



BG 12 Bautechnik
LK im 2. Halbjahr

ars
Adolf Reichwein
Schule

Q2 Leistungskurs **Energiesparendes Bauen**

**Teil 2 : Bauteilnachweise &
Berechnungsverfahren**

Inhalte nach BG Kerncurriculum



Hessisches Ministerium für Kultus, Bildung und Chancen

HESSEN

**Kerncurriculum
berufliches Gymnasium**

HMKB

Fachrichtung: Technik
Schwerpunkt: Bautechnik

Qualifikationsphase (Q1/Q2)

Kerncurriculum berufliches Gymnasium

Bautechnik (LK)	
Q2	Energiesparendes Bauen
	Q2.1 Wärmephysikalische Grundlagen
	Q2.2 Bauteilnachweise und Berechnungsverfahren
	Q2.3 Vorschriften
	Q2.4 Projektbezogene Vertiefung
	Q2.5 Ergänzende Nachweisverfahren
	verbindlich: Themenfelder Q2.1 und Q2.2 sowie gegebenenfalls ein weiteres Themenfeld aus den Themenfeldern Q2.3–Q2.5, durch Erlass festgelegt

Konstruktionslehre (GK)

Energietechnik

Q1.1 Der Begriff der Energie

Q1.2 Energiesparende Gebäudekonstruktionen

Q1.3 Anlagentechnik

Q1.4 Großanlagen

Q1.5 Exkursion

verbindlich: Themenfelder Q1.1–Q1.3

Konstruktionslehre (GK)

Bauzeichnen

2.1 Komplexe Objekte

2.2 Bauzeichnungen

2.3 Dachabwicklungen

2.4 Alternative Darstellungsformen

2.5 Gebäudeaufmaß und Skizzen

verbindlich: Themenfelder Q2.1–Q2.3

Konstruktionslehre (GK)

Bauteilkonstruktionen

Q3.1 Dachkonstruktionen und -aufbauten

Q3.1 Decken



Inhalte nach BG Kerncurriculum



HMKB	Kerncurriculum berufliches Gymnasium
Fachrichtung: Technik	
Schwerpunkt: Bautechnik	Fach: Bautechnik
Q2: Energiesparendes Bauen (LK)	

Q2.2 Bauteilnachweise und Berechnungsverfahren

- Materialkennwerte
- Wärmedurchgangsberechnungen
 - homogene Bauteile
 - inhomogene Bauteile
- Temperaturverläufe
 - mathematisches Verfahren
 - zeichnerische Darstellung
 - Taupunktberechnung
- Kenngrößen
 - Wärmegewinne / -verluste
 - Jahresprimärenergiebedarf

HMKB	Kerncurriculum berufliches Gymnasium
Fachrichtung: Technik	
Schwerpunkt: Bautechnik	Fach: Bautechnik

Q2.2 Bauteilnachweise und Berechnungsverfahren

- Materialkennwerte
- Wärmedurchgangsberechnungen
 - homogene Bauteile
 - inhomogene Bauteile
- Temperaturverläufe
 - mathematisches Verfahren
 - zeichnerische Darstellung
 - Taupunktberechnung
- Kenngrößen
 - Wärmegewinne / -verluste
 - Jahresprimärenergiebedarf

Q2.3 Vorschriften

- sommerlicher / winterlicher Wärmeschutz
- Anlagentechnik
- Energiebedarfsausweise

Q2.4 Projektbezogene Vertiefung

- projektbezogene Anwendung an einem überschaubaren Projekt

Q2.5 Ergänzende Nachweisverfahren

- Luftdichtheit (zum Beispiel Blower-Door-Test)
- Thermographie
- Berechnung Wärmegewinne und Verluste
- Referenzgebäude



Wochenplanung 2025

Kalender 2025 Hessen

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
1 Mi Neujahr	1 Sa	1 Sa	1 Di	1 Do Tag der Arbeit	1 So	1 Di	1 Fr	1 Mo 36	1 Mi	1 Sa Allerheiligen	1 Mo 49
2 Do	2 So	2 So	2 Mi	2 Fr	2 Mo 23	2 Mi	2 Sa	2 Di	2 Do	2 So	2 Di
3 Fr	3 Mo 6	3 Mo Rosenmontag 10	3 Do	3 Sa	3 Di	3 Do	3 So	3 Mi	3 Fr Tag der Dt. Einheit	3 Mo 45	3 Mi
4 Sa	4 Di	4 Di	4 Fr U-Ende Q4	4 So	4 Mi	4 Fr	4 Mo 32	4 Do	4 Sa	4 Di	4 Do
5 So	5 Mi	5 Mi	5 Sa	5 Mo ABIBAU 19	5 Do	5 Sa	5 Di	5 Fr	5 So	5 Mi	5 Fr
6 Mo H. Drei Könige 2	6 Do	6 Do	6 So	6 Di FOS BAU	6 Fr Vornoten FOS	6 So	6 Mi	6 Sa	6 Mo 41	6 Do	6 Sa
7 Di	7 Fr	7 Fr	7 Mo 15	7 Mi	7 Sa	7 Mo 28	7 Do	7 So	7 Di	7 Fr	7 So
8 Mi	8 Sa	8 Sa	8 Di	8 Do	8 So Pfingsten	8 Di	8 Fr	8 Mo 37	8 Mi	8 Sa	8 Mo 50
9 Do	9 So	9 So	9 Mi	9 Fr	9 Mo Pfingstmontag 24	9 Mi	9 Sa	9 Di	9 Do	9 So	9 Di
10 Fr	10 Mo	10 Mo	10 Do	10 Sa	10 Di	10 Do	10 So	10 Mi	10 Fr	10 Mo 46	10 Mi
11 Sa	11 Di	11 Di	11 Fr	11 So Muttertag	11 Mi	11 Fr	11 Mo 33	11 Do	11 Sa	11 Di	11 Do
12 So	12 Mi	12 Mi	12 Sa	12 Mo 20	12 Do	12 Sa	12 Di	12 Fr	12 So	12 Mi	12 Fr
13 Mo 3	13 Do	13 Do	13 So	13 Di	13 Fr U-Ende FOS	13 So	13 Mi	13 Sa	13 Mo 42	13 Do	13 Sa
14 Di	14 Fr	14 Fr	14 Mo 16	14 Mi	14 Sa	14 Mo 29	14 Do	14 So	14 Di	14 Fr	14 So
15 Mi	15 Sa	15 Sa	15 Di	15 Do	15 So	15 Di	15 Fr	15 Mo 38	15 Mi	15 Sa	15 Mo 51
16 Do	16 So	16 So	16 Mi	16 Fr	16 Mo 25	16 Mi	16 Sa	16 Di	16 Do	16 So	16 Di
17 Fr	17 Mo 8	17 Mo 12	17 Do	17 Sa	17 Di	17 Do	17 So	17 Mi	17 Fr	17 Mo 47	17 Mi
18 Sa	18 Di	18 Di	18 Fr Karfreitag	18 So	18 Mi	18 Fr	18 Mo 34	18 Do	18 Sa	18 Di	18 Do
19 So	19 Mi	19 Mi	19 Sa	19 Mo 21	19 Do Fronleichnam	19 Sa	19 Di	19 Fr	19 So	19 Mi	19 Fr
20 Mo 4	20 Do	20 Do	20 So Ostern	20 Di	20 Fr	20 So	20 Mi	20 Sa	20 Mo 43	20 Do	20 Sa
21 Di	21 Fr	21 Fr	21 Mo Ostermontag 17	21 Mi	21 Sa	21 Mo 30	21 Do	21 So	21 Di	21 Fr	21 So
22 Mi	22 Sa	22 Sa	22 Di	22 Do	22 So	22 Di	22 Fr	22 Mo 39	22 Mi	22 Sa	22 Mo 52
23 Do	23 So	23 So	23 Mi	23 Fr	23 Mo 26	23 Mi	23 Sa	23 Di	23 Do	23 So	23 Di
24 Fr	24 Mo 9	24 Mo 13	24 Do	24 Sa	24 Di	24 Do	24 So	24 Mi	24 Fr	24 Mo 48	24 Mi Heiligabend
25 Sa	25 Di	25 Di	25 Fr	25 So	25 Mi	25 Fr	25 Mo 35	25 Do	25 Sa	25 Di	25 Do 1. Weihnachtstag
26 So	26 Mi	26 Mi	26 Sa	26 Mo WEMAR 22	26 Do	26 Sa	26 Di	26 Fr	26 So Erde der Sommerzeit	26 Mi	26 Fr 2. Weihnachtstag
27 Mo 5	27 Do	27 Do	27 So	27 Di WEMAR	27 Fr	27 So	27 Mi	27 Sa	27 Mo 44	27 Do	27 Sa
28 Di	28 Fr	28 Fr	28 Mo 18	28 Mi WEMAR	28 Sa	28 Mo 31	28 Do	28 So	28 Di	28 Fr	28 So
29 Mi		29 Sa	29 Di	29 Do Christ Himmelfahrt	29 So	29 Di	29 Fr	29 Mo 40	29 Mi	29 Sa	29 Mo 1
30 Do		30 So Beginn der Sommerzeit	30 Mi	30 Fr	30 Mo 27	30 Mi	30 Sa	30 Di	30 Do	30 So 1. Advent	30 Di
31 Fr		31 Mo 14		31 Sa		31 Do	31 So		31 Fr Reformationstag		31 Mi Silvester

Fakten

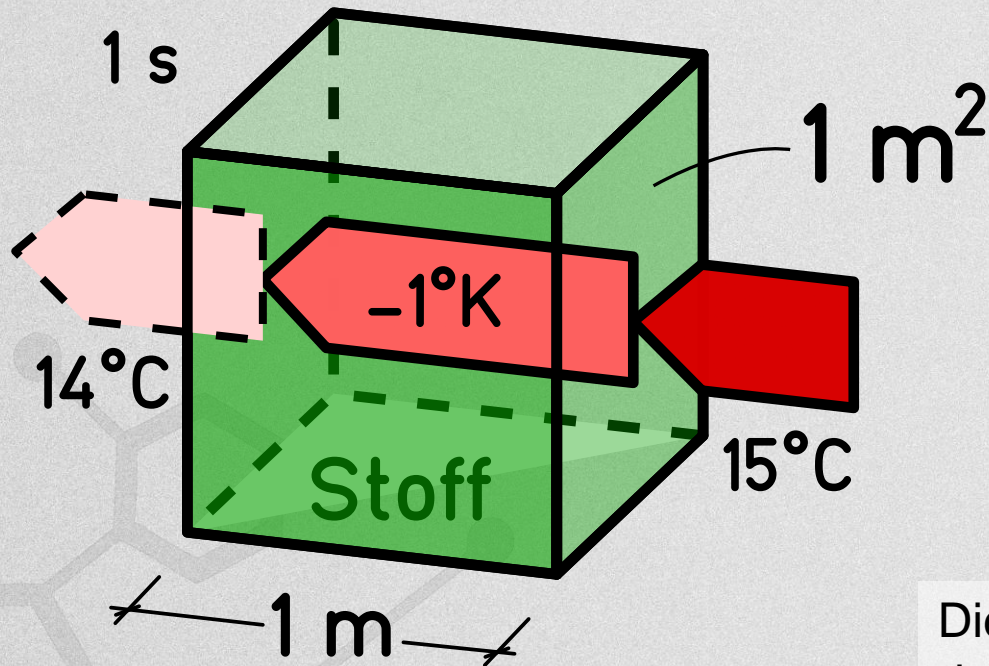
...



Wärmeleitzahl

λ (Lambda)

1 Wärmeleitzahl/~fähigkeit λ (Lambda)



Sie gibt den Wärmestrom in Watt an, der sich auf einer Fläche von 1 m² bei einer 1 m dicken Schicht einstellt, wenn der Temperaturunterschied an den beiden Schichtoberflächen 1 Kelvin beträgt.

$$\text{Einheit: } \frac{W \cdot m}{m^2 \cdot K} \rightarrow \frac{W}{m \cdot K}$$

Die Wärmeleitfähigkeit wird aus dem Tabellenbuch entnommen.

TB17: S 165 ff / TB18: S 178 ff



1 Wärmeleitfähigkeit
Wärmeleitzahl

λ

$$\frac{W}{m \cdot K}$$

bezogen auf
1,00 m
Materialdicke

**Widerstand
= Wärmedämmung**

**Wärmedurchgang
= Durchlass von Wärme**



Wärme widerstände



Wärmedurchlasswiderstand

R

2

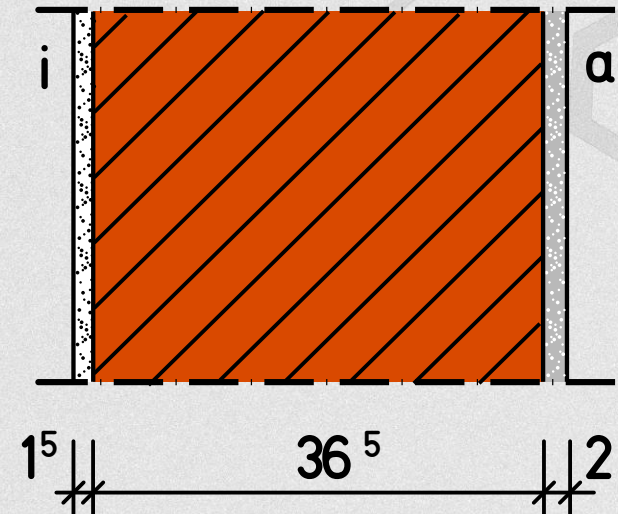
The diagram illustrates a thermal conductance experiment. A green cube, labeled "Stoff" (material), has a thickness d and a cross-sectional area of 1 m^2 . The left face of the cube is exposed to an environment at 14°C . The right face of the cube is exposed to an environment at 15°C . A red arrow, labeled -1°K , indicates the temperature difference across the material. A dashed line indicates a distance of 1 s from the left face to the center of the cube.

2 Wärmedurchlasswiderstand R

Besteht ein Bauteil aus **mehreren Schichten**, so können die **Wärmedurchlasswiderstände** der einzelnen Schichten **addiert** werden.

