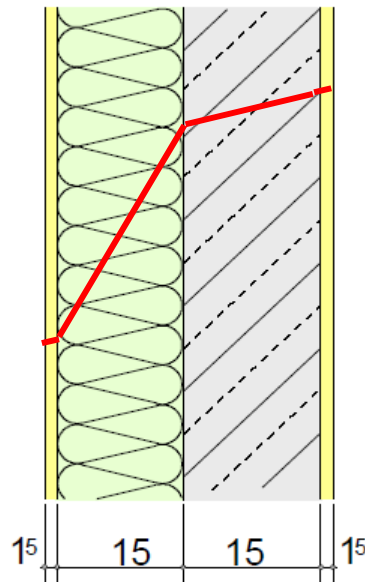


Dach

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

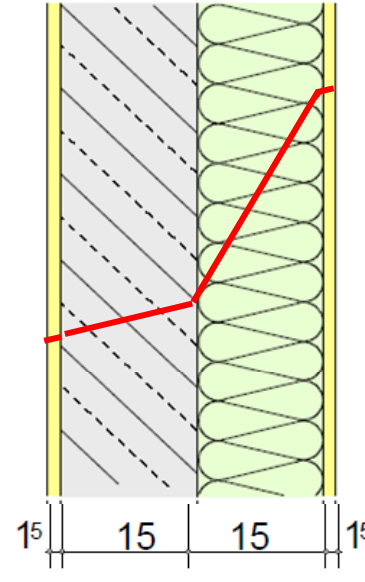
flächenbezogene Masse $m' = \rho \times d$

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



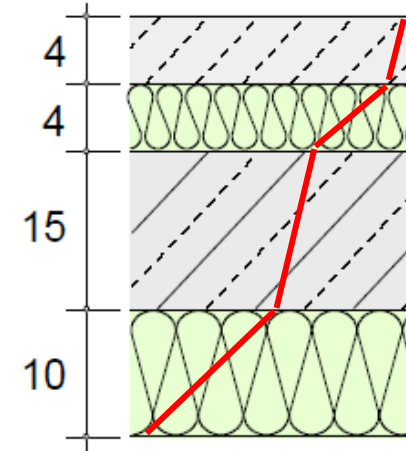
Außenwand
(außengedämmt)

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



Außenwand
(innen gedämmt)

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



Bodenplatte

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

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

Beispiel DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

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

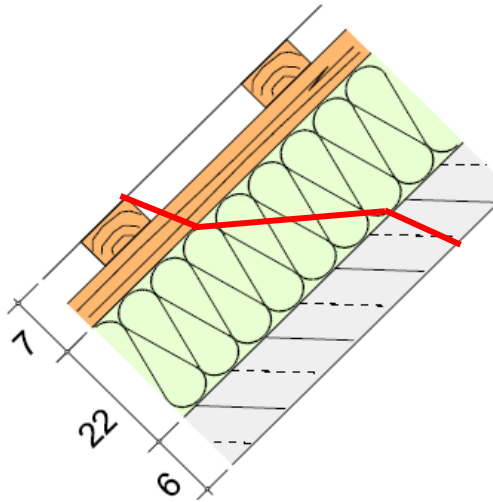
Tabelle 3 — Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen

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 bekrleichbaren 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	

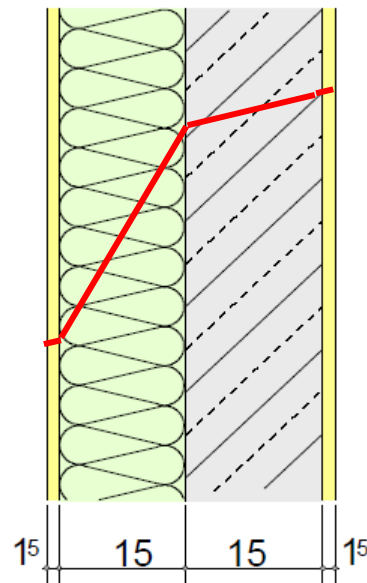


Beispiel Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2

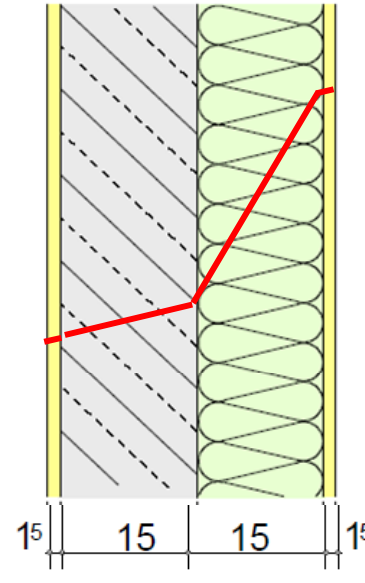
Aufgabenstellung



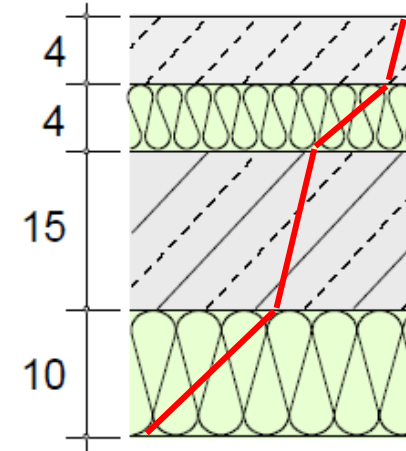
Dach



Außenwand
(außengedämmt)



Außenwand
(innen gedämmt)



Bodenplatte

IST:

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



SOLL:

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

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



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

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

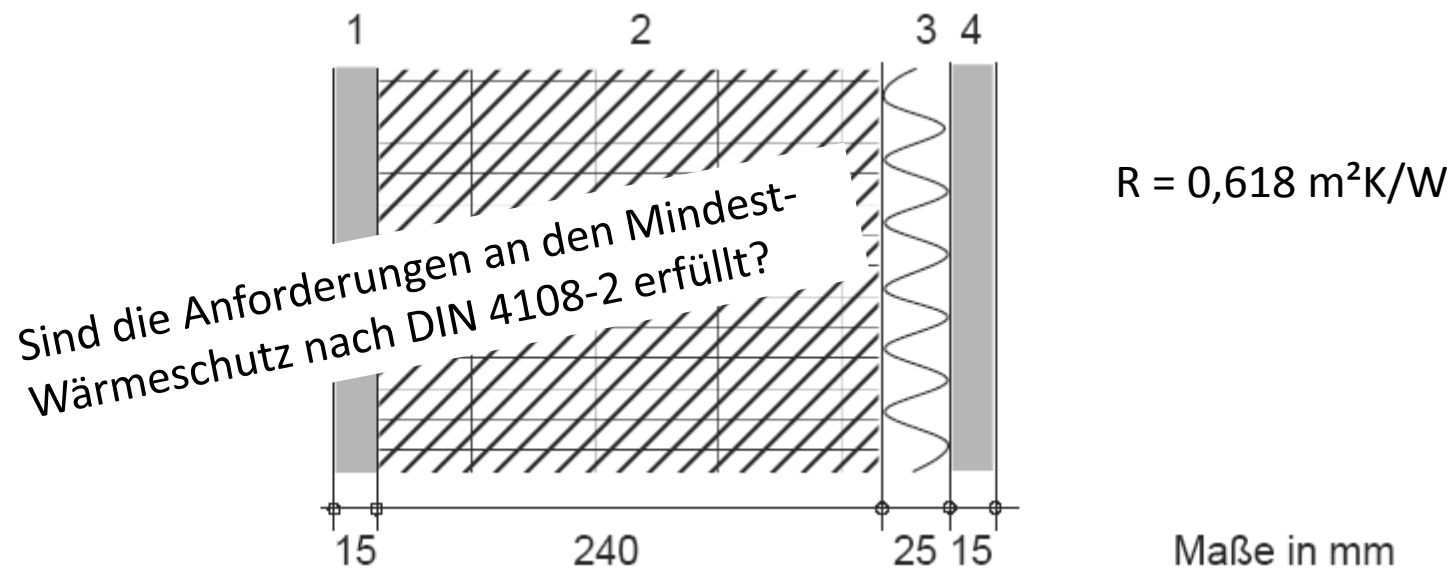


$$R = 0,9 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Beispiel: Wärmeschutznachweis