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n}$$

Einheit: $\frac{m^2 K}{W}$



② Wärmedurchlasswiderstand R

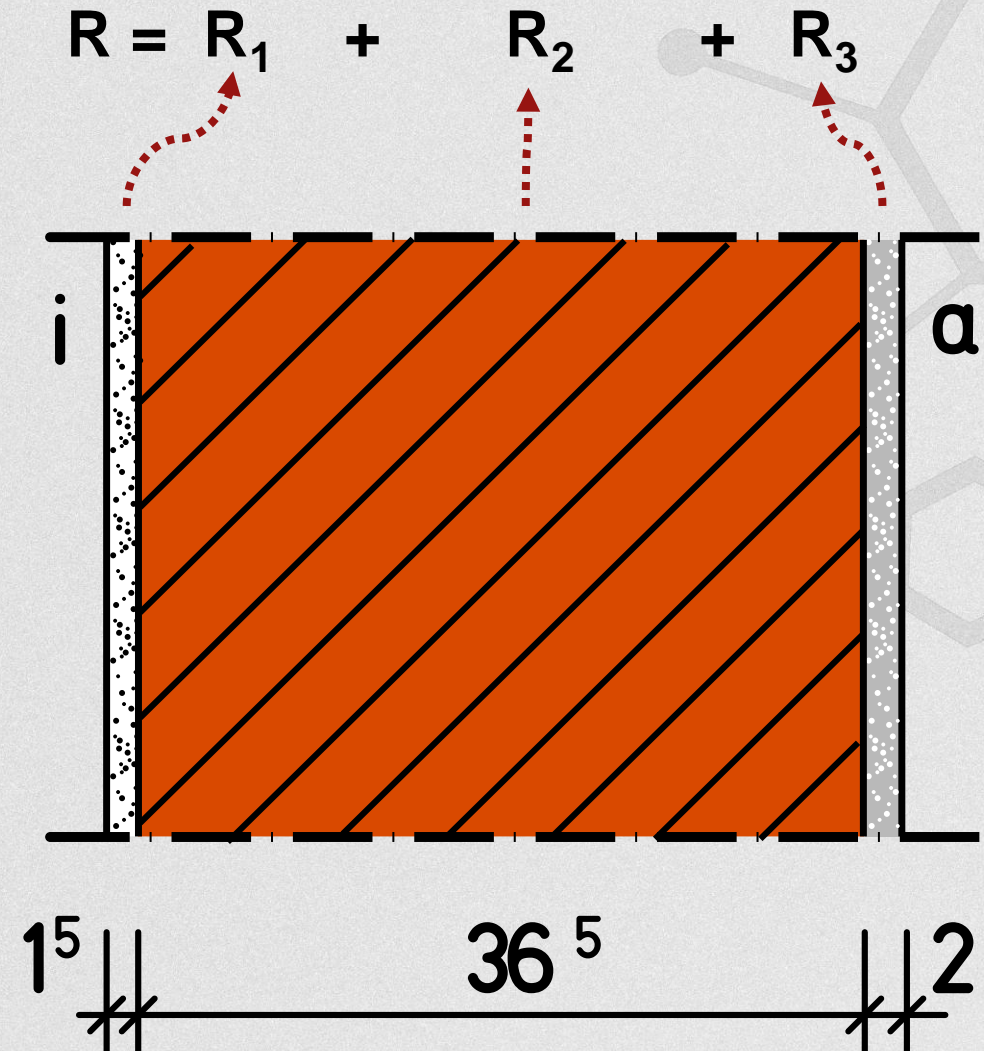
Beispiel (Tafel)

Außenwandaufbau

innen

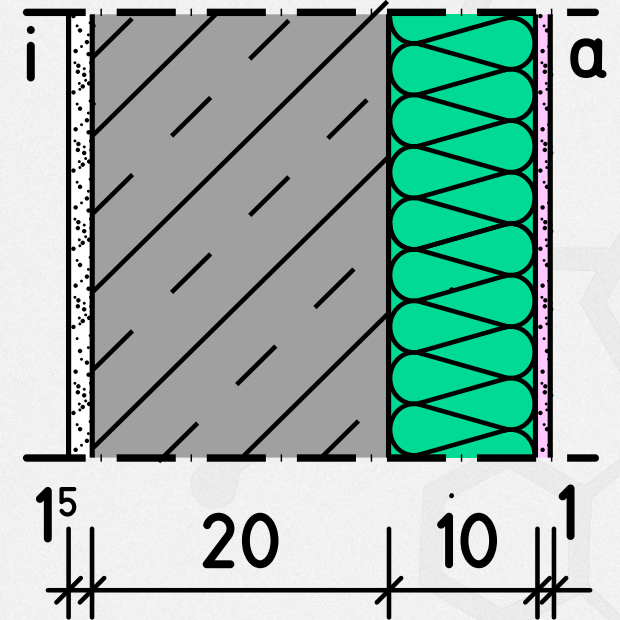
- 15 cm Kalk-Gipsputz
- 365 cm Hbl $\rho = 1.400 \text{ kg/m}^3$
mit LM36
- 2 cm Kalk-Zementputz

außen



Übung 5

1. **Berechnen** Sie den vorh. Wärmedurchlasswiderstand R der 16 cm dicken Außenwand einer Blockhütte aus Laubholz (KVH, $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$). **Interpolieren** Sie den Lambda-Wert!
2. **Berechnen** Sie den Wärmedurchlasswiderstand R der rechts dargestellten Wand.
3. **Benennen** Sie alle rechts verwendeten Abkürzungen mit der jeweiligen vollen Bezeichnung



Außenwandaufbau

innen

- 15 cm KG-Putz
- 20 cm StB
- 10 cm WD PU zg sh WLG025
- 1 cm KH-Putz

außen

LÖSUNGSVORSCHLAG

$$5.1) \quad \lambda_{600} = \underline{0,155 \frac{W}{mK}}$$

$$R = \frac{0,16}{0,155} = \underline{1,032 \frac{m^2K}{W}}$$

5.2)

$$R = \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,20}{2,4} + \frac{0,10}{0,025} + \frac{0,01}{0,7}$$

$$= \underline{4,119 \frac{m^2K}{W}}$$

5.3)

KG \rightarrow Kalk-Gips-Putz

StB \rightarrow Stahlbeton

WD \rightarrow Wärmedämmung

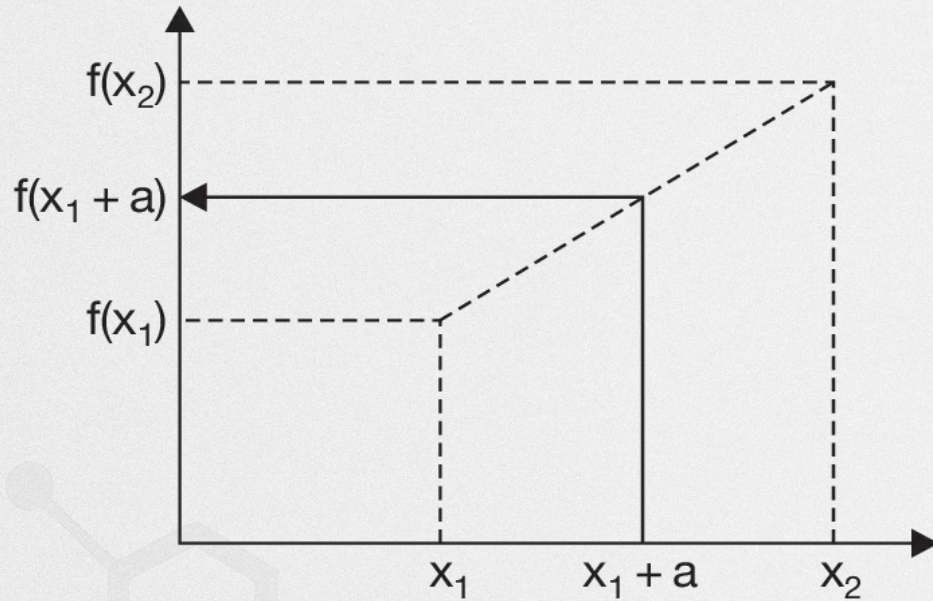
PU \rightarrow Polyurethan

zg \rightarrow Zugfestigkeit: geringe Anforderung

sh \rightarrow Schalltechnische Eigenschaften erhöht

WLG \rightarrow Wärmeleitgruppe
 Kt-Putz \rightarrow Kunstharz-Putz

Interpolation



Man setzt also

$$f(x_1 + a) \approx f(x_1) + a \cdot \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1}$$

für a aus dem Intervall $[0, x_2 - x_1]$, falls nur die Punktepaare $(x_1, f(x_1))$ und $(x_2, f(x_2))$ bekannt sind. Statt des linearen kann auch ein anderer sinnvoll erscheinender Zusammenhang unterstellt werden.



1 Wärmeleitfähigkeit
Wärmeleitzahl

λ

$$\frac{W}{m \cdot K}$$

bezogen auf
1,00 m
Materialdicke

**Widerstand
= Wärmedämmung**

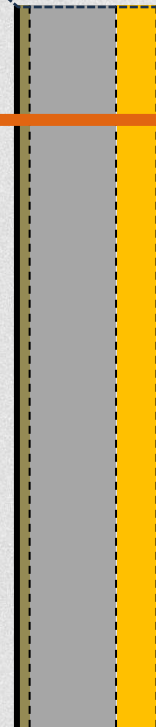
**Wärmedurchgang
= Durchlass von Wärme**

2 Wärmedurchlass-
widerstand

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots$$

$$\frac{m^2 \cdot K}{W}$$

konkretes
Bauteil





Nachweis nach DIN 1946-6: 2009-5

$$R_{\text{vor}} \geq R_{\text{zul}}$$

2 Wärmetechnische Mindestanforderungen

Nachweis nach DIN 1946-6: 29-05

$$R_{vorh} \geq R_{erf} \quad \text{Einheit: } \frac{m^2 K}{W}$$

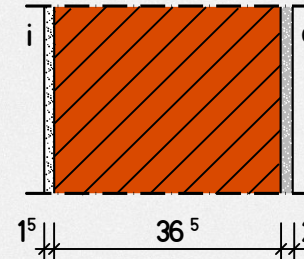
Beispiel:

Außenwand

$$R = \frac{0,015}{0,700} + \frac{0,365}{0,690} + \frac{0,020}{1,000} = \underline{\underline{0,57 \frac{m^2 K}{W}}}$$

$$= R_{vorh.}$$

$$R_{zul} = 1,20 \frac{m^2 K}{W} \neq R_{vorh} = 0,57 \frac{m^2 K}{W} \Rightarrow \text{Nicht Zulässig!}$$



5.2 Wärmeschutz

5.2.2 Wärmetechnische Mindestanforderungen

Bei Temperaturunterschieden zwischen dem beheizten Gebäudeinneren und dem unbeheizten Gebäudeaußen kommt es zur Wärmeübertragung durch die Umfassungsbauteile. Diese Wärmeübertragung ist durch ausreichend große Widerstände bzw. kleine Wärmeleitfähigkeiten zu begrenzen. Die inneren Bauteiloberflächen sollen behaglich warm sein und frei von gesundheitsschädlichem Tauwasser. Für den winterlichen Wärmeschutz werden an die Außenbauteile eines Bauwerks Mindestanforderungen definiert. Danach dürfen die Anforderungen der Tabelle für den Wärmedurchlasswiderstand R nicht unterschritten werden.

Alle nationalen Regelwerke benutzen die internationalen Symbole.

Der Heizenergieverbrauch eines Gebäudes wird durch eine Vielzahl von Einflüssen bei der baulichen Gestaltung und der Gebäudenutzung bestimmt. Der bauliche Wärmeschutz ist die sicherste und nachhaltigste Maßnahme des energiesparenden Bauens.

Bei Erfüllung der Tabellenwerte und der Lüftungsrandbedingungen nach DIN 1946-6: 2008-05 (Lüftung von Wohnungen) ist zu erwarten, dass sich im Gebäude ein hygienisches Raumklima einstellt und Tauwasserfreiheit sichergestellt sowie das Risiko der Schimmelbildung verringert ist.

Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände R für wärmeübertragende Bauteile (mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von $\geq 100 \text{ kg/m}^2$) (DIN 4108-2)

Bauteile	Wärmedurchlasswiderstand R	$m^2 \cdot K/W$
Außenwände einschl. Nischen und Brüstungen unter Fenstern, Fensterstürzen und Wärmebrücken		1,20
Wände von Aufenthaltsräumen gegen Bodenräume, Durchfahrten, offene Hausflure, Garagen		1,20
Wohnungstrennwände, Wände zu fremdgenutzten Räumen		0,07
Treppenraumwände zum Treppenraum mit Innentemperaturen $\theta \leq 10^\circ \text{C}$, aber Treppenraum frostfrei		0,25
mit Innentemperaturen $\theta \geq 10^\circ \text{C}$, z.B. in Verwaltungsgesundheitsbauten, Geschäftshäusern, Unterrichtsgebäuden, Hotels, Gaststätten und Wohngebäuden		0,07
Wände von Aufenthaltsräumen, die an das Erdreich grenzen		1,20
Wohnungstrenndecken, Decken zwischen fremden Arbeitsräumen allgemein		0,35
Decken unter ausgebauten Dachräumen mit gedämmten Dachschrägen und Absiebwänden in zentralbeheizten Bürogebäuden		0,17
Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen, Decken unter belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Absiebwänden bei ausgebauten Dachräumen, wärmegeprägten Dachschrägen		0,90
Decken und Dächer, die Aufenthaltsräume nach oben gegen die Außenluft abgrenzen, Decken und Dächer unter Terrassen, Umkleekabinen		1,20
Kellerdecken, Decken gegen abgeschlossene, unbeheizte Hausflure		0,90
Decken, die Aufenthaltsräume nach unten gegen die Außenluft abgrenzen, z.B. über Garagen, Durchfahrten und belüfteten Kriechkellern		1,75
Unterer Abschluss nicht unterkellerten Aufenthaltsräume, wenn unmittelbar an das Erdreich (bis zu einer Raumtiefe von 5 m) oder über einem nicht belüfteten Hohlraum an das Erdreich grenzend		0,90

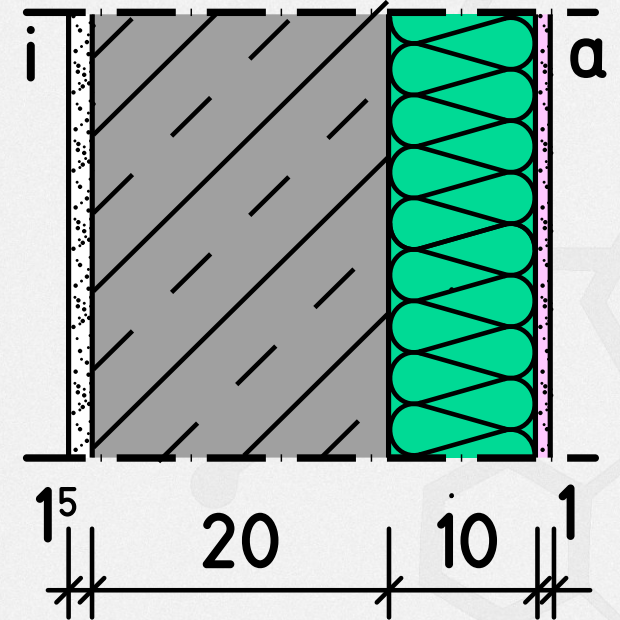
Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände R für leichte Bauteile (mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse von $< 100 \text{ kg/m}^2$, sowie für Rahmen und Skelettbauarten) (DIN 4108-2)

Bauteile	Wärmedurchlasswiderstand R	$m^2 \cdot K/W$
Außenwände, Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und Dächern ($< 100 \text{ kg/m}^2$)		1,75
Rahmen und Skelettbauarten im Gefachbereich für das gesamte Bauteil im Mittel (R_{M})		1,00
Rollladerklappen		1,00
Deckel von Rollladerklappen		0,55
Nichttransparenter Teil der Ausfachung bei $> 50\%$ der Gesamtaufdachungsfläche		1,20
von Fensterwänden und Fensterstürzen bei $< 50\%$ der Gesamtaufdachungsfläche		1,00

Grundsatz: Der Mindestwärmeschutz muss an jeder Stelle des Bauteils vorhanden sein. Dies gilt insbesondere für Nischen, Brüstungen, Fensterstürze und Rohrkanäle. Werden die Anforderungen der Tabellen bereits von einer oder mehreren Schichten erfüllt, erübrigt sich ein weiterer Nachweis.

Übung 6

1. **Weisen** Sie die wärmetechnischen Mindestanforderungen der rechts dargestellten Wand **nach**.
2. **Entwerfen** Sie einen Wandaufbau aus 3 Schichten. **Konstruieren** Sie den Wärmedurchlasswiderstand R dabei so, dass er über $1,20 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ liegt.
3. **Weisen** Sie Ihre Konstruktion **nach** ($R_{\text{vor}} \geq R_{\text{zul}}$)



Außenwandaufbau

innen

- 15 cm KG-Putz
- 20 cm StB
- 10 cm WD PU zg sh WLG025
- 1 cm KH-Putz

außen



1

Wärmeleitfähigkeit
Wärmeleitzahl

λ

$$\frac{W}{m \cdot K}$$

bezogen auf
1,00 m
Materialdicke

**Widerstand
= Wärmedämmung**

**Wärmedurchgang
= Durchlass von Wärme**

2

**Wärmedurchlass-
widerstand**

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots$$

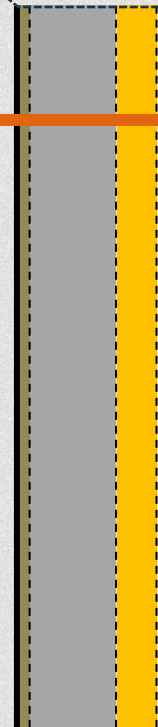
$$\frac{m^2 \cdot K}{W}$$



**Bauteilnachweis
nach DIN:**

$$R_{\text{vorh}} \geq R_{\text{zul}}$$

konkretes
Bauteil





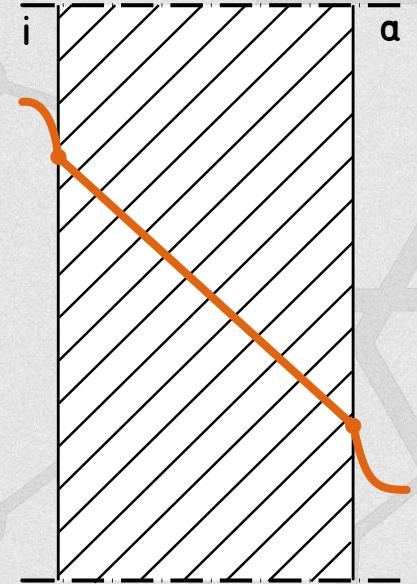
Wärmeübergangswiderstände

R_{si} & R_{se}

3 Wärmeübergangswiderstand R_s

Im Winter ist die Wand innen kühler als die Raumluft, während die Wandoberfläche außen wärmer ist als die Außenluft.

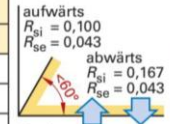
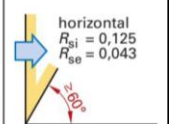
Luft bietet dem Wärmeverlust also einen **Widerstand innen und außen.**



innen: R_{si}

außen: R_{se}

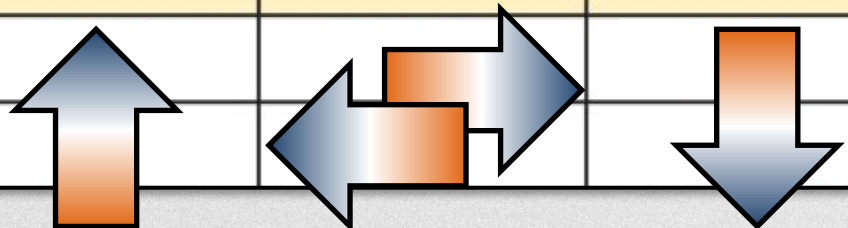
Einheit: $\frac{m^2 K}{W}$

Wärmeübergangswiderstände	Wärmeschutz DIN EN ISO 6946			Wärmebrücken DIN 4108-2	
	aufwärts	horizontal	abwärts	beheizte Räume	unbeheizte Räume
R_{si} in $m^2 \cdot K/W$	0,100	0,125	0,167	0,250	0,167
R_{se} in $m^2 \cdot K/W$	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
Wärmeübergangswiderstände	Tauwasser DIN 4108-3				
	aufwärts	horizontal	abwärts		
R_{si} in $m^2 \cdot K/W$	0,125	0,125	0,167		
R_{se} in $m^2 \cdot K/W$	0,043	0,043	0,043		
R_{si} an belüfteter Luftschicht	0,083	0,083	0,083		
R_{se} an das Erdreich	0	0	0		
				 <p>Decken, Treppen und Dächer Wärmestrom aufwärts/abwärts Neigung 0° bis < 60°</p>	 <p>Wände und Dächer Wärmestrom horizontal Neigung 60° bis 90°</p>

Durch unterschiedliche Lagen der Bauteile müssen andere Wärmeübergangswiderstände gewählt werden:

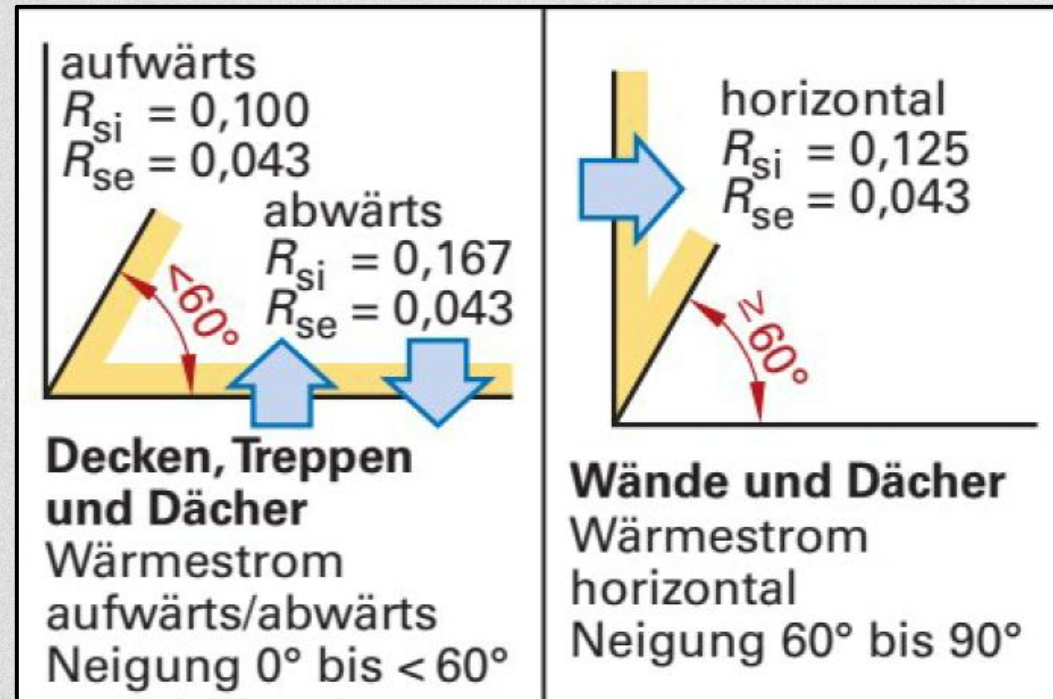
**Nach Richtung des Wärmestroms
von WARM nach KALT**

Wärmeübergangswiderstände	Wärmeschutz DIN EN ISO 6946		
	aufwärts	horizontal	abwärts
R_{si} in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$			
R_{se} in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$			



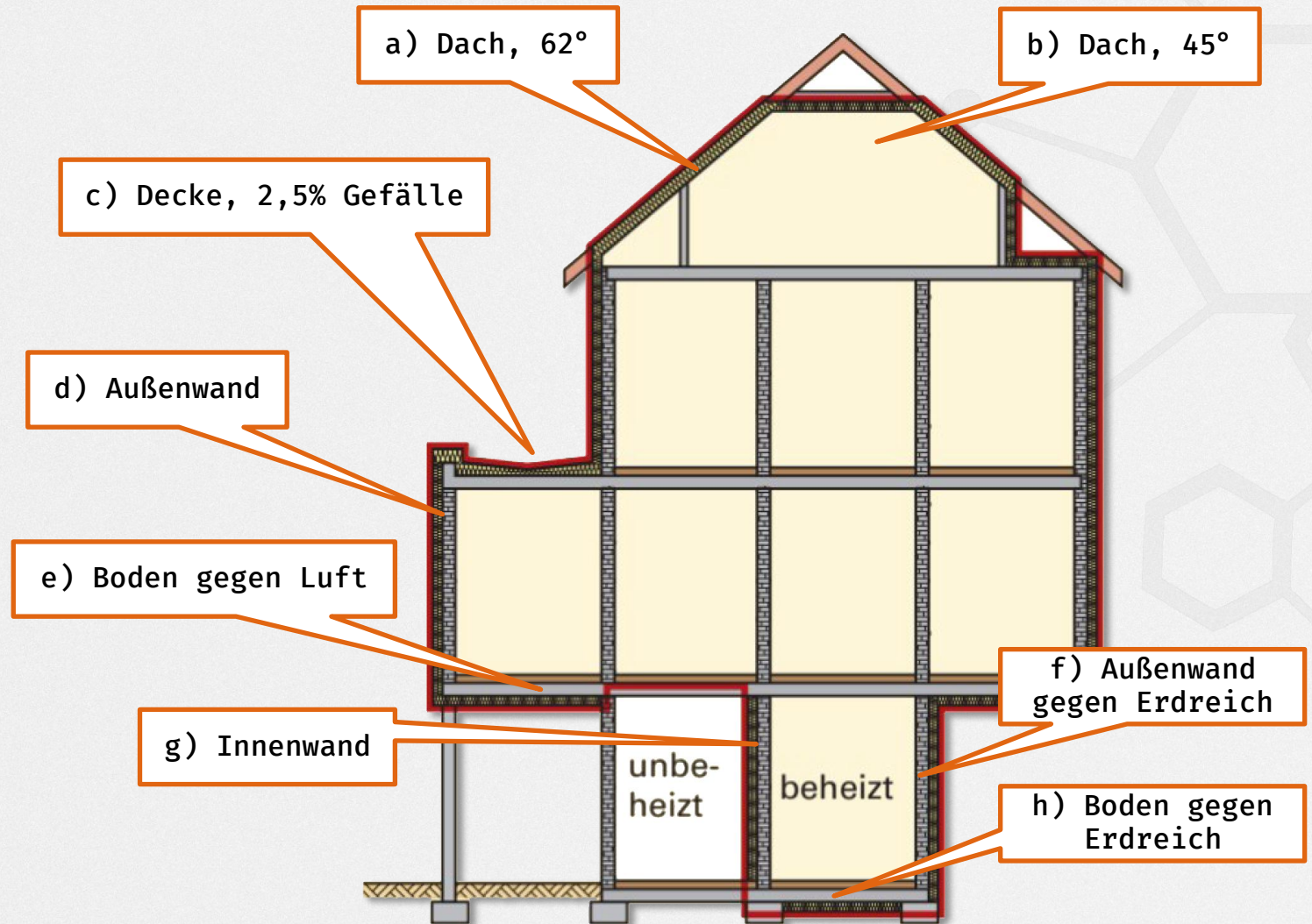
T17: 170 / T18: 185

Auch die **Neigung des Bauteils** entscheidet, ob der Wärmestrom aufwärts, abwärts oder horizontal geht.



Übung 7

1. **Nennen** Sie die korrekten Wärmeübergangswiderstände innen & außen für die in der Zeichnung markierten Bauteile a) bis h)





1 Wärmeleitfähigkeit Wärmeleitzahl

$$\lambda \quad \frac{W}{m \cdot K}$$

bezogen auf
1,00 m
Materialdicke

**Widerstand
= Wärmedämmung**

**Wärmedurchgang
= Durchlass von Wärme**

2 Wärmedurchlass- widerstand

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots$$

$$\frac{m^2 \cdot K}{W}$$



**Bauteilnachweis
nach DIN:**

$$R_{\text{vorh}} \geq R_{\text{zul}}$$

3 Wärmeübergangs- widerstand

R_s (innen R_{si} ; außen R_{se})

R_{si}

R_{se}

konkretes
Bauteil





Wärmedurchgangswiderstand

R_T

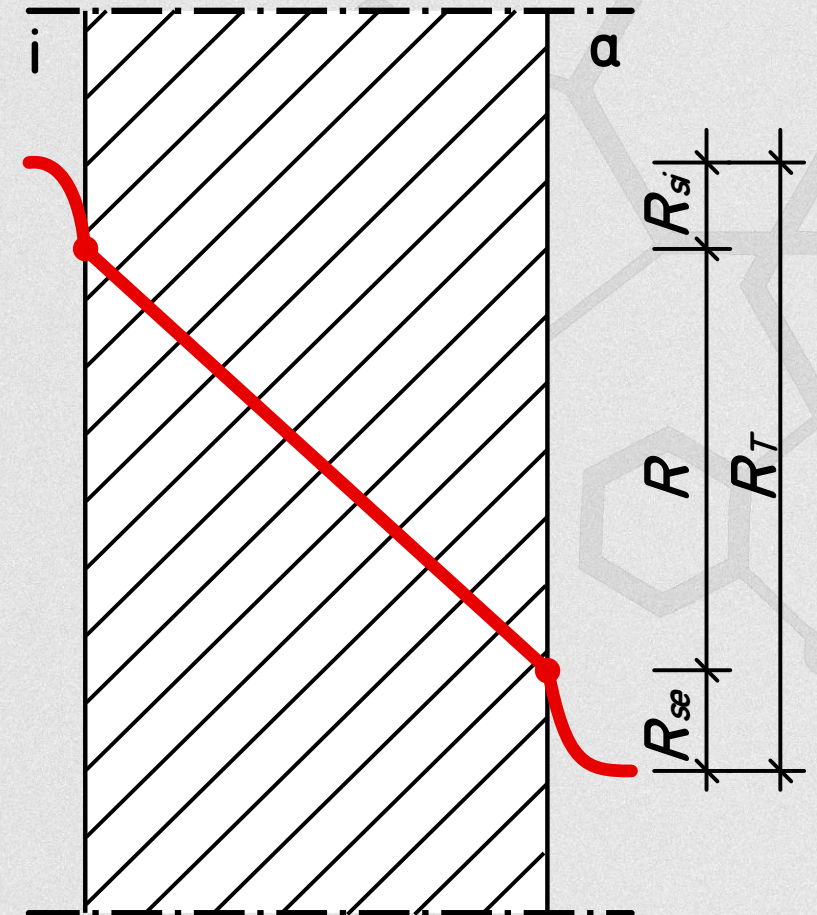
4 Wärmedurchgangswiderstand R_T

Wird bei dem Bauteilaufbau jede Schicht berücksichtigt, so ist es nur sinnvoll, auch die Wärmeübergangswiderstände der angrenzenden Luft zu berücksichtigen.

Für R_T wird die **Summe aller drei Werte** berechnet.

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

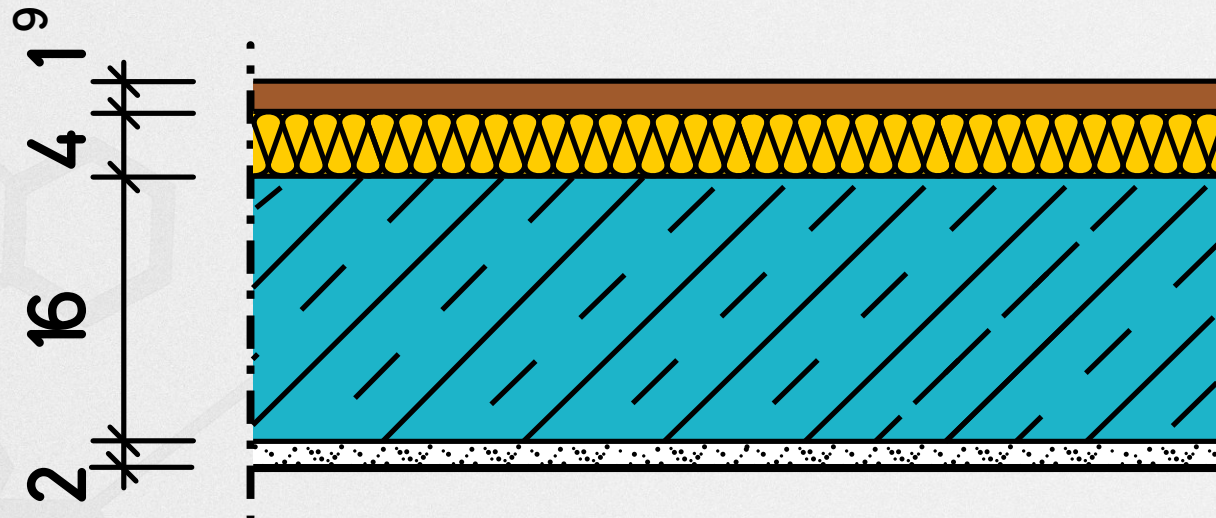
Einheit: $\frac{m^2 K}{W}$



Übung 8

1. **Berechnen** Sie R und R_T für das unten dargestellte Bauteil.
2. **Weisen** Sie **nach**, ob die Mindestanforderungen nach DIN eingehalten werden ($R_{\text{vor}} \geq R_{\text{zul}}$)

 **Operatoren 2025**



Boden gegen Durchfahrt

innen

- 1⁹cm Eichenbohlen
- 4 cm Trittschalldämmung PU

WLG040

- 16 cm Stahlbeton
- 2 cm Kalk-Zement-Putz

außen



1 Wärmeleitfähigkeit Wärmeleitzahl

$$\lambda \quad \boxed{\frac{W}{m \cdot K}}$$

bezogen auf
1,00 m
Materialdicke

**Widerstand
= Wärmedämmung**

**Wärmedurchgang
= Durchlass von Wärme**

2 Wärmedurchlass- widerstand

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots$$

$$\boxed{\frac{m^2 \cdot K}{W}}$$



**Bauteilnachweis
nach DIN:**

$$R_{\text{vorh}} \geq R_{\text{zul}}$$

3 Wärmeübergangs- widerstand

R_s (innen R_{si} ; außen R_{se})

R_{si}

R_{se}

4 Wärmedurchgangs- widerstand

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

$$\boxed{\frac{m^2 \cdot K}{W}}$$

konkretes
Bauteil





Wärme durchgang



Wärmedurchgangskoeffizient

U

Anforderungen Neu-/Umbau

$$U_{\text{vorh}} \leq U_{\text{zul}}$$

5 Wärmedurchgangskoeffizient U

Bisher haben wir uns angeschaut, wie gut ein Bauteil Wärme hält. Um später ausrechnen zu können wieviel wir heizen müssen, benötigen wir aber den Verlust.