Mehrschichtige Außenwand - Aufgabenstellung

- ① Innenputz aus Gips ohne Zuschlag
- ② Mauerwerk aus Hochlochziegel $\rho_R = 1800 \text{ kg/m}^3$
- ③ Wärmedämmung aus Holzwolleleichtbauplatten (WW) DIN EN 13168, Kategorie 1, Nennwert $\lambda_D = 0,075 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- ④ Außenputz aus Kalkzementmörtel



Beispiel: Wärmeschutznachweis

R für die Außenwand "bauteil" :

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\ &= 0,029 + 0,296 + 0,316 + 0,015 \\ &= 0,656 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \end{aligned}$$

Mindestwärmeschutznachweis nach DIN 4108-2
erfüllt ?

$$R_{\text{IST}} = 0,656 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{SOLL}} = ?$$

Beispiel: Wärmeschutznachweis

schwer oder leicht

$$m' = \rho \cdot d = 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,24 \text{ m}$$

$$\stackrel{\uparrow}{\text{Mauerwerk}} = 432 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} > 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$\Rightarrow$ DIN 4108-2, Tabelle 2 f. schwere Bauteile gilt (S.15)

$$R_{\text{soll}} = 1,2 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} > R_{\text{ist}} = 0,656 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$\Downarrow$ Wärmeschutznachweis ist nicht erfüllt!

Beispiel: Dimensionierung der Dämmung

Um welche Dicke Δd muss die Dämmschicht erhöht werden, um den Zielwert des Wärmedurchlasswiderstands zu erreichen?

→ noch fehlender Wärmedurchlasswiderstand ΔR

$$\Delta R = R_{\text{SOLL}} - R_{\text{IST}} = 1,2 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} - 0,656 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,544 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

→ nötig Zusatzdicke des Dämmmaterials Δd

$$\Delta R = \frac{\Delta d}{\lambda} \rightarrow \Delta d = \Delta R \cdot \lambda = 0,544 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot 0,079 \frac{\text{W}}{\text{mK}} = \underline{0,043 \text{ m}}$$

→ erforderliche Dämmschichtdicke d

$$d = d_{\text{bestand}} + \Delta d = 0,025 \text{ m} + 0,043 \text{ m} = 0,068 \text{ m}$$

⇒ Wahl marktüblich 8cm gesamt
bzw 6cm zusätzlich 15cm, wenn am
Markt standardmäßig verfügbar

Beispiel: Dimensionierung der Dämmung

Ermitteln Sie das erforderliche λ , so dass bei einer Dämmschichtdicke von 2,5 cm der Zielwert für den Wärmedurchlasswiderstand R für das Bauteil erreicht wird.

Welche Wärmeleitfähigkeit muss bei der „Bestellung“ angegeben werden? (Achtung: Nennwert $\neq$ Bemessungswert)

In Frage kommende Materialien:

- Expandierter Polystyrolschaum EPS
- Extrudierter Polystyrolschaum XPS
- Mineralwolle MW

→ noch fehlender Wärmedurchlasswiderstand ΔR

$$\Delta R = R_{\text{Soll}} - R_{\text{Ist}} = 1,2 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} - 0,656 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,544 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

→ nötiger Wärmedurchlasswiderstand $R_{3,\text{neu}}$ (Dämmung)

$$R_{3,\text{neu}} = R_3 + \Delta R = 0,316 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 0,544 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,860 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

→ $\lambda_{3,\text{neu}}$

$$R_{3,\text{neu}} = \frac{d}{\lambda_{3,\text{neu}}} \rightarrow \lambda_{3,\text{neu}} = \frac{d}{R_{3,\text{neu}}} = \frac{0,025\text{m}}{0,860 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} = 0,029 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

ACHTUNG
BEMESSUNGSWERT λ_B

→ Umrechnung auf Nennwert λ_D , neu

Fußnote a: $\lambda_B = \lambda_D \cdot 1,03 \rightarrow \lambda_D = \frac{\lambda_B}{\text{„Faktor“}}$

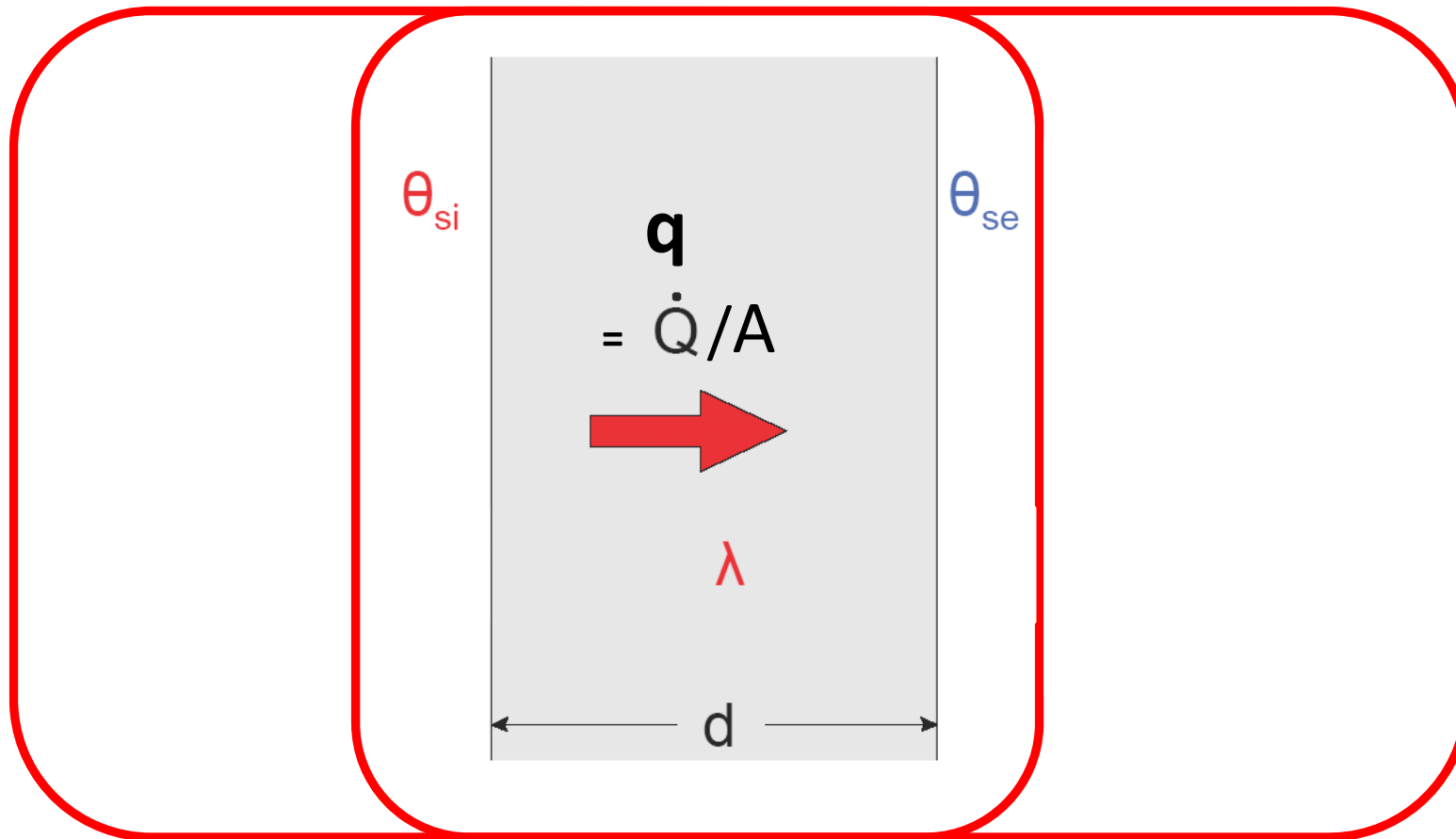
$$\lambda_D = \frac{0,029 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{1,03} = \underline{\underline{0,028 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}}$$