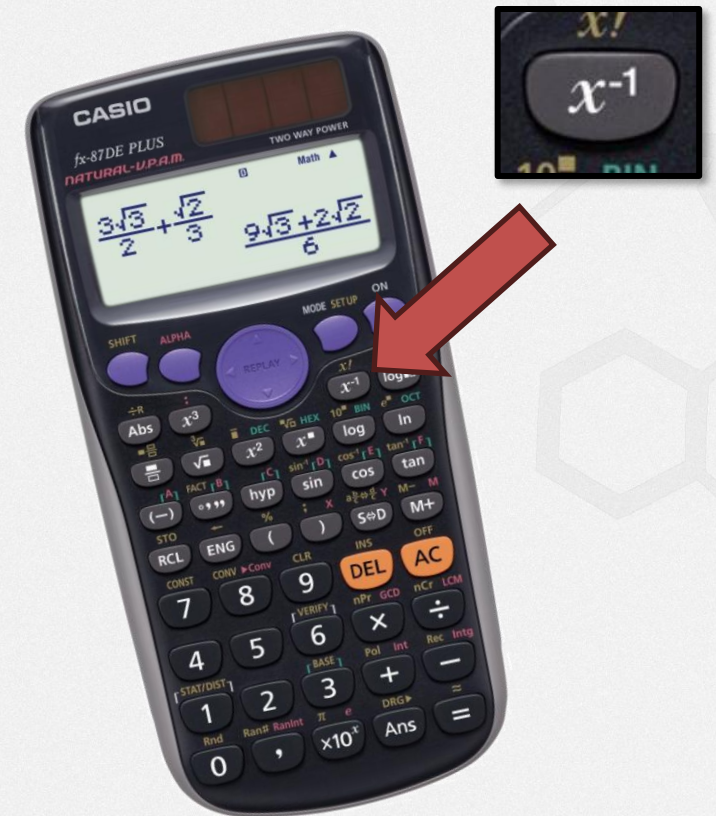
Für den **U-Wert** bilden wir den **Kehrwert von R_T** .

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Einheit: $\frac{W}{m^2 K}$

TIPP:

Kehrwert-Taste:



5 Höchstwerte der U-Werte

Nachweis nach Gebäude-Energie-Gesetz GEG (ALT: EnEV)

$$U_{vorh} \leq U_{zul}$$

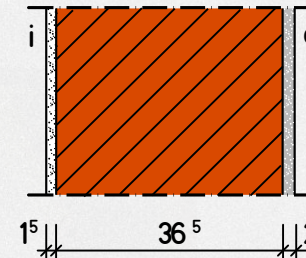
Einheit: $\frac{W}{m^2 K}$

Beispiel:

Außenwand

$$U_{vorh} = \frac{1}{\frac{1}{0,125} + \frac{1}{0,57} + \frac{1}{0,043}} = 1,355 \frac{W}{m^2 K}$$

$$U_{erf} = 0,124 \frac{W}{m^2 K} \neq U_{vor} = 1,355 \frac{W}{m^2 K} \rightarrow \text{NACH GEG NICHT zulässig!}$$



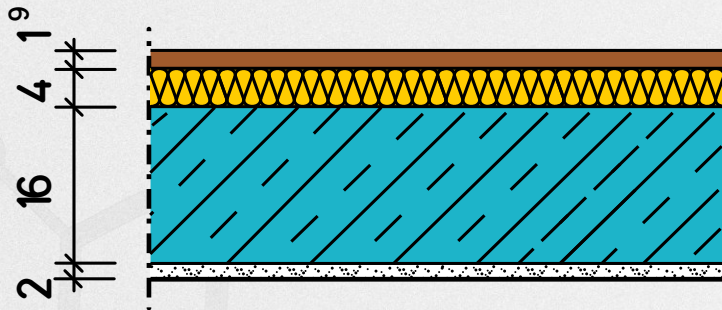
5.3 Energieeinsparverordnung

Ausführung des Referenzgebäudes (Neubau, Wohngebäude)			
Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U in W/(m²·K)			
Bauteil/System	erstmaliger Einbau, Ersatz oder Erneuerung ab 05/2014		
Innentemperatur $\geq 19^\circ\text{C}$	Anforderungen nach EnEV 2009		
Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	Wärmedurchgangskoeffizient in W/(m²·K)	$U = 0,28$	$U = 0,24$
Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 0,35$	$U = 0,30$
Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 0,20$	$U = 0,20$
Fenster, Fenstertüren, $U_{f,0} = 1,10$ $U_{f,0}$ für Verglasung ohne Rahmen	Wärmedurchgangskoeffizient	$U_{f,0} = 1,30$	$U_{f,0} = 1,30$
	Gesamtenenergiedurchlass	$g_{f,0} = 0,60$ (Verglasung)	
Dachflächenfenster	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 1,40$	$U = 1,40$
	Gesamtenenergiedurchlass	$g_{f,0} = 0,60$ (Verglasung)	
Lichtkuppeln/Glasdächer	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 2,70$	$U = 2,00$
	Gesamtenenergiedurchlass	$g_{f,0} = 0,64$ (Verglasung)	
Außentüren	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 1,80$	$U = 1,80$
Wärmebrückenanschlag		$\Delta U_{wb} = 0,05 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$	
Luftdichtheit der Gebäudehülle			
<ul style="list-style-type: none">Die Luftwechselzahl n gibt an, wie oft das vorhandene Netto-Raumvolumen in einer Stunde mit der Außenluft ausgetauscht wird, z.B. $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ (m³/h).Nassverputztes Mauerwerk mit mindestens einer verputzten Oberfläche ist grundsätzlich luftdicht.		Bemessungswert n_{50} Berechnungsverfahren B nach DIN EN 13829 bei einer Druckdifferenz von 50 Pa (Blower-Door-Test)	
Sonnenschutzvorrichtung		Soweit hier Sonnenschutzverglasung zum Einsatz kommt, ist bei Fenstern, Türen und Dachflächenfenstern $g_{f,0} = 0,35$ anzusetzen.	
Heizungsanlage		Referenzausführung/Wert (Maßeinheit)	
<ul style="list-style-type: none">Wärmeerzeugung durch Brennkessel (verbessert), Heizöl EL, Aufstellung: – für Gebäude bis zu 500 m² Gebäudenutzfläche innerhalb der thermischen Hülle – für Gebäude mit mehr als 500 m² Gebäudenutzfläche außerhalb der thermischen HülleAuslegungstemperatur $55^\circ\text{C}/45^\circ\text{C}$, zentrales Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge und Anbindeleitungen, Pumpe auf Bedarf ausgelegt (geregelt, Δp konstant), Rohrnetz hydraulisch abgeglichen, Wärmedämmung der RohrleitungenWärmeübergabe mit freien statischen Heizflächen, Anordnung an normaler Außenwand, Thermostatventile mit Proportionalbereich 1°C			
Warmwasserbereitung		Referenzausführung/Wert (Maßeinheit)	
<ul style="list-style-type: none">zentrale Warmwasserbereitung mit HeizungsanlageSolaranlage (Kombisystem mit Flachkollektor) entsprechend den Vorgaben nach DIN V 18599-8: 2018-09Speicher, indirekt beheizt (stehend), gleiche Aufstellung wie Wärmeerzeuger, Auslegung nach DIN V 4701-10: 2003-08 als kleine Solaranlage bei $A_{K,0} < 500 \text{ m}^2$ (bivalenter Solarspeicher), große Solaranlage bei $A_{K,0} \geq 500 \text{ m}^2$Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge, gemeinsame Installationswand, Wärmedämmung der RohrleitungenDie Anwendbarkeit der DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN 47701-10 gilt bis Ende 2023			
		Das GEG schreibt die Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen vor.	
		Innendurchmesser $d \leq 22 \text{ mm}$ Dicke d. Dämmschicht $\geq 20 \text{ mm}$	
		Innendurchmesser $22 \text{ mm} < d \leq 35 \text{ mm}$ $\Rightarrow 30 \text{ mm}$ Dicke d. Dämmschicht 30 mm	
		Innendurchmesser $d > 35 \text{ mm}$ Dicke d. Dämmschicht $\geq \text{Innen-}\varnothing$	

Übung 9

Operatoren 2025

1. Berechnen Sie U für die unten dargestellten Bauteile. **Weisen** Sie **nach**, ob die Höchstwerte nach GEG (EnEV) eingehalten werden ($U_{\text{vor}} \leq U_{\text{zul}}$)



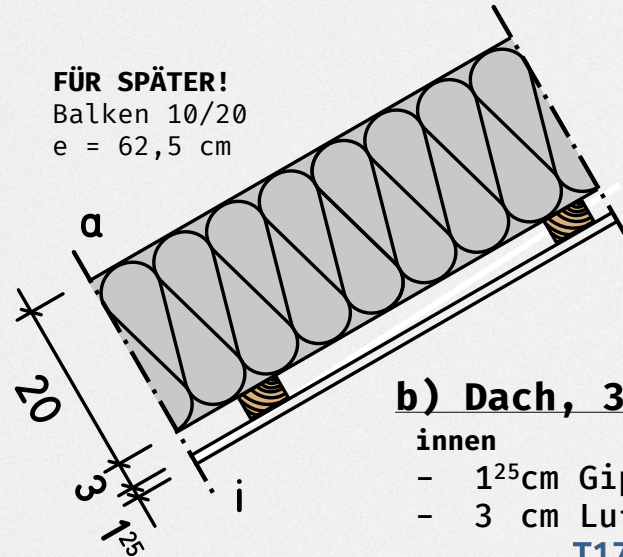
a) Boden gegen Durchfahrt

innen

- 19 cm Eichenbohlen
- 4 cm Trittschalldämmung
- 16 cm Stahlbeton
- 2 cm Kalk-Zement-Putz

außen

FÜR SPÄTER!
Balken 10/20
e = 62,5 cm



b) Dach, 30°

innen

- 125 cm Gipsbauplatte
- 3 cm Luftschicht
- 20 cm Steinwolle WLG033

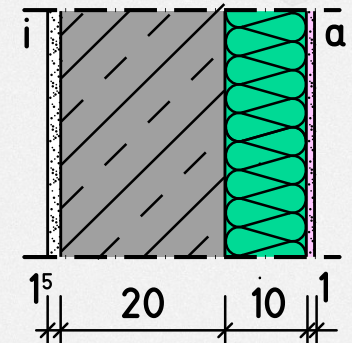
außen

c) Außenwandaufbau

innen

- 15 cm KG-Putz
- 20 cm StB
- 10 cm WD PU zg sh WLG025
- 1 cm KH-Putz

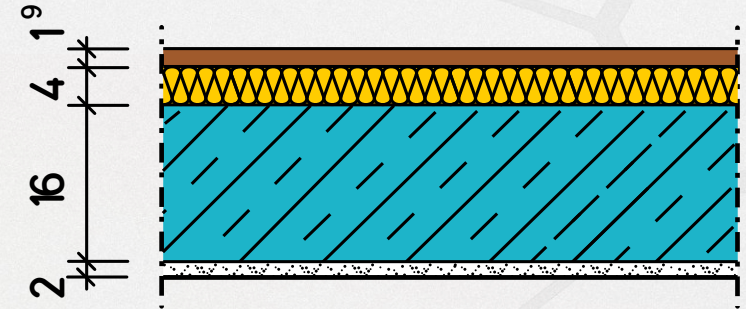
außen



LÖSUNGSVORSCHLAG

9.1 a) $R_T = 1,402 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

$U_{\text{vor}} = \frac{1}{R_T} = \underline{\underline{0,713 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}}$



$U_{\text{eff}} = 0,24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \not\geq U_{\text{vor}} = 0,713 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \rightarrow$ Nach GEG NICHT zulässig!

LÖSUNGSVORSCHLAG

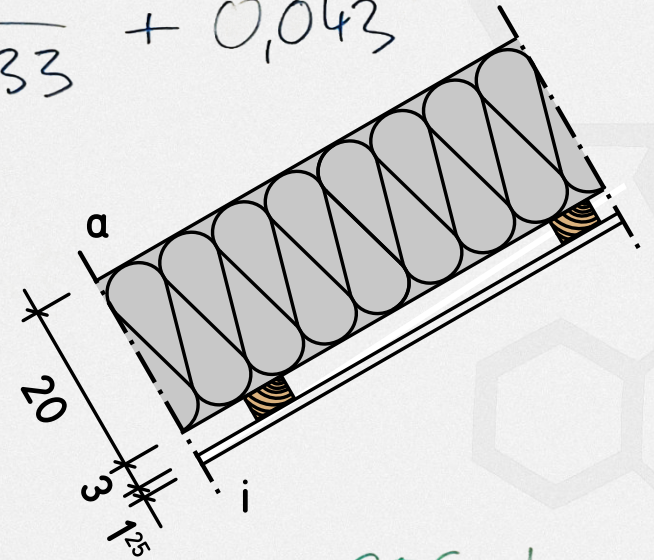
$$b) \quad R_{+} = 0,100 + \frac{0,0125}{0,25} + 0,16 + \frac{0,20}{0,033} + 0,043$$

$$= \underline{\underline{6,414 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}}}$$

$$U_{\text{vor}} = \frac{1}{6,414} = \underline{\underline{0,156 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}}$$

$$U_{\text{ef}} = 0,200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \geq U_{\text{vor}} = 0,156 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad \checkmark$$

Nach GEG
ZULÄSSIG!



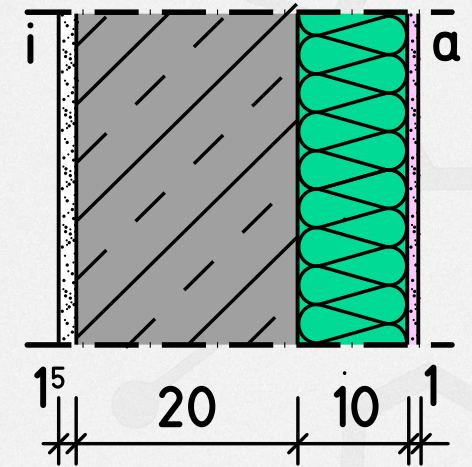
LÖSUNGSVORSCHLAG

$$c) \quad R_T = 0,125 + 4,199 + 0,043$$

$$= 4,287 \frac{m^2k}{W}$$

$$U_{vor} = \frac{1}{4,287} = \underline{\underline{0,233 \frac{W}{m^2k}}}$$

$$U_{erg} = 0,24 \frac{W}{m^2k} \geq U_{vor} = 0,233 \frac{W}{m^2k} \quad \checkmark$$



Nach GEG
ZULASSIG!



1 Wärmeleitfähigkeit Wärmeleitzahl

 λ

$$\frac{W}{m \cdot K}$$

bezogen auf
1,00 m
Materialdicke

Widerstand
= Wärmedämmung

Wärmedurchgang
= Durchlass von Wärme

2 Wärmedurchlass- widerstand

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots$$

$$\frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Bauteilnachweis
nach DIN:

$$R_{\text{vorh}} \geq R_{\text{zul}}$$

3 Wärmeübergangs- widerstand

R_s (innen R_{si} ; außen R_{se})

 R_{si} R_{se}

4 Wärmedurchgangs- widerstand

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

$$\frac{m^2 \cdot K}{W}$$

5 Wärmedurchgangs- koeffizient

Wärmedurchgangszahl

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

$$\frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Bauteilhöchstwerte
nach GEG:

$$U_{\text{vorh}} \leq U_{\text{zul}}$$

konkretes
Bauteil



Berechnungen mit Hilfe einer Tabelle

Die ‚Tabelle‘

U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Bauteil:

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleit- fähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurch- lasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperatur- unterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schicht- temperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}						
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil $R =$					[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil $R_T =$					[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil $U =$					[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta =$					[K]	
Wärmestrom $\phi =$					[W/m²]	

Digital & auf Papier austeilen!

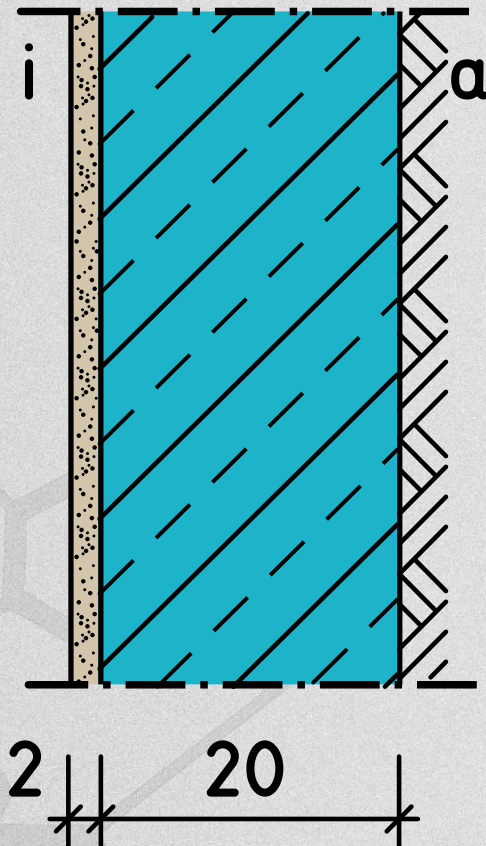


Berechnen Sie mit Hilfe der Tabelle
die Werte **R**, **R_T** und **U**

Übung 10

Übung 10 - Kellerwände

Berechnen Sie mit Hilfe der Tabelle die Werte R , R_T und U



1) KG Wand

innen

- Kalk-Zement-Putz
- Stahlbeton

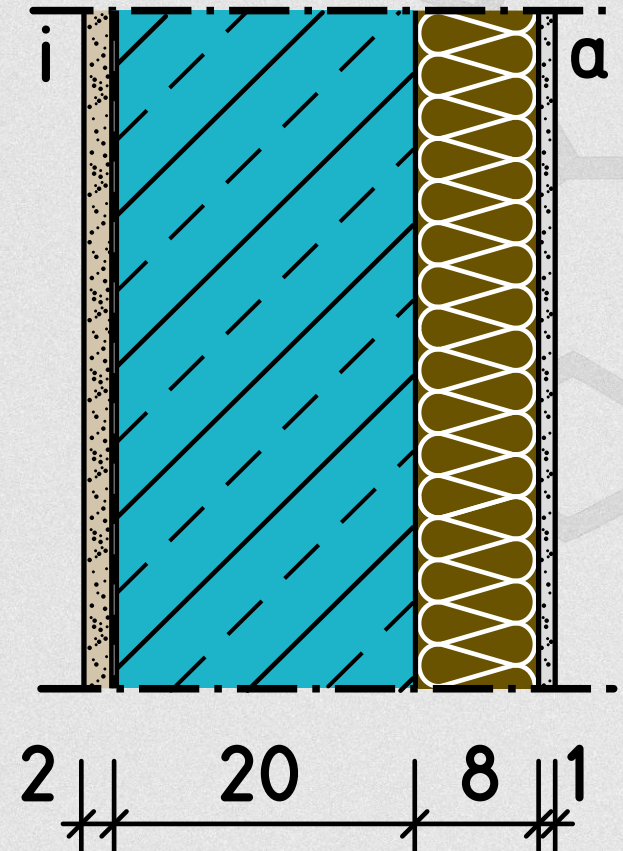
außen

2) Wandaufbau KG

innen

- Kalkputz
- Dampfbremse
- Stahlbeton C30/37
- Schaumglas WLG 050
- Zementputz

außen





U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

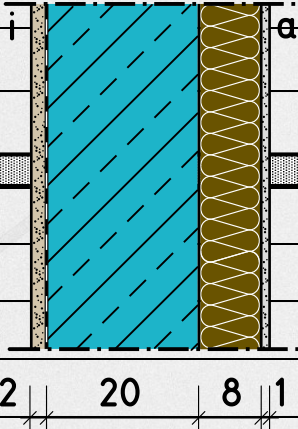
Übung 10.1: KG-Wand

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}				0,125		
1	Kalk-Zement-Putz	0,020	1,000	0,020		
2	Stahlbeton	0,200	2,400	0,083		
3						
4						
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,000		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				0,103	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				0,228	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				4,386	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =						[K]
Wärmestrom ϕ =						[W/m²]

U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Übung 10.2: Wandaufbau KG

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}				0,125		
1	Kalkputz	0,020	1,000	0,020		
2	Stahlbeton	0,200	2,400	0,083		
3	Dämmung Schaumglas	0,080	0,050	1,600		
4	Zementputz	0,010	1,600	0,006		
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,043		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				1,709	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				1,877	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				0,533	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =						[K]
Wärmestrom ϕ =						[W/m²]



Übung 10 - Bodenplatte

Berechnen Sie mit Hilfe der Tabelle die Werte R , R_T und U

3) BESTAND

innen

- Buchenparkett
- Estrich CT
- EPS WLG 050
- Stahlbeton

außen

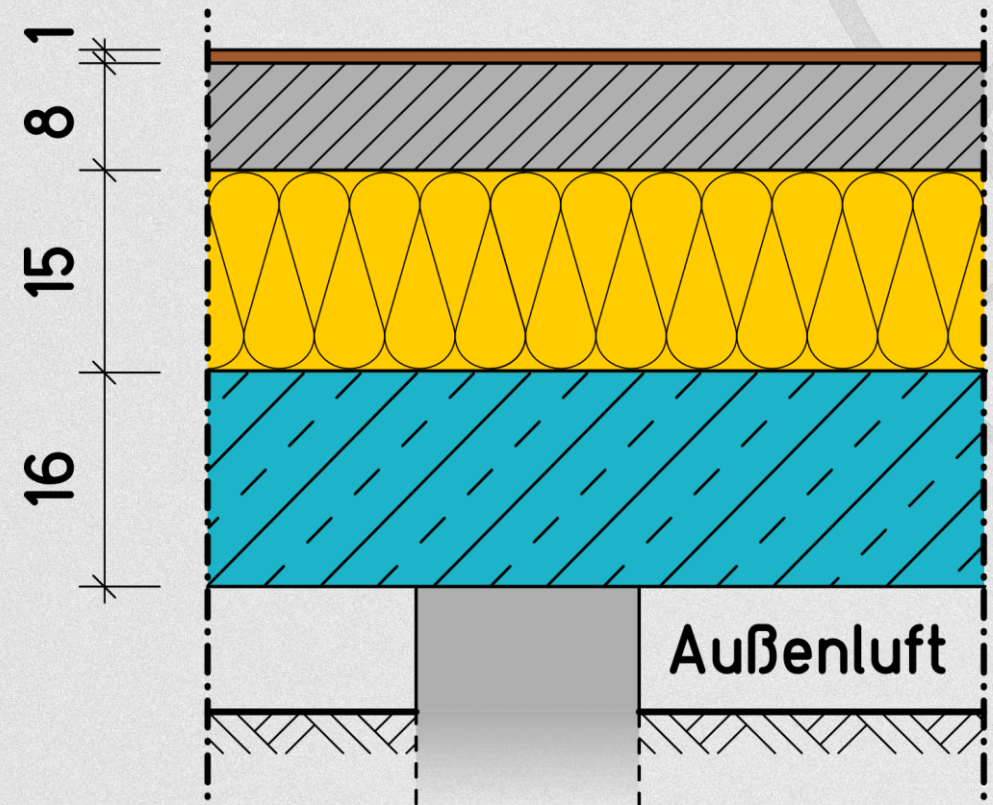
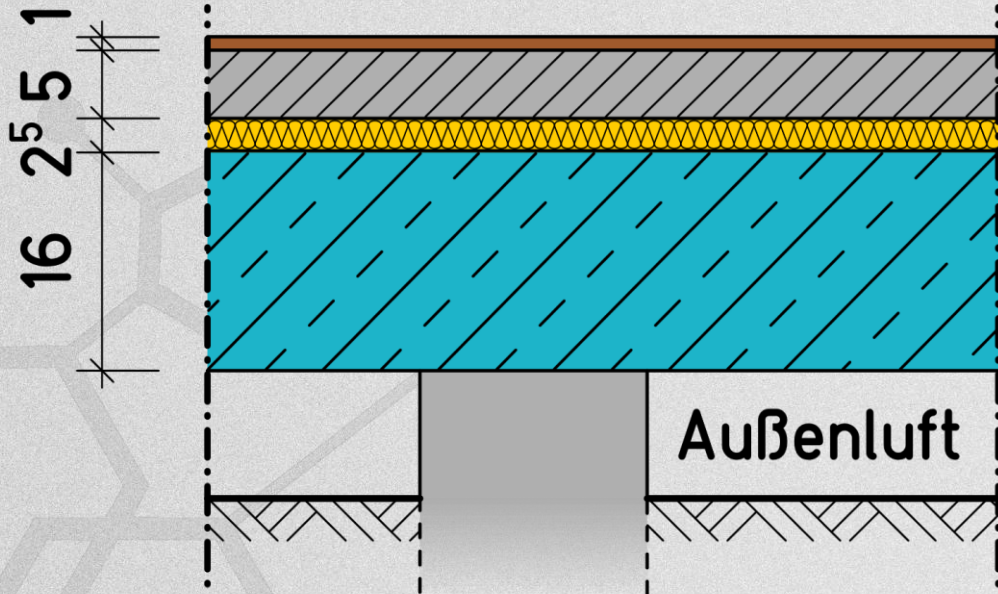
4) SANIERUNG

innen

- Buchenparkett
- Heizestrich CA
- EPS WLG 035
- Stahlbeton

außen

Estricharten:
T17 S.:255

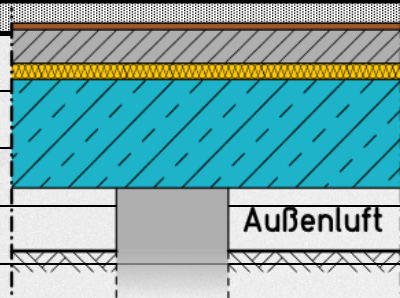




U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Übung 10.3: Bodenplatte BESTAND

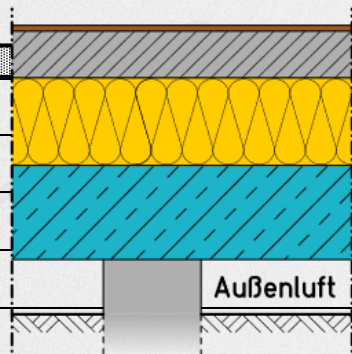
Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}				0,167		
1	Buchenparkett	0,010	0,180	0,056		
2	Estrich CT	0,050	1,400	0,036		
3	Trittschalldaemmung EPS	0,025	0,040	0,625		
4	StB, aufgeständert	0,160	2,400	0,067		
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,043		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				0,784	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				0,994	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				1,006	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =					[K]	
Wärmestrom ϕ =					[W/m²]	



U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

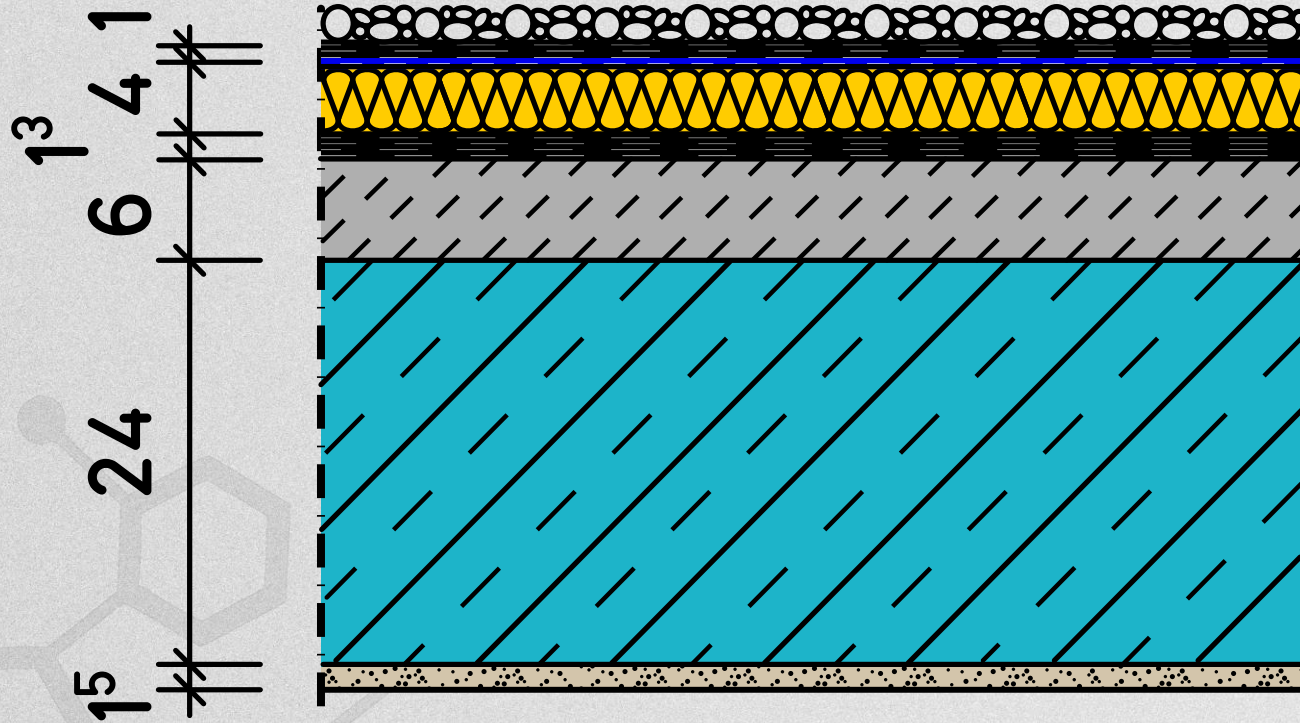
Übung 10.4: Bodenplatte SANIERUNG

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}				0,167		
1	Buchenparkett	0,010	0,180	0,056		
2	Heizestrich CA	0,080	1,200	0,067		
3	Trittschalldämmung EPS	0,150	0,035	4,286		
4	StB, aufgeständert	0,160	2,400	0,067		
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,043		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil $R =$				4,476	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil $R_T =$				4,686	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil $U =$				0,213	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta =$						[K]
Wärmestrom $\phi =$						[W/m²]



10.5 - Flachdach

Berechnen Sie mit Hilfe der Tabelle die Werte R , R_T und U

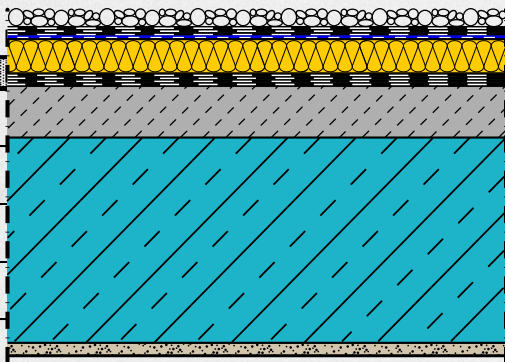


- Oberhalb der Dachhaut die Schichten **NIE ansetzen**, da diese nass werden können
- 3 Lagen Glasvlies-Bitumendachbahn (insges. $\approx 1,0$ cm)
- Dampfdruckausgleichsschicht (in der WD-Berechnung ignorieren)
- 4 cm Dämmschicht WLG 050
- 4 Lagen Bitumenschweißbahn (insges. $\approx 1,3$ cm)
- 6 cm Magnesia-Estrich an der Stelle mit der geringsten Dicke
- 24 cm Stahlbeton
- 1,5 cm Innenputz (Kalkzement)

U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Übung 10.5: Flachdach

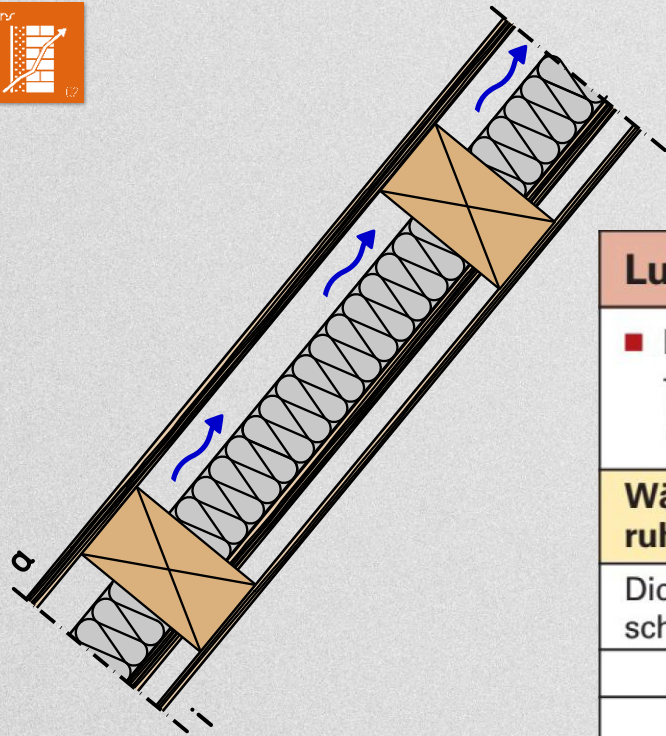
Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}					0,100	
1	Glasvlies-Bitumendachbahn	0,010	0,170	0,059		
2	Dämmschicht	0,040	0,050	0,800		
3	Bitumenschweißbahn	0,013	0,170	0,076		
4	Estrich (Magnesia)	0,060	0,700	0,086		
5	StB	0,240	2,400	0,100		
6	Kalkzement-Putz	0,015	1,000	0,015		
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}					0,043	
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				1,136	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				1,279	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				0,782	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =						[K]
Wärmestrom ϕ =						[W/m²]





Luftschichten

Luftschichten



Luftschichten

- **Ruhende Luftschichten** bezeichnen Luftschichten, die nicht mit der das Bauteil umgebenden Luft in Verbindung stehen.