DIN 4108-2: Mindestanforderungen Wärmeschutz

- Anforderungen an das Bauteil im Hinblick auf die Durchlässigkeit von Wärmenergie (**Wärmeleitung**)
- Die Lage des Bauteils (Strahlung, Konvektion) spielt hierbei „keine“ Rolle

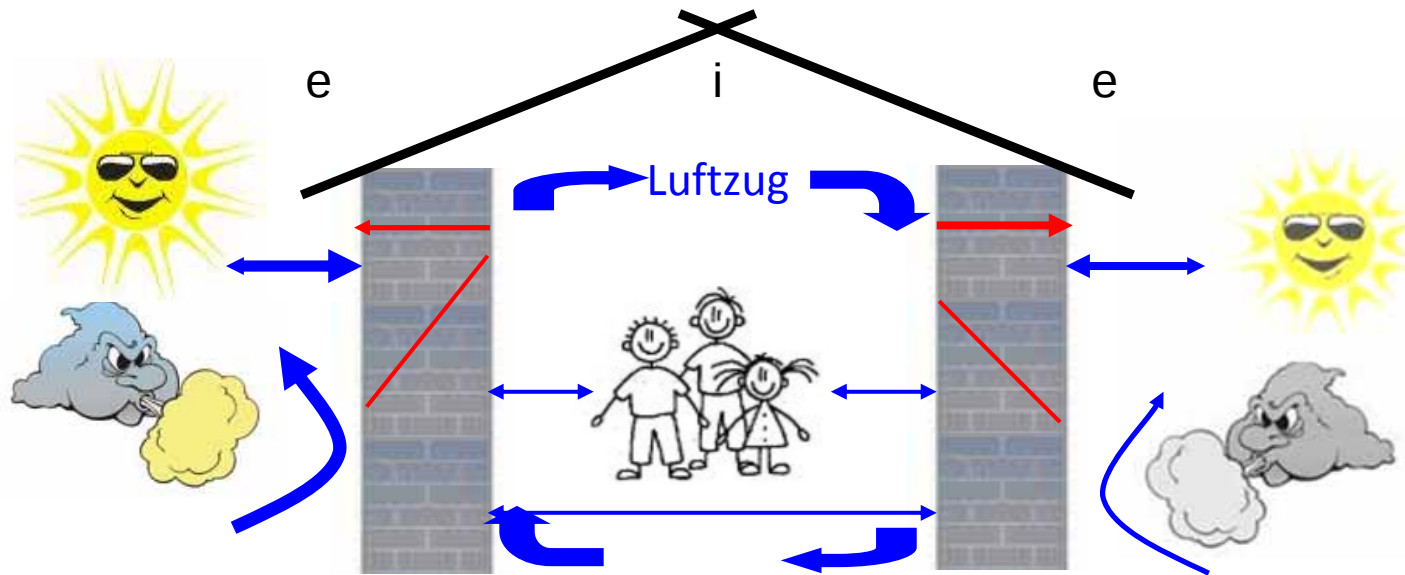
Wärmeübertragung von „Raum“ zu „Raum“

Wärmeübertragung von der Innenraumluft zur Außenluft



Wärmeübertragung von „Raum“ zu „Raum“

Wärmeübertragung von der Innenraumluft zur Außenluft



Winter: $\theta_i > \theta_e$

Leitung

Strahlung

Konvektion

→ Wärmeübergang

Wärmeübergang

- **Definition**

Wärmeübertragung zwischen Luft und Bauteiloberfläche.

d.h.: Außen- und Raumklima wirken über eine Grenzschicht auf die Bauteiloberfläche ein.

- **Einflussgrößen**

- Luftbewegung (Wärmekonvektion)
- Umgebungstemperaturen (Wärmestrahlung)

- **Berücksichtigung**

...durch entsprechende Übergangswiderstände berücksichtigt.

Wärmeübergangswiderstände

nach EN ISO 6946

Tabelle 1 — Konventionelle Wärmeübergangswiderstände

Wärmeübergangs- widerstand $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	Richtung des Wärmestromes		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

ANMERKUNG 1 Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte. Für die Angabe des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilkomponenten und in anderen Fällen, in denen von der Richtung des Wärmestromes unabhängige Werte gefordert werden oder die Richtung des Wärmestromes variieren kann, wird empfohlen, die Werte für den horizontalen Wärmestrom zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Die Wärmeübergangswiderstände beziehen sich auf Oberflächen, die mit der Luft in Berührung sind. Der Wärmeübergangswiderstand ist nicht anwendbar, wenn die Oberfläche ein anderes Material berührt.

nach DIN 4108-3

Außenseitig mit

- $0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ für alle Wärmestromrichtungen, wenn die Außenoberfläche an Außenluft grenzt (gilt auch für die Außenoberfläche von zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht nach DIN 1053-1);
- $0,08 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ für alle Wärmestromrichtungen, wenn die Außenoberfläche an belüftete Luftschichten grenzt (z. B. hinterlüftete Außenbekleidungen, belüftete Dachräume, belüftete Luftschichten in belüfteten Dächern);
- $0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ für alle Wärmestromrichtungen, wenn die Außenoberfläche an das Erdreich grenzt.

Bei innen liegenden Bauteilen ist zu beiden Seiten mit demselben Wärmeübergangswiderstand zu rechnen.

Wärmeübertragung

Wärmeübergang Innenoberfläche

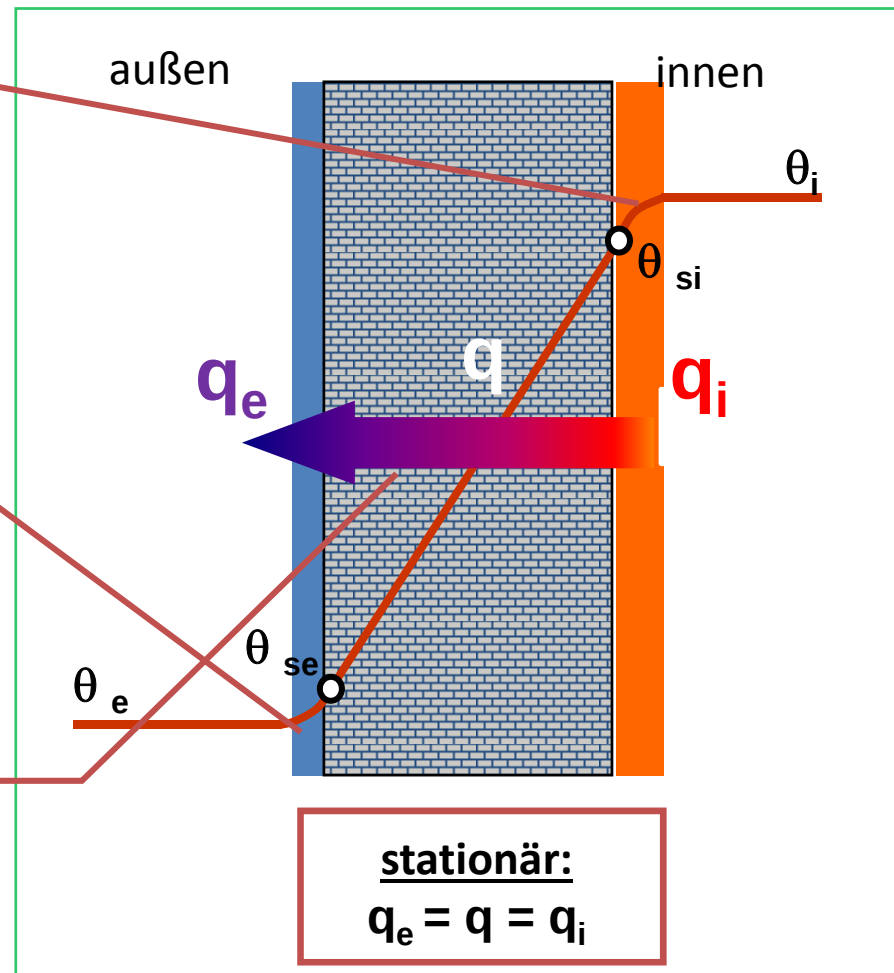
$$q_i = 1/R_{si} \cdot (\theta_i - \theta_{si})$$