Wärmedurchlasswiderstand R_g in $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ruhender Luftschichten (DIN EN ISO 6946)

Dicke der Luftschicht in mm	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

Zwischenwerte können interpoliert werden.

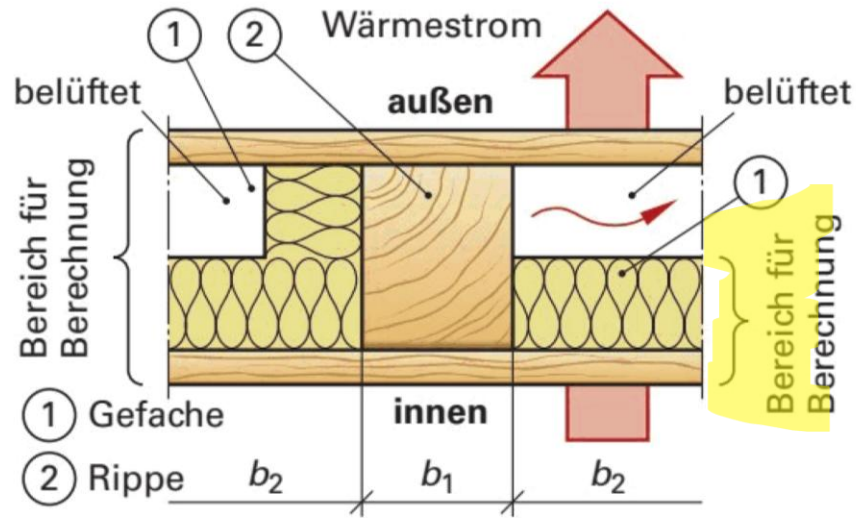
Die Werte unter „horizontal“ gelten auch für einen Wärmestrom von $\pm 30^\circ$ zur horizontalen Ebene.

- Bei Außenbauteilen mit **stark belüftetem** Gefachebereich erbringen die Bauteile zwischen der Luftschicht und der Außenluft keinen wesentlichen Anteil zum Wärmeschutz. Sie werden beim rechnerischen Ansatz nicht berücksichtigt. Hier ist $R_{se} = R_{si} = 0,125 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$.
- **Schwach belüftet** ist eine Luftschicht, wenn die Verbindungsöffnungen **1500 mm^2/m^2 nicht übersteigen**. Für solche Luftschichten darf für den Wärmedurchgangswiderstand R_g die **Hälfte** des entsprechenden Tabellenwertes angesetzt werden, allerdings nur **bis zum maximal regulären Tabellenwert 0,15 $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$** .
- Bei **zweischaligem Mauerwerk** nach DIN EN 1996-1-1/NA dürfen Luftschicht und Vorsatzschale in die Berechnung mit einbezogen werden. Die Luftschicht (Hinterlüftung) wird als ruhend eingestuft, **wenn die Verbindungsöffnung 500 mm^2/m nicht überschreitet.** **Empfohlen wird,** Luftschicht und Vorsatzschale nicht zu berücksichtigen und mit $R_{se} = R_{si} = 0,125 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ zu rechnen.

ACHTUNG! Höhe ...

Rippen und Gefache

- Die Rippenhöhe ist in Abhängigkeit von der Anordnung der Dämmschicht (Dämmhöhe) zu berücksichtigen. Das heißt der Sparren darf nur in der Dicke der Dämmschicht wärmetechnisch berücksichtigt werden ► S.173.



belüftetes Flachdach

Kriterium:

- Regenschutzfunktion sowie
- Wärmeschutzfunktion
- Schallschutzfunktion
- statische Funktion

Alle Funktionen durch zwei getrennte Schalen



Bild 3: Dachaufbau



Berechnen Sie mit Hilfe der in
EXCEL selbst erstellten Tabelle
die Werte **R**, **R_T** und **U**

Übung 11

- Luftschichten -



Übung 11 - Luftschichten

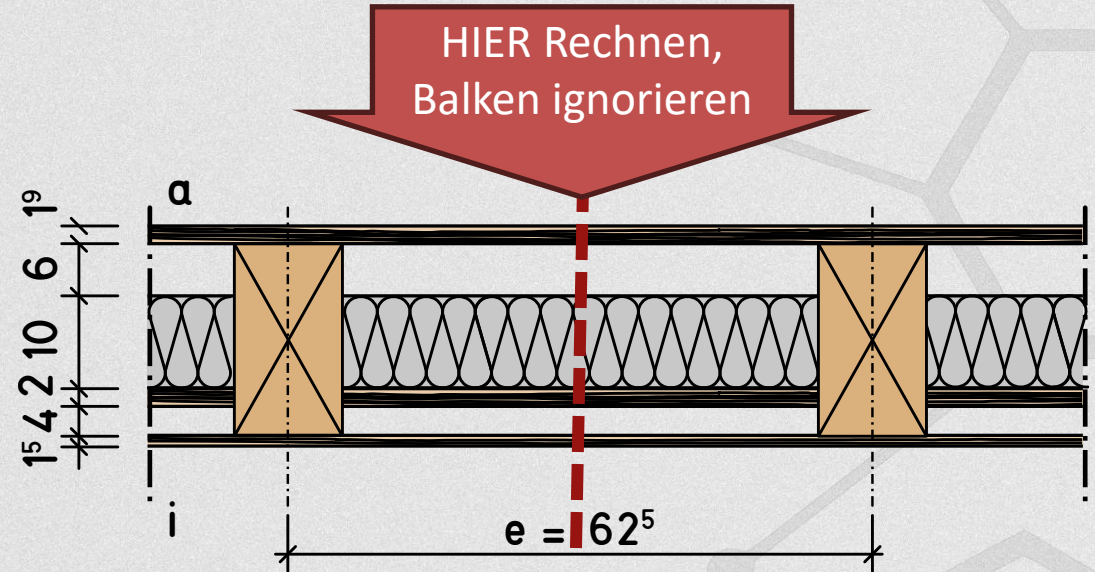
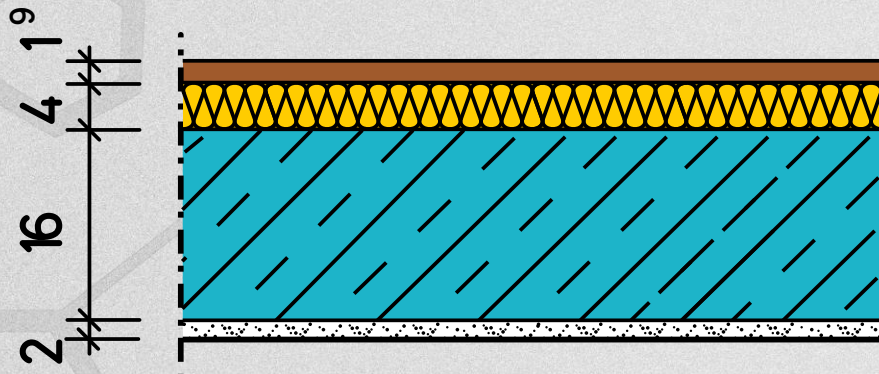
1) Kehlbalkendecke

Luftschicht oben: Schwach
unten: nicht belüftet

oben

- OSB-Platte $0,65 \text{ kg/dm}^3$, 1,3 cm
- Luft, 6 cm
- Mineralwolle WLG 035, 10 cm
- Einschub aus Nadelholz, 2 cm
- Luft, 4 cm
- Holzschalung: Kiefer, 1,5 cm

unten



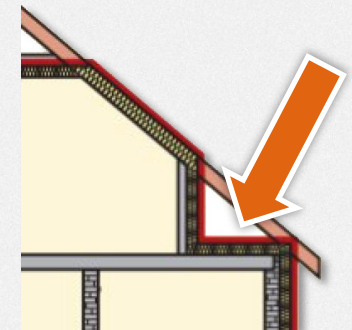
2) Decke unter Abseite

Dachdämmung nicht weitergeführt

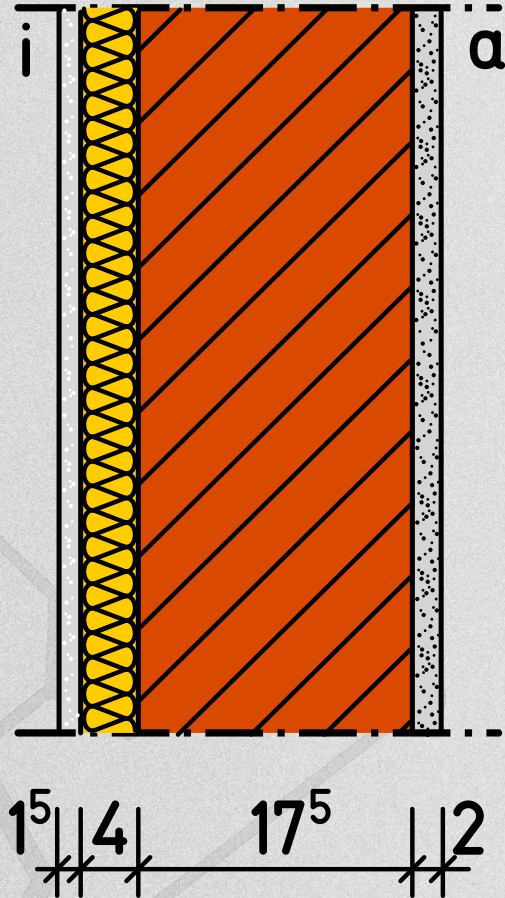
oben

- OSB-Platte $0,65 \text{ kg/dm}^3$
- PU-Platten WLG 040
- Stahlbeton
- Kalkputz

unten



Übung 11 - Luftschichten



3) Wandnische

innen

- KG-Putz
- Dämmung 4 cm, WLG027
- HLz 0,7-6-3 DF (175) mit LM
- Kalk-Zementputz

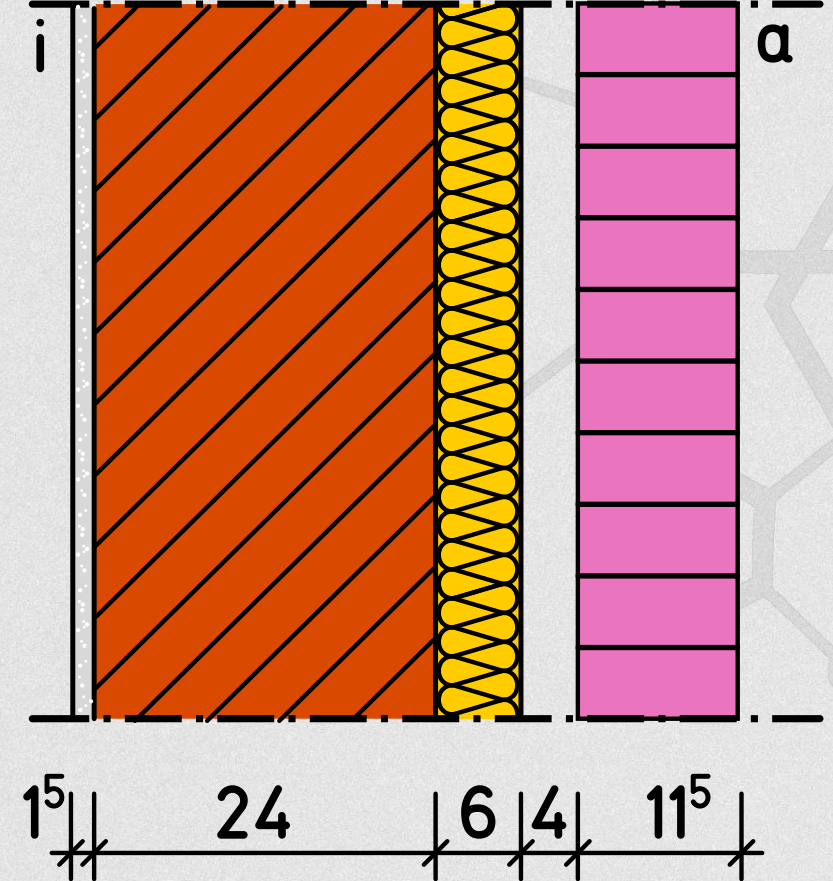
außen

4) Außenwand

innen

- Gips-Kalkputz
- KS 20-1,6
- MW WLG035, 6 cm
- Luftschicht
- KSVm 22-1,8

außen



Luftschicht: unbek. belüftet

Innentemperatur:

18°C

Außentemperatur:

-15°C

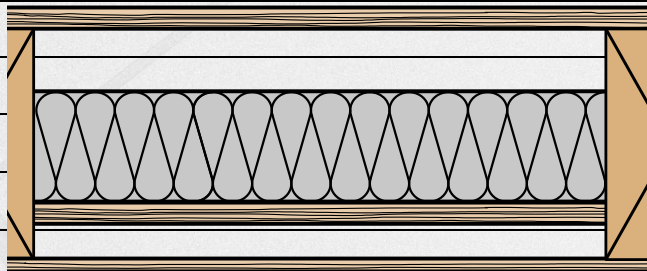
Rel. Luftfeuchte:

50%

U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Übung 11.1: Kehlbalkendecke - DURCH DIE DÄMMUNG

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}				0,100		
1	OSB-Platte, 0,65 kg/dm³	0,013	0,130	0,100		
2	Luft	0,060		0,160		
3	Mineralwolle	0,100	0,035	2,857		
4	Einschub aus NH	0,020	0,130	0,154		
5	Luft	0,040		0,160		
6	Holzschalung, Kiefer	0,015	0,130	0,115		
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,043		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				3,546	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				3,689	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				0,271	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =						[K]
Wärmestrom ϕ =						[W/m²]

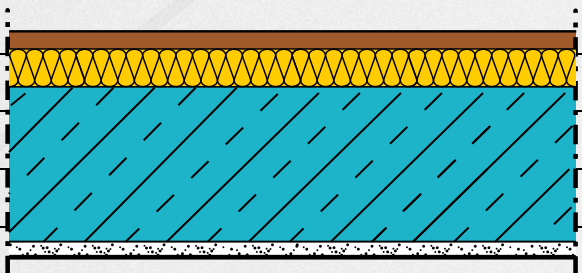




U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Übung 11.2: Decke unter Abseite

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}				0,100		
1	OSB-Platte, 0,65 kg/dm³	0,013	0,130	0,100		
2	PU-Platten	0,040	0,040	1,000		
3	Stahlbeton	0,160	2,400	0,067		
4	Kalkputz	0,020	1,000	0,020		
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,043		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				1,187	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				1,330	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				0,752	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =						[K]
Wärmestrom ϕ =						[W/m²]





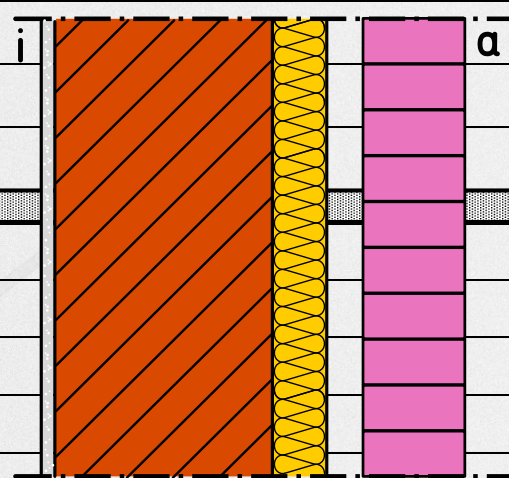
U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Übung 11.3: Wandnische

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}				0,100		
1	KG-Putz	0,015	0,700	0,021		
2	Dämmung	0,040	0,027	1,481		
3	HLz 0,7-6-3DF, LM	0,175	0,310	0,565		
4	Kalk-Zement-Putz	0,020	1,000	0,020		
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,043		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				2,087	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				2,230	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				0,448	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =						[K]
Wärmestrom ϕ =						[W/m²]

U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Übung 11.3: Wandnische

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}						0,100
1	GK-Putz	0,015	0,700	0,021		
2	Kalksandstein $\rho = 1,6 \text{ t/m}^3$	0,240	0,790	0,304		
3	Mineralwolle	0,060	0,035	1,714		
4	Luft	0,040		0,180		
5	Kalksand-Vormauerstein $\rho = 1,8 \text{ t/m}^3$	0,115	0,990	0,116		
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}				0,043		
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil $R =$				2,335	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil $R_T =$				2,478	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil $U =$				0,404	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta =$					[K]	
Wärmestrom $\phi =$					[W/m²]	



Berechnen Sie die Dicke eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDVS) mit einer WLG030 um den U-Wert einzuhalten.