Wärmeübergang Außenoberfläche

$$q_e = 1/R_{se} \cdot (\theta_{se} - \theta_e)$$

Wärmeleitung

$$q = \frac{1}{R} (\theta_{si} - \theta_{se}) = \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{d/\lambda}$$



Wärmeübertragung

Wärmeübergang Innenoberfläche

$$q_i = 1/R_{si} \cdot (\theta_i - \theta_{si})$$

Wärmeübergang Außenoberfläche

$$q_e = 1/R_{se} \cdot (\theta_{se} - \theta_e)$$

Wärmeleitung

$$q = \frac{(\theta_{si} - \theta_{se})}{R}$$

stationär:

$$q_e = q = q_i$$

$$q = \frac{(\theta_i - \theta_e)}{R_{si} + R + R_{se}}$$

Wärmedurchgangswiderstand
 $R_T [(\text{m}^2\text{K})/\text{W}]$

Wärmedurchgangs- WIDERSTAND R_T und –KOEFFIZIENT U

Wärmedurchgangswiderstand R_T
[m²K/W]

Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert
[W/m²K]

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

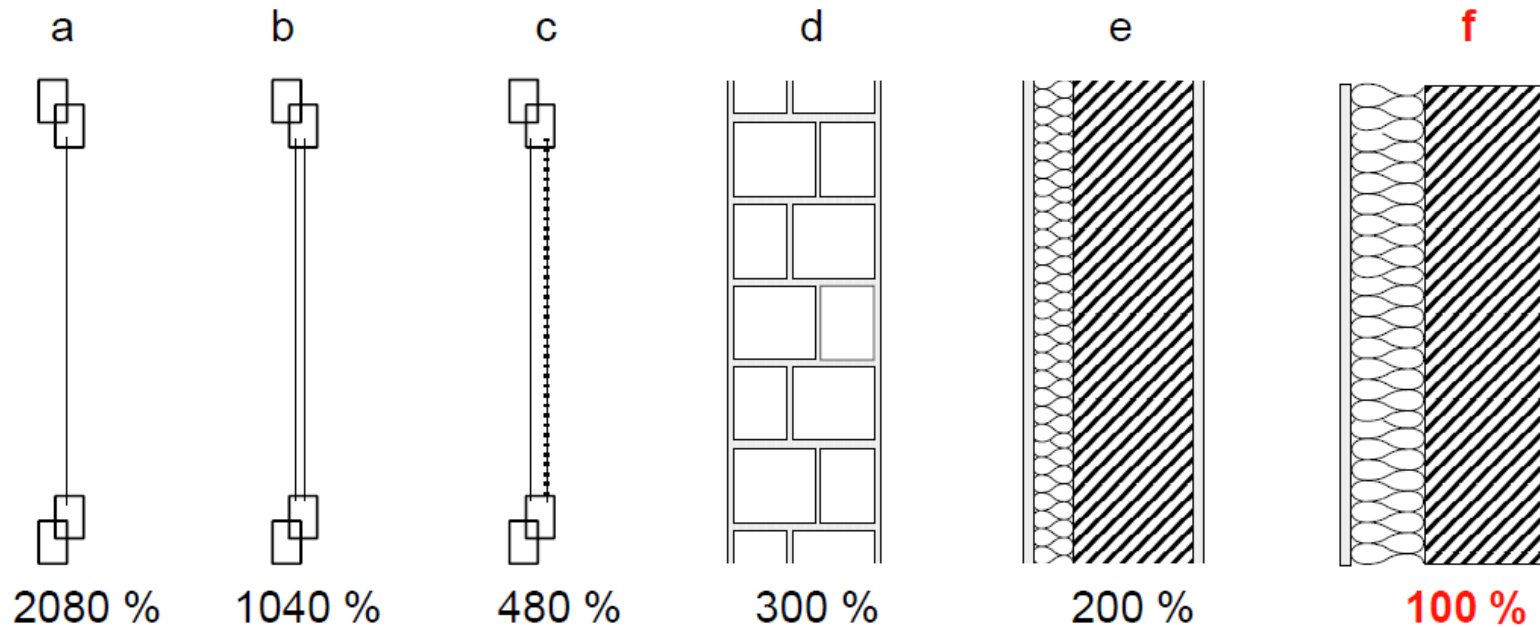
Wärmedurchlasswiderstand R [m²K/W]

Wärmestrom q [W/m²]

$$q = \frac{1}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$
$$\dots = U \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Transmissionswärmeverluste

Bauteile verschiedener Epochen im Vergleich



	U in W/m ² K
a Einfachglas	5,20
b Isolierglas	2,60
c Wärmeschutzglas	1,20
d LHLZ-MW (36,5 cm, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$)	0,75
e Maximalwert f. Einzelbauteile n. WSVO '95	0,50
f Niedrigenergiehaus (RAL / HEA-Standard)	≈ 0,25

Heizenergiebedarf

Faustformel zur Abschätzung des Heizenergiebedarfs je m² Bauteilfläche

$U\text{-Wert} \times 10 \hat{=}$ Liter Öl je m² Bauteilfläche und Jahr oder
m³ Erdgas je m² Bauteilfläche und Jahr

Beispiele:

Außenwand 24 cm dick,
aus schwerem Mauerstein

$U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \hat{=}$
 $18 \text{ l Öl}/(\text{m}^2 \cdot \text{Jahr})$ oder
 $18 \text{ m}^3 \text{ Erdgas}/(\text{m}^2 \cdot \text{Jahr})$

Außenwand 17,5 cm dick,
aus schwerem Mauerstein
mit 15 cm Wärmedämmung

$U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \hat{=}$
 $2,4 \text{ l Öl}/(\text{m}^2 \cdot \text{Jahr})$ oder
 $2,4 \text{ m}^3 \text{ Erdgas}/(\text{m}^2 \cdot \text{Jahr})$

Der U-Wert

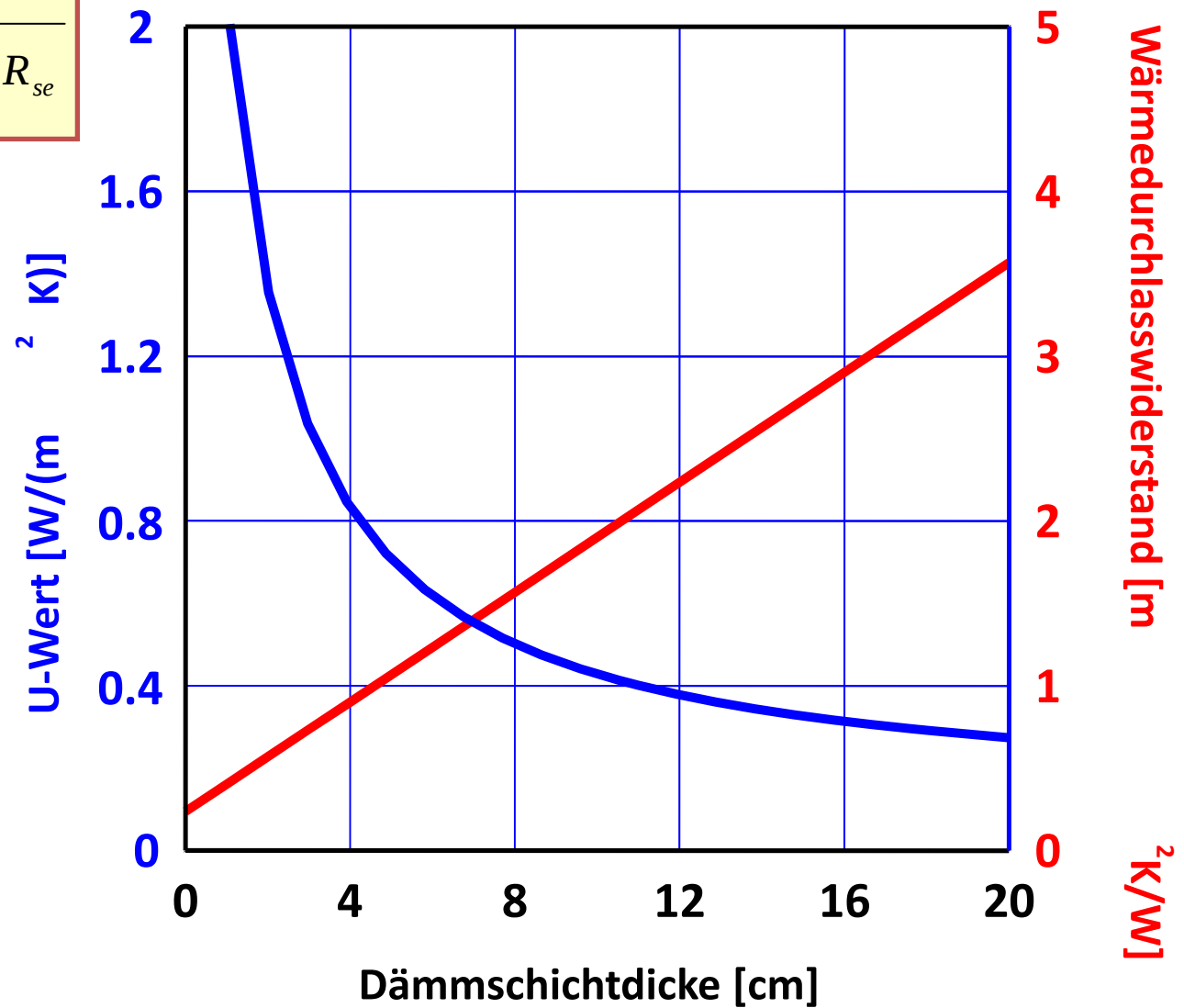
- **Wärmedurchgangswiderstand R_T** [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] bzw. Wärmedurchgangskoeffizient oder **U-Wert** [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$] sind ein wesentliches Merkmal des Wärmeschutzes.
- Beschreiben das Wärmedämmvermögen
- Definition:

Der Wärmedurchgangskoeffizient beschreibt, wieviel Energie in $\text{W}\cdot\text{s}$ je Sekunde bei einer Lufttemperaturdifferenz von 1 K pro m^2 durch ein Bauteil fließt

Der U-Wert: was macht noch Sinn?

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum_n \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se}}$$

$U_{\max} = ?$



Zusammenfassung relevanter Kenngrößen

Wärmedurchlasswiderstand $R = d / \lambda$

Wärmeübergangswiderstand R_s

$$R_{si} \text{ und } R_{se} \quad \text{in } m^2 \cdot K/W$$

Wärmedurchgangswiderstand R_T

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad \text{in } m^2 \cdot K/W$$

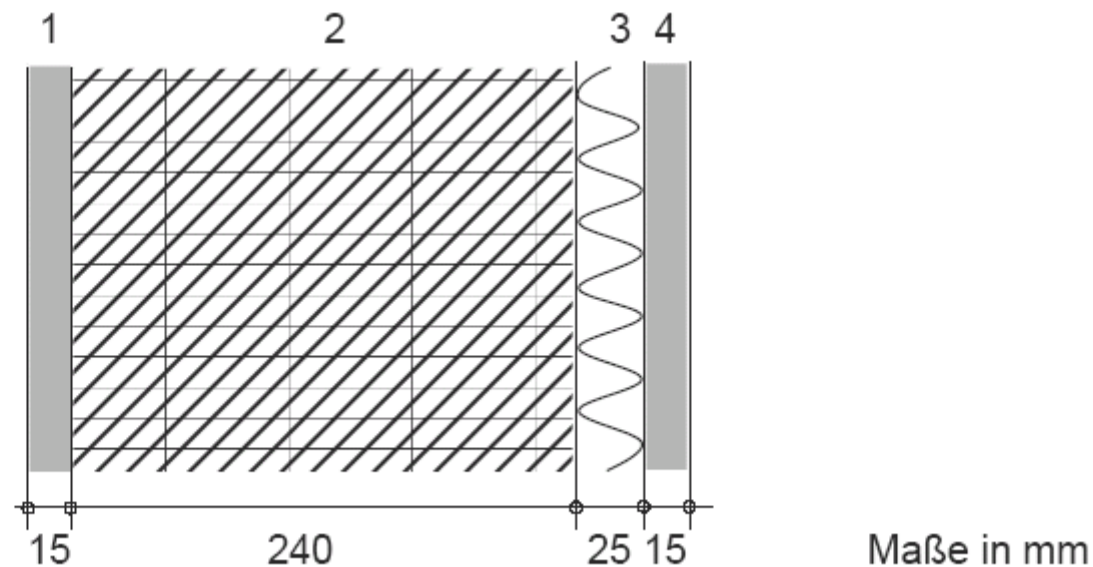
Wärmedurchgangskoeffizient U

$$U = 1/R_T \quad \text{in } W/(m^2 \cdot K)$$

Beispiel: Wärmeschutznachweis, R_T , U und Temperaturverteilung

Mehrschichtige Außenwand - Aufgabenstellung

- ① Innenputz aus Gips ohne Zuschlag
- ② Mauerwerk aus Hochlochziegel $\rho_R = 1800 \text{ kg/m}^3$
- ③ Wärmedämmung aus Holzwolleleichtbauplatten (WW) DIN EN 13168, Kategorie 1, Nennwert $\lambda_D = 0,075 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- ④ Außenputz aus Kalkzementmörtel



Beispiel: Wärmeschutznachweis, R_T , U und Temperaturverteilung

- A) Erfüllt der Wärmedurchlasswiderstand die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2?
- B) Wie groß ist der Wärmedurchgangswiderstand bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient der betrachteten Außenwand?
- C) Welche Temperaturgradienten sind an den Grenzen zwischen den einzelnen Schichten zu erwarten (Außenlufttemperatur: -10°C , Innenlufttemperatur: 20°C)?

	Schicht	d	λ	R_s, R_n	ΔT	θ
		m	W/(mK)	$\text{m}^2\text{K/W}$	K	$^\circ\text{C}$
	Wärmeübergang, innen					
1	Innenputz					
2	Mauerwerk					
3	Wärmedämmung					
4	Außenputz					
	Wärmeübergang, außen					
				$\sum R_n =$		$\text{m}^2\text{K/W}$
				$R_T =$		$\text{m}^2\text{K/W}$
				$U =$		$\text{W/m}^2\text{K}$

Beispiel: R_T , U

- B) Wie groß ist der Wärmedurchgangswiderstand bzw. der Wärmedurchgangskoeffizient der betrachteten Außenwand?

Berechnung des Wärmedurchgangswiderstands R_T

$$\begin{aligned} R_T &= R_{si} + R + R_{se} \\ &= 0,13 + 0,656 + 0,04 \\ &= 0,826 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \end{aligned}$$

mit R_{si}, R_{se} aus
DIN EN ISO 6946, Tab 1
Seite 24
 $R_{si} \rightarrow = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$
 $R_{se} \rightarrow = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{R_T} = \frac{1}{(R_{si} + R + R_{se})} \\ &= \frac{1}{0,826 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \\ &= 1,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \end{aligned}$$