Wählen Sie eine Dicke **aus**, wenn es die Dämmplatten in 2 cm Stufen ab 4 cm Dicke gibt.

Übung 12

- neue Dämmschichtdicke -

Beispiel

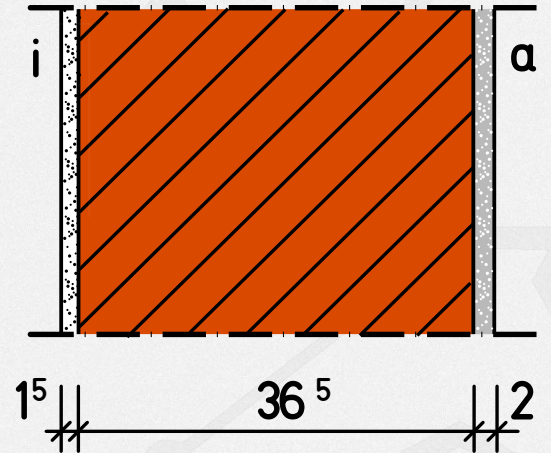
$$U_{\text{erf}} = 0,24 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} ; \lambda = 0,030 ; \underline{\text{WDVS}}$$

$$\leadsto R_{\text{erf}} = \frac{1}{0,24} = 4,1\bar{6} \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Dämm}} = 4,167 - R_{\text{T, Bestand}} = 3,429 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\triangle \frac{d}{R \times \lambda} \leadsto d_{\text{Dämm}} = 3,429 \times 0,030 = \underline{0,103 \text{ m}}$$

gew.: 12 cm



Außenwandaufbau

innen

- 1⁵ cm Kalk-Gipsputz
- 36⁵ cm Hbl $\rho = 1.400 \text{ kg/m}^3$
mit LM36
- 2 cm Kalk-Zementputz

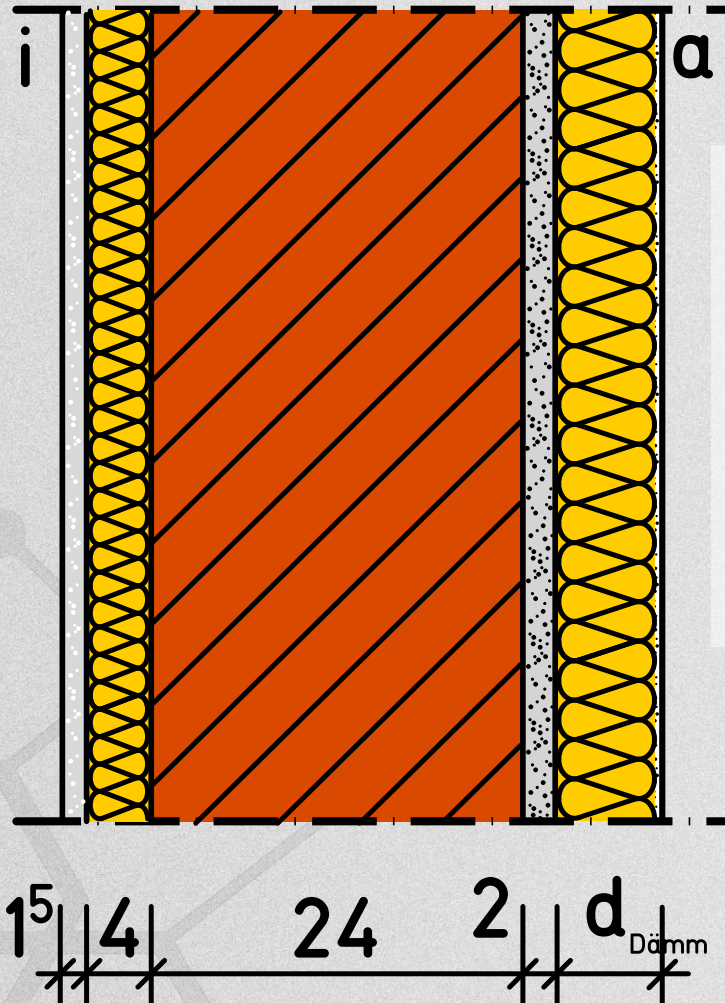
außen

$$R = 0,570 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{T}} = 0,738 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = 1,355 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Übung 12 – Dicke Dämmschicht

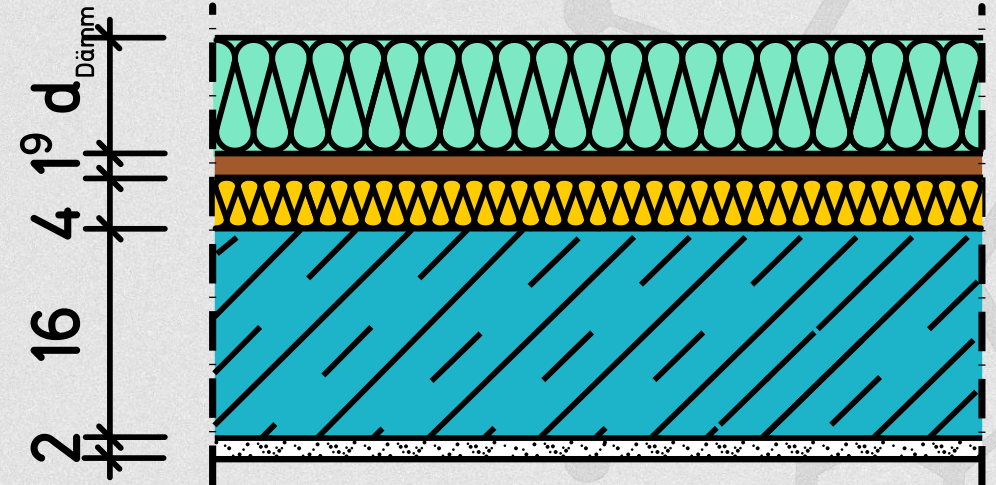


1) Wandnische

innen

- KG-Putz
- Dämmung 4 cm, WLG 0,027
- HLz W 0,7-6-3 DF mit LM36
- Kalk-Zementputz
- WDVS WLG027

außen



2) Decke unter Abseite

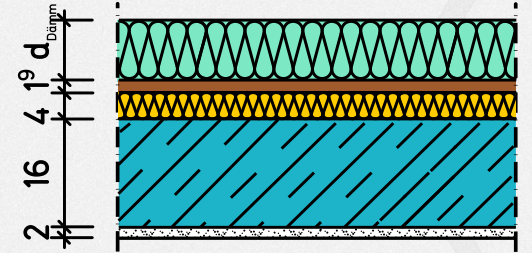
Dachdämmung nicht weitergeführt

oben

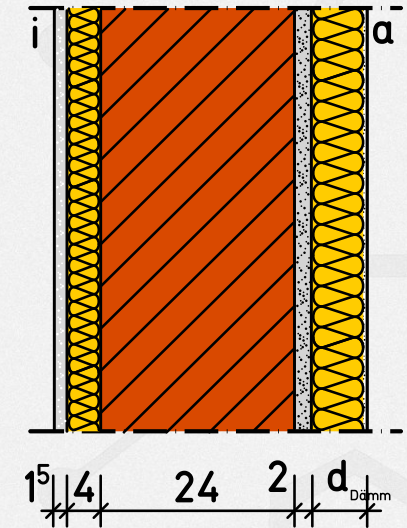
- trittfeste PU-Platten WLG030
- OSB-Platte 0,65 kg/dm³
- PU-Platten WLG 040
- Stahlbeton
- Kalkputz

unten

LÖSUNGSVORSCHLAG



LÖSUNGSVORSCHLAG





Mittelwerte

R_m , $R_{T,m}$ & U_m

Mittlere Werte R_m / U_m

Variante 1: **Flächenbezogen**

$U_{m,1}$: über U-Werte der Bauteile

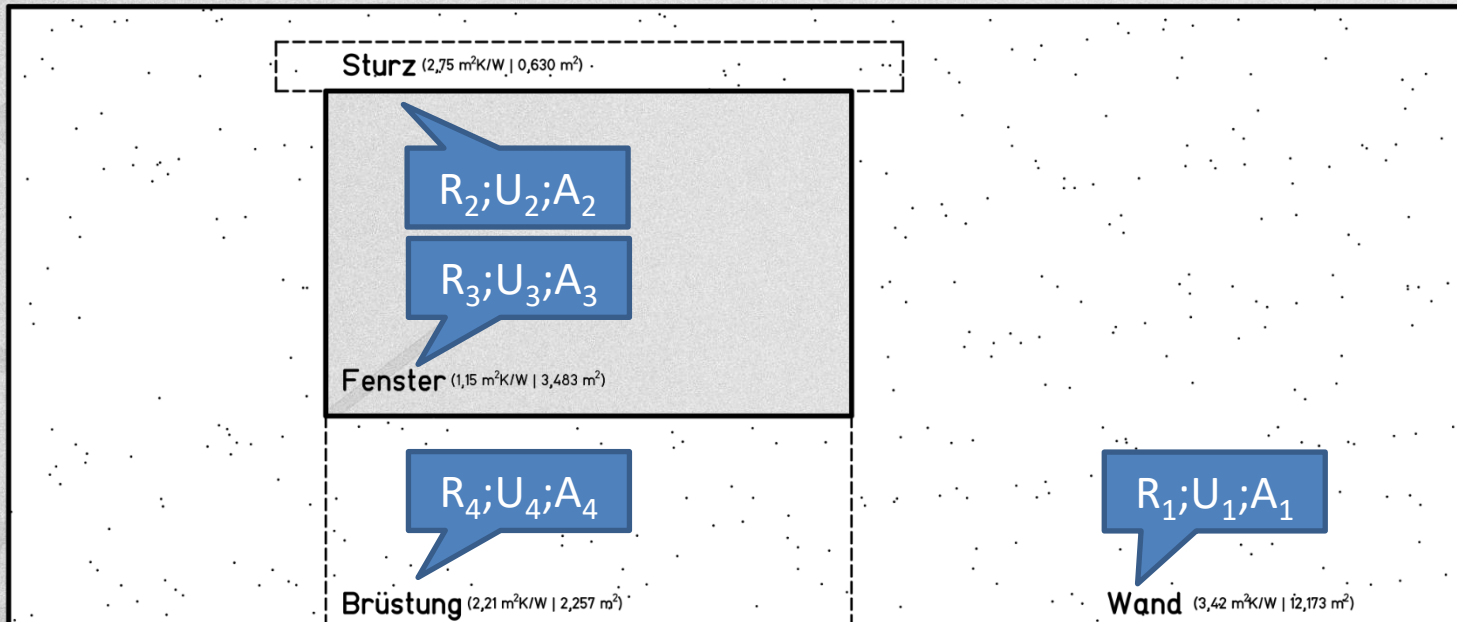
R_m : über R-Werte der Bauteile

$U_{m,2}$: über R_m
Genauer, da R_{si} & R_{se} nur 1x berücksichtigt

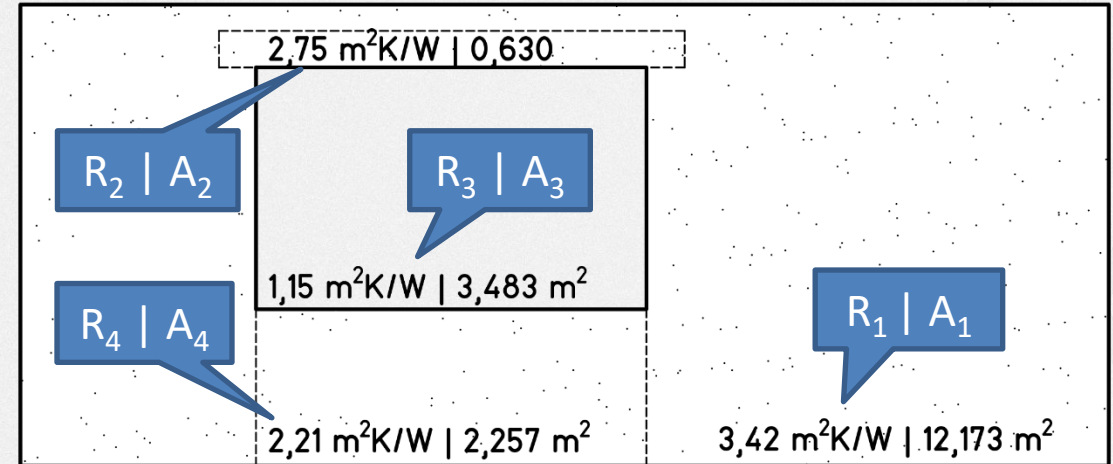
$$U_{m,1} = \frac{U_1 \cdot A_1 + U_2 \cdot A_2 + \dots + U_n \cdot A_n}{\sum A_n}$$