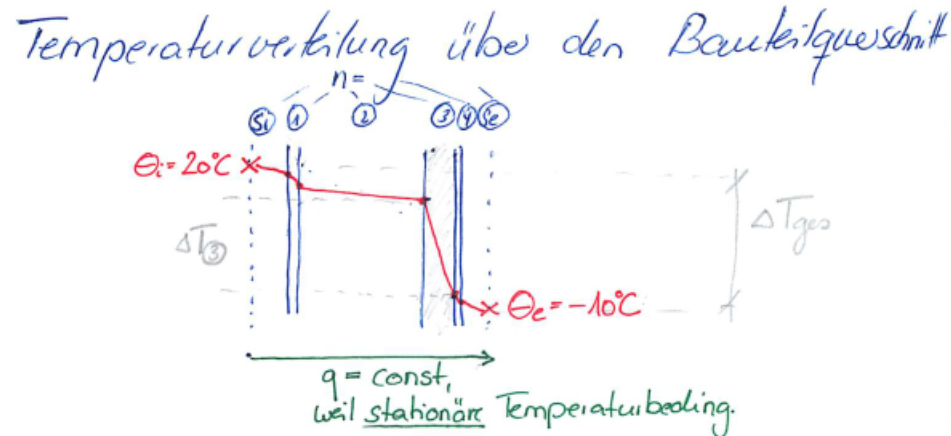
Beispiel: R_T , U

Übersicht wärmetechnische Kenngrößen

- R ... Wärmedurchlasswiderstand
 - ↳ Wärmeschutznachweis nach DIN 4108-2
- R_T ... Wärmedurchgangswiderstand
 - ↳ Temperaturverteilungen
- U ... Wärmedurchgangskoeffizient
 - ↳ wärmetechnische Nachweise nach Energieeinsparverordnung; Einschätzung der Transmissionswärmeverluste

Beispiel: Temperaturverteilung

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



$$\textcircled{1} \quad q = \frac{1}{R_T} \cdot (\Theta_i - \Theta_e)$$
$$\Delta T_{\text{ges}} = (20^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})) = 30 \text{ K}$$

$$\parallel \quad = U \cdot \Delta T_{\text{ges}} = 1,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \cdot 30 \text{ K} = 36,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\textcircled{2} \quad q_n = \frac{1}{R_n} \cdot \Delta T_n \quad \dots \text{Wärmestromdichte in der Schicht } n$$

$\rightarrow q$ ist insgesamt und in jeder Schicht gleich groß, WENN Temperaturrandbedingungen konstant bleiben (stationär)

$$\rightarrow \Delta T_n = q \cdot R_n$$

Beispiel: Temperaturverteilung

Berechnungsmöglichkeit 1

$$\Delta T = q \cdot R_n$$

Luftschicht innen: $\Delta T_{si} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,13 \frac{m^2K}{W} = 4,7K$

Innenputz: $\Delta T_{①} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,029 \frac{m^2K}{W} = 1,1K$

Mauerwerk: $\Delta T_{②} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,296 \frac{m^2K}{W} = 10,7K$

Wärmedämmung: $\Delta T_{③} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,316 \frac{m^2K}{W} = 11,5K$

Außenputz: $\Delta T_{④} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,015 \frac{m^2K}{W} = 0,5K$

Luftschicht außen: $\Delta T_{⑤} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,04 \frac{m^2K}{W} = 1,5K$

Kontrolle: $\Sigma 30K$

Berechnungsmöglichkeit 2

$$\frac{1}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) = \frac{1}{R_n} \cdot (\theta_{si} - \theta_{se})$$
$$\frac{1}{R_T} \cdot \Delta T_{ges} = \frac{1}{R_n} \cdot \Delta T_n$$
$$\Delta T_n = \frac{R_n}{R_T} \cdot \Delta T_{ges}$$

Luftschicht innen: $\Delta T_{si} = \frac{0,13 \frac{m^2K}{W}}{0,826 \frac{m^2K}{W}} \cdot 30K = 4,7K$

Innenputz: $\Delta T_{①} = \frac{0,029 \frac{m^2K}{W}}{0,826 \frac{m^2K}{W}} \cdot 30K = 1,1K$

usw.

Beispiel: Temperaturverteilung

Berechnungsmöglichkeit 1

$$\Delta T = q \cdot R_n$$

Luftschicht innen: $\Delta T_{si} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,13 \frac{m^2K}{W} = 4,7K$

Innenputz: $\Delta T_{①} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,029 \frac{m^2K}{W} = 1,1K$

Mauerwerk: $\Delta T_{②} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,296 \frac{m^2K}{W} = 10,7K$

Wärmedämmung: $\Delta T_{③} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,316 \frac{m^2K}{W} = 11,5K$

Außenputz: $\Delta T_{④} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,015 \frac{m^2K}{W} = 0,5K$

Luftschicht außen: $\Delta T_{⑤} = 36,3 \frac{W}{m^2} \cdot 0,04 \frac{m^2K}{W} = 1,5K$

Kontrolle: $\Sigma 30K$

Berechnungsmöglichkeit 2

$$\frac{1}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e) = \frac{1}{R_n} \cdot (\theta_{si} - \theta_{se})$$
$$\frac{1}{R_T} \cdot \Delta T_{ges} = \frac{1}{R_n} \cdot \Delta T_n$$
$$\Delta T_n = \frac{R_n}{R_T} \cdot \Delta T_{ges}$$

Luftschicht innen: $\Delta T_{si} = \frac{0,13 \frac{m^2K}{W}}{0,826 \frac{m^2K}{W}} \cdot 30K = 4,7K$

Innenputz: $\Delta T_{①} = \frac{0,029 \frac{m^2K}{W}}{0,826 \frac{m^2K}{W}} \cdot 30K = 1,1K$

usw.

Beispiel: Temperaturverteilung

	Schicht	d	λ	R_s, R_n	ΔT	θ
		m	W/(mK)	m²K/W	K	°C
	Wärmeübergang, innen			0,13	4,7	20
1	Innenputz	0,015	0,51	0,029	1,1	15,3
2	Mauerwerk	0,24	0,81	0,296	10,7	14,2
3	Wärmedämmung	0,025	0,079	0,316	11,5	3,5
4	Außenputz	0,015	1,0	0,015	0,5	-8,0
	Wärmeübergang, außen			0,04	1,5	-8,5
						-10

$$\Sigma R_n = 0,656 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_T = 0,826 \text{ m}^2\text{K/W}$$

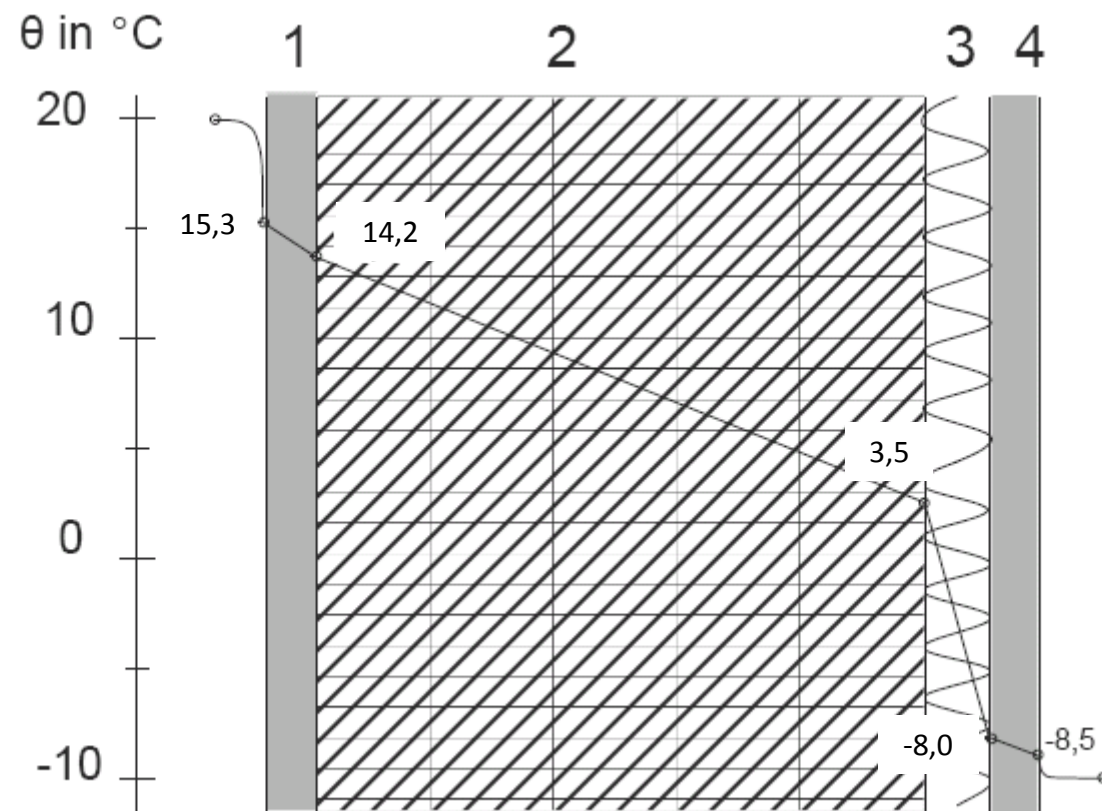
$$U = 1,21 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned} &= 20 - \Delta T_{si} = 20 - 4,7 = 15,3^\circ\text{C} \\ &= 15,3 - \Delta T_1 = 15,3 - 1,1 = 14,2^\circ\text{C} \\ &= 14,2 - \Delta T_2 = 14,2 - 10,7 = 3,5^\circ\text{C} \\ &= 3,5 - \Delta T_3 = 3,5 - 11,5 = -8^\circ\text{C} \\ &= -8 - \Delta T_4 = -8 - 0,5 = -8,5^\circ\text{C} \\ &= -8,5 - \Delta R_{se} = -8,5 - 1,5 = -10^\circ\text{C} \end{aligned}$$

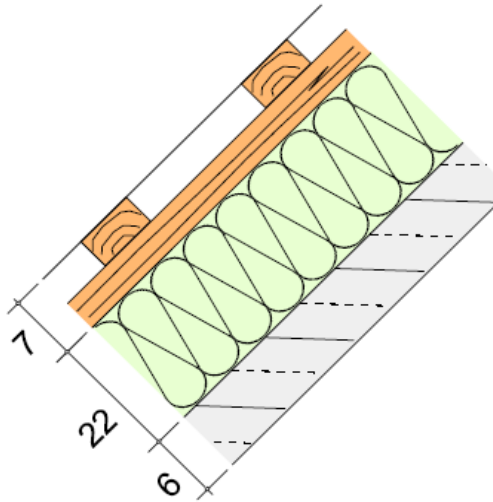
$\rightarrow$ Wärmeschutznachweis
 $\rightarrow$ Temperaturverteilungen
 $\rightarrow$ EnEV-Berechnungen

Beispiel: Temperaturverteilung

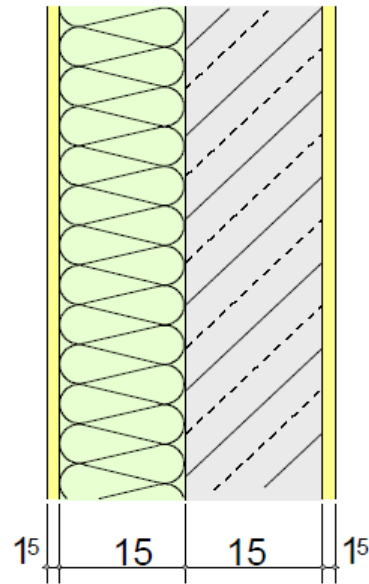
Grafische Darstellung des berechneten Temperaturverlaufs:



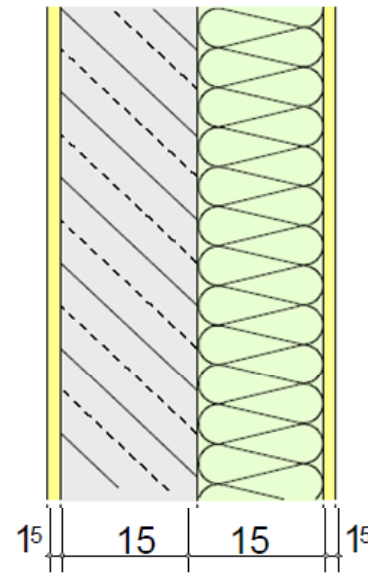
Übungsbeispiel 1



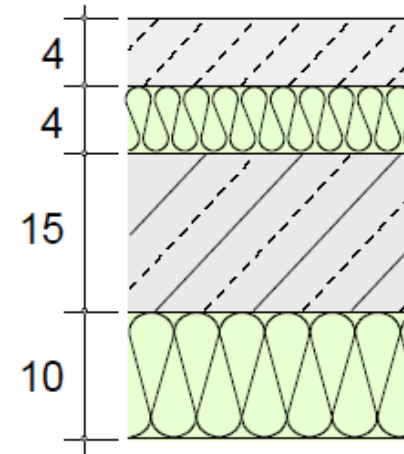
Dach



Außenwand
(außengedämmt)



Außenwand
(innen gedämmt)



Bodenplatte

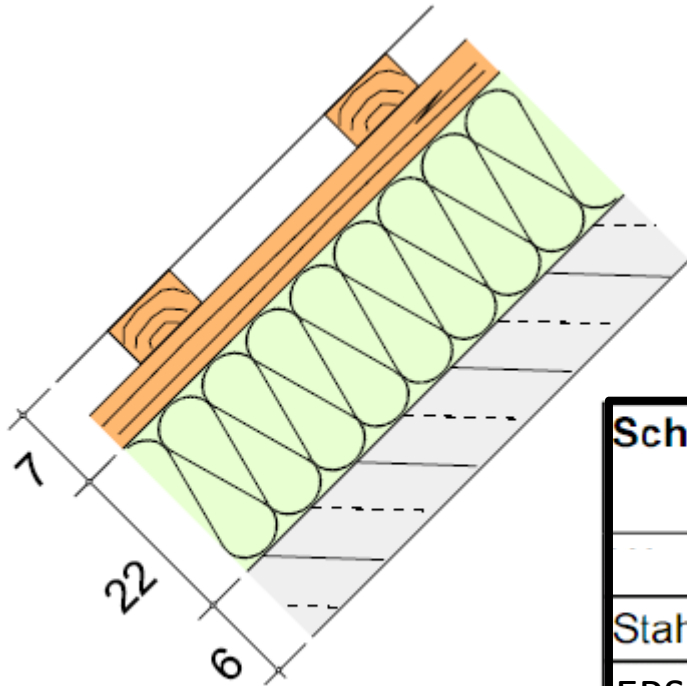
Übungsbeispiel 1

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

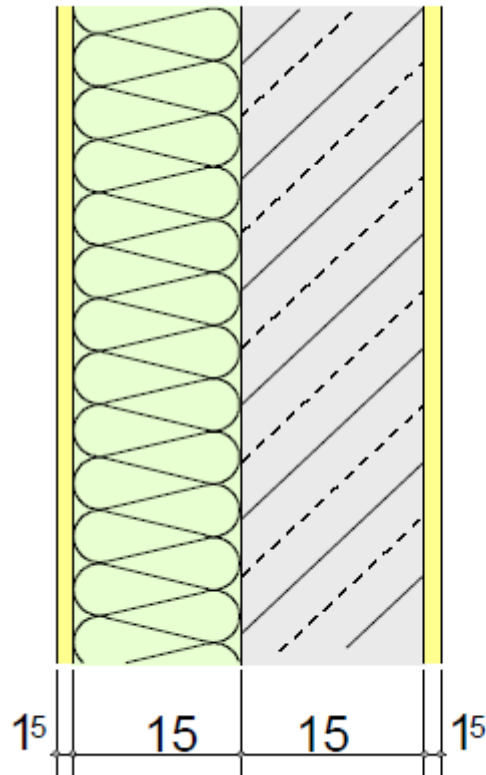
** DIN EN ISO 10456:2010

*** 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	*

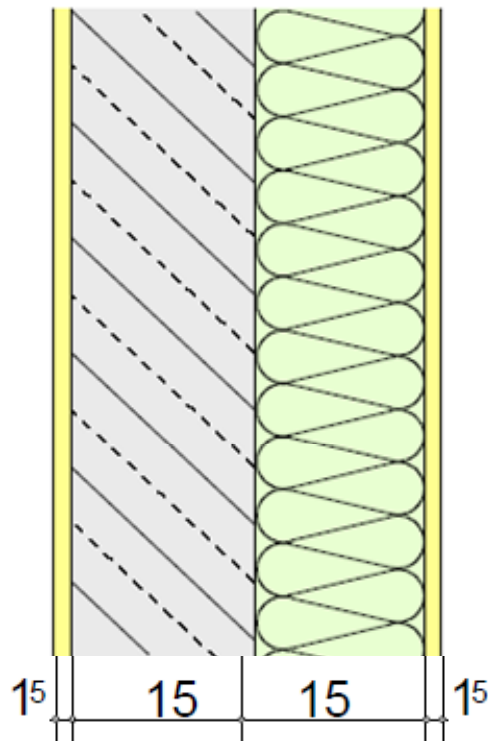
* DIN 4108-4:2017

** 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	*

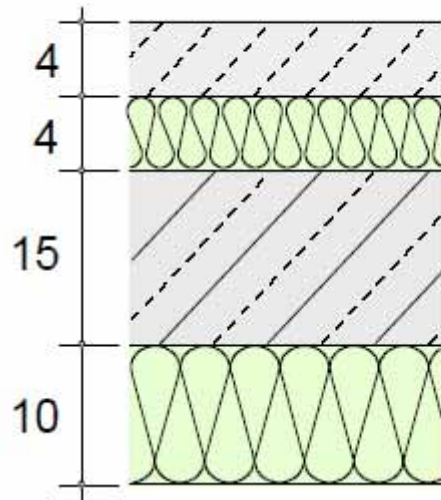
* DIN 4108-4:2017

** DIN EN ISO 10456:2010

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

Übungsbeispiel 1-Bauteilaufbau

Bodenplatte



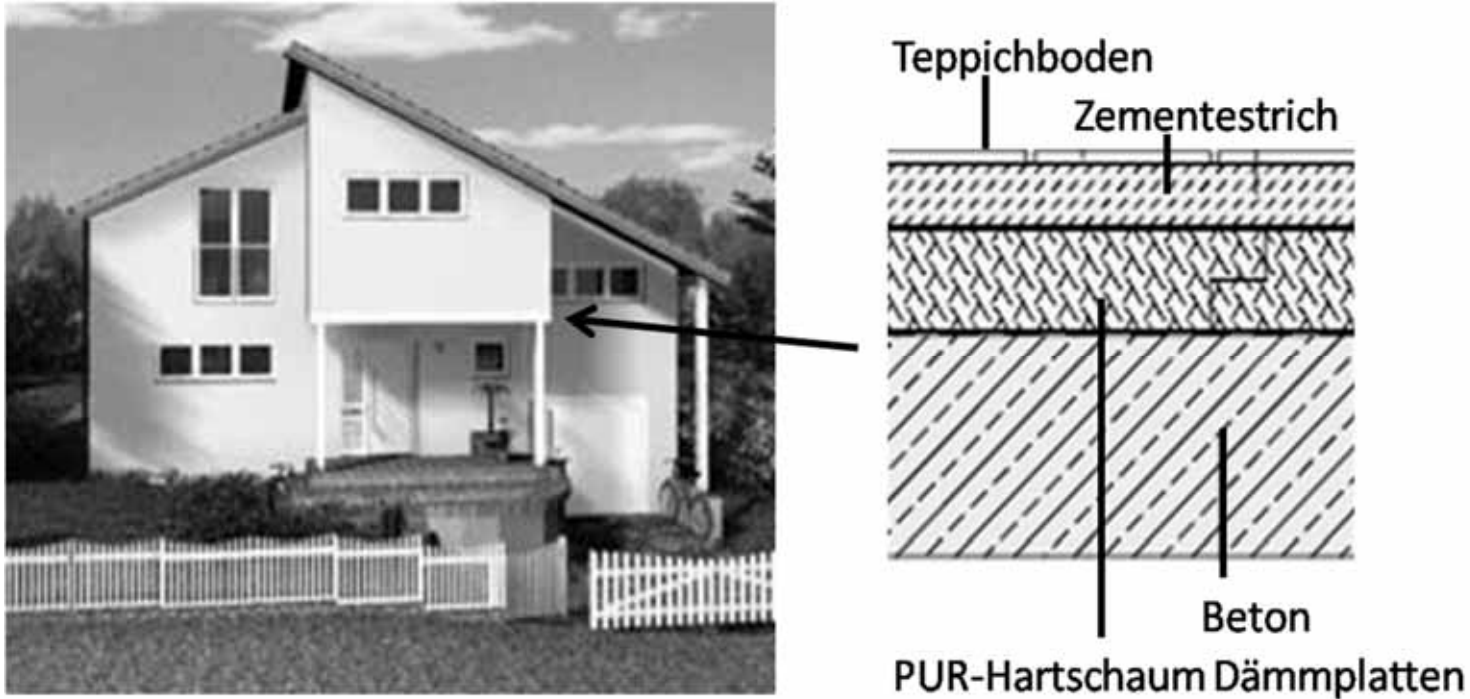
Schicht	ρ kg/m ³	d m	λ_R W/(mK)
Zementestrich	2000	0,04	*
EPS WLK 035	35	0,04	***
Stahlbeton (2% Stahl)	2400	0,15	**
XPS WLK 040	35	0,10	***

* 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 2



innen

1: 2 cm Teppichboden, $\lambda = 0,06 \text{ W/(mK)}$

2: 5 cm Zementestrich, $\lambda = 1,4 \text{ W/(mK)}$

3: 8 cm Wärmedämmschicht PUR

4: 18 cm Beton, $\lambda = 2,3 \text{ W/(mK)}$

außen

Übungsbeispiel 2

Aufgabenstellung

1. Welche Anforderungen stellt DIN 4108-2: 2013 für die abgebildete Decke bzgl. des Wärmeschutznachweises?
2. Welchen Nennwert für λ muss die Dämmung aufweisen, damit der Wärmeschutznachweis geführt werden kann?
3. Berechnen Sie den U-Wert dieser Decke.
4. Welche Temperatur stellt sich unter stationären Bedingungen bei einer Außenlufttemperatur von -10 °C und einer Innenraumtemperatur von 20 °C zwischen Schicht 3 und Schicht 4 ein?

Aufgabenstellung

$$\sum S_d = S_{d,T}$$

Übungsbeispiel 3

Wärmeschutz einer Außenwand gemäß nachstehender Skizze



Übungsbeispiel 3

Aufgabenstellung

- 1. Welche Anforderungen stellt DIN 4108-2: 2013 für die abgebildete Außenwand bzgl. des Wärmeschutznachweises?**
- 2. Erfüllt das betrachtete Bauteil die Anforderungen an den Wärmeschutz?**
- 3. Berechnen Sie den U-Wert dieser Wand.**
- 4. Welche Temperaturen stellen sich unter stationären Bedingungen bei einer Außenlufttemperatur von -10 °C und einer Innenraumtemperatur von 20 °C zwischen den Schichten ein?**
- 5. Berechnen Sie den Nennwert der Wärmeleitfähigkeit der für die Dämmung erforderlich wäre, um einen U-Wert von $0,35\text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen.**

Übungsbeispiel 3

Aufgabenstellung

	Schicht [-]	Dicke d [m]	ρ [kg/m³]	μ [-]	s_d [m]	Σs_d /s _{d,T}	λ [W/(mK)]	R [(m²K)/W]	ΔT [K]	θ [°C]	p_{Sat} [Pa]
	innen										
1	Leichtputz	0,02	1000								
2	Beton (1% Stahl)	0,2	2300								
3	EPS	0,1	30								
4	Kunstharzputz	0,02	1100								
	außen										
				$\Sigma s_d = s_{d,T}$			ΣR				
							R_T				
							U		W/(m²K)		

Quellen

- Vorlesung FH Rosenheim Prof. Klaus Sedlbauer, Dr. Martin Krus,
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

An dieser Stelle **danke** ich **Dr. Martin Krus** und **Prof. Klaus Sedlbauer** vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik, dass sie so hilfsbereit waren, mir die Unterlagen, der von ihnen entworfenen Vorlesung an der FH Rosenheim zu Lehrzwecken an der FH Frankfurt zur Verfügung zu stellen.

Genauso danke ich **Prof. Schulz**, dass er mich bei der Gestaltung der Vorlesung beraten und unterstützt hat und mir seine Unterlagen zur Verfügung gestellt hat.