$$R_m = \frac{\sum A_n}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

$$U_{m,2} = \frac{1}{R_{si} + R_m + R_{se}}$$



Beispiel



$$R_m = \frac{\sum A_n}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}$$

$$U_{m,2} = \frac{1}{R_{si} + R_m + R_{se}}$$

Mittlere Werte R_m / U_m

Variante 2: **Breitenbezogen**

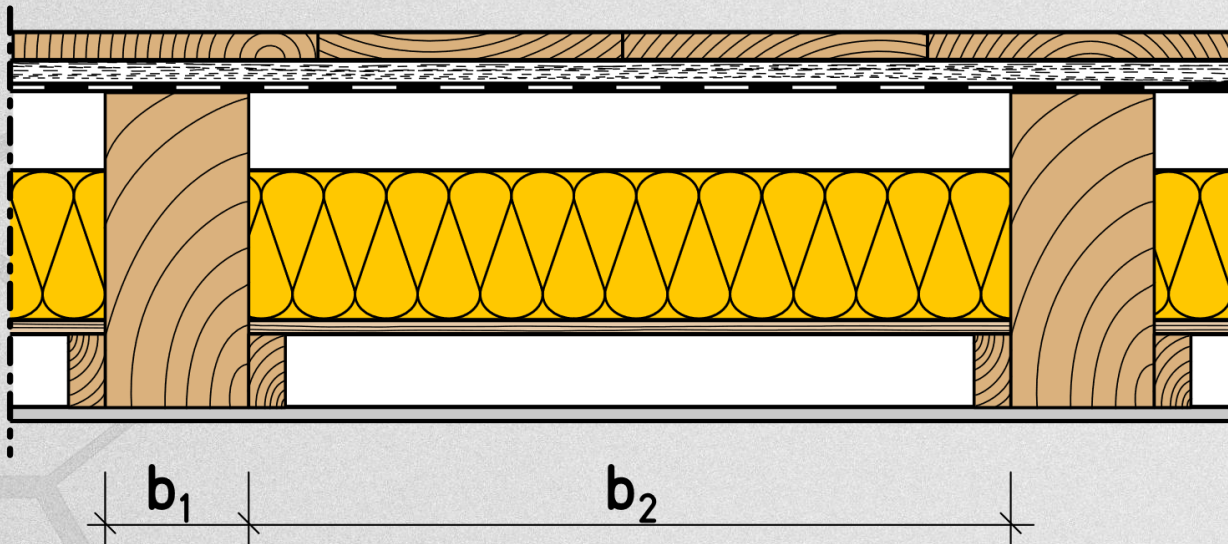
$U_{m,1}$: über U-Werte der Bauteile

R_m : über R-Werte der Bauteile

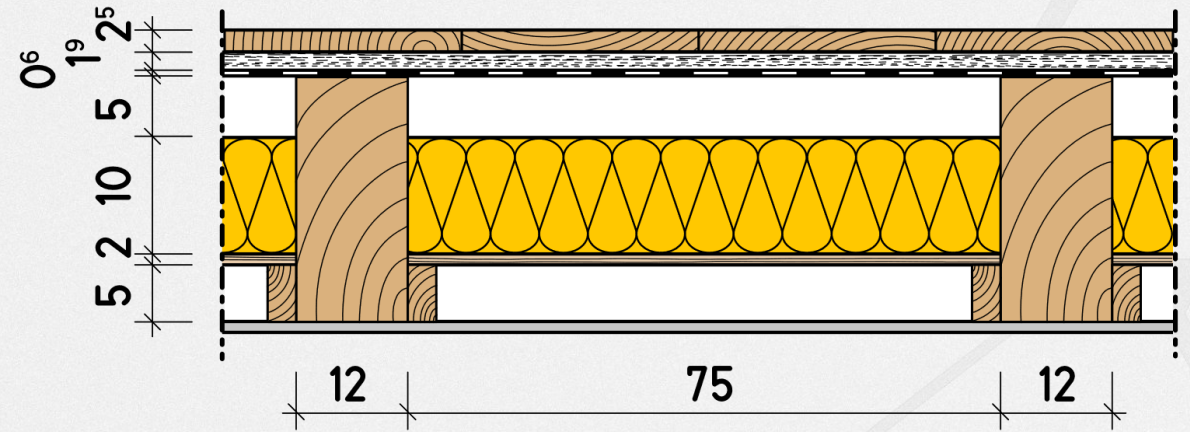
$U_{m,2}$: über R_m
Genauer, da R_{si} & R_{se} nur 1x berücksichtigt

$$R_m = \frac{\sum b_n}{\frac{b_1}{R_1} + \frac{b_2}{R_2} + \dots + \frac{b_n}{R_n}}$$

$$U_{m,2} = \frac{1}{R_{si} + R_m + R_{se}}$$



Beispiel



$$R_m = \frac{\sum b_n}{\frac{b_1}{R_1} + \frac{b_2}{R_2} + \dots + \frac{b_n}{R_n}}$$

$$U_{m,2} = \frac{1}{R_{si} + R_m + R_{se}}$$

Mittlere Werte R_m / U_m

Variante 3: **Prozentual**

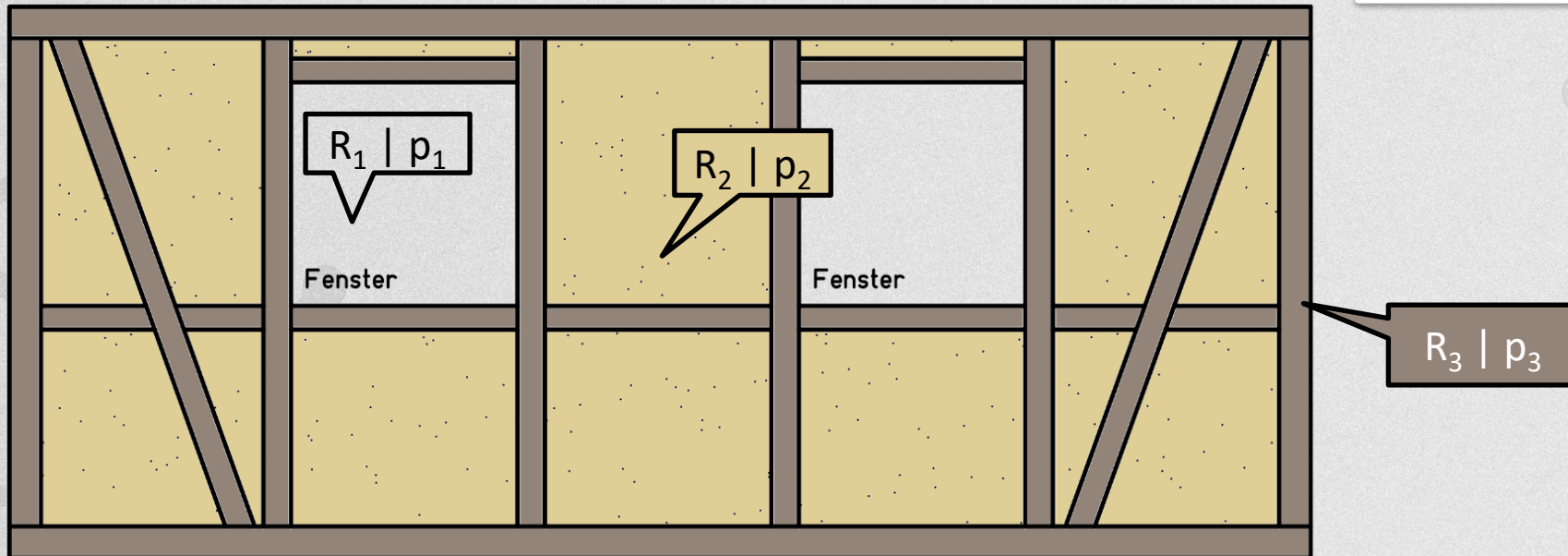
$U_{m,1}$: über U-Werte der Bauteile (TB17 168)

R_m : über R-Werte der Bauteile

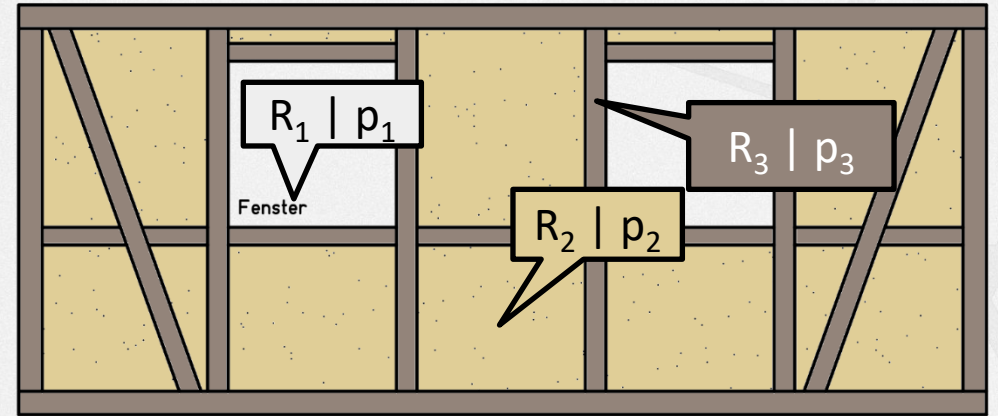
$U_{m,2}$: über R_m
Genauer, da R_{si} & R_{se} nur 1x berücksichtigt

$$R_m = \frac{100\%}{\frac{p_1}{R_1} + \frac{p_2}{R_2} + \dots + \frac{p_n}{R_n}}$$

$$U_{m,2} = \frac{1}{R_{si} + R_m + R_{se}}$$



Beispiel



$$R_m = \frac{100\%}{\frac{p_1}{R_1} + \frac{p_2}{R_2} + \dots + \frac{p_n}{R_n}}$$

$$U_{m,2} = \frac{1}{R_{si} + R_m + R_{se}}$$



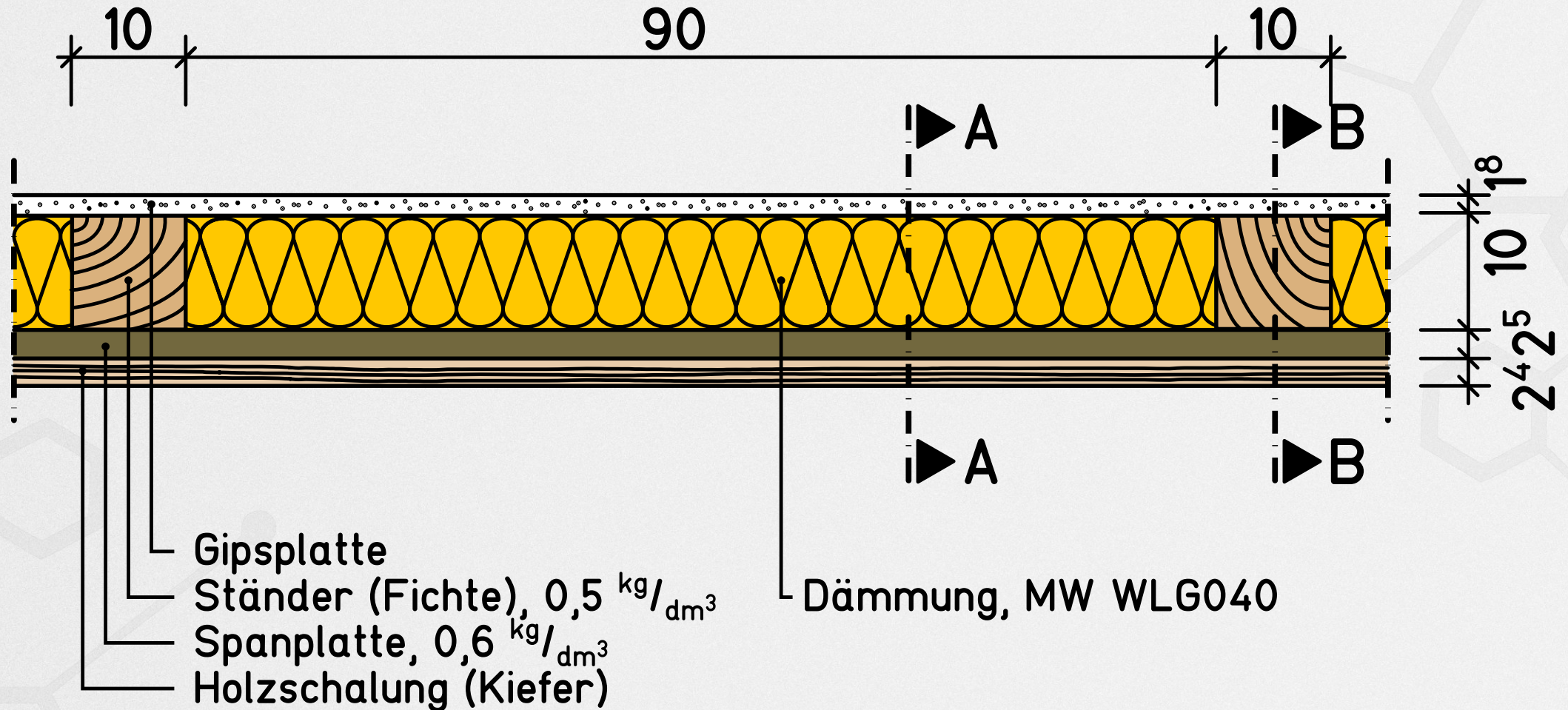
Berechnen Sie schriftlich
die Werte R_m , $R_{T,m}$ und U_m

Übung 13

- Mittelwerte -

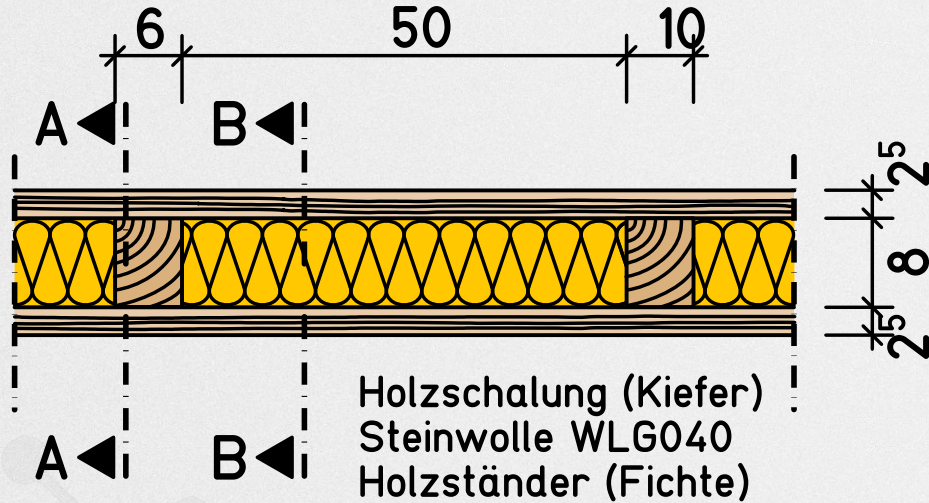
Übung 13 - Mittelwerte

1) Ständerwand im Bungalow

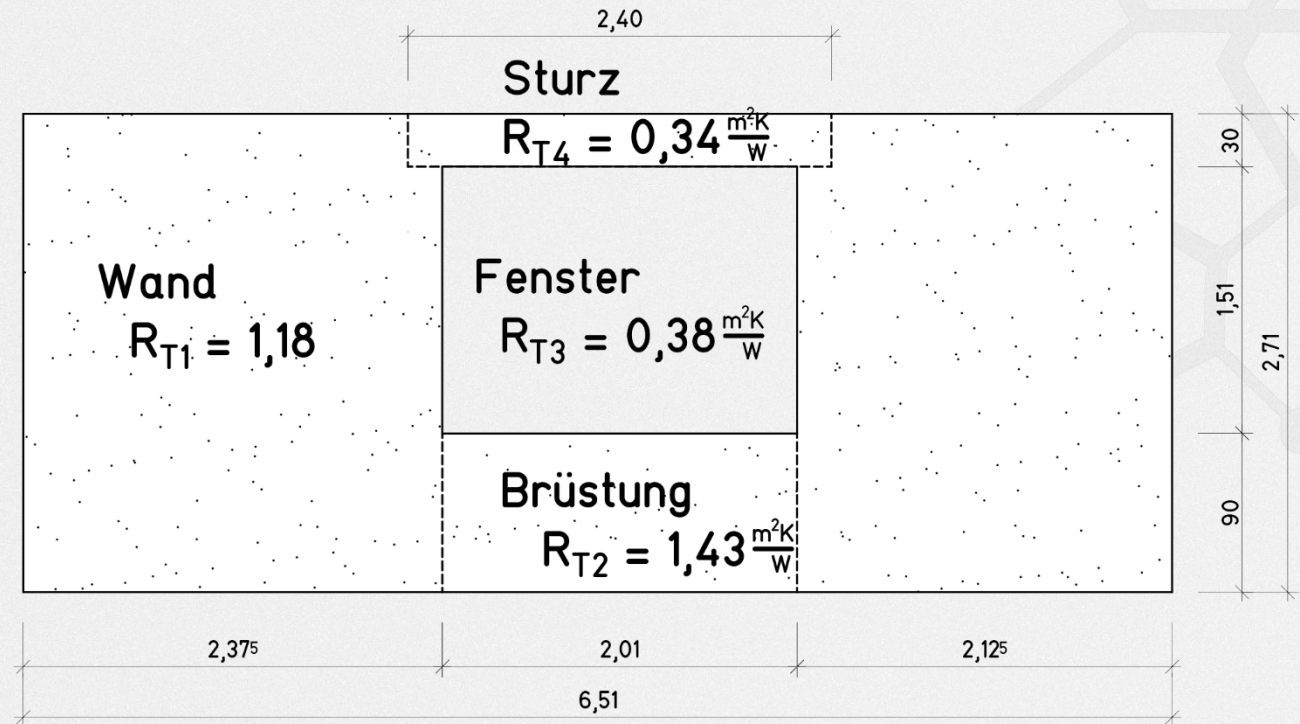


Übung 13 - Mittelwerte

2) Ferienhaus Giebelwand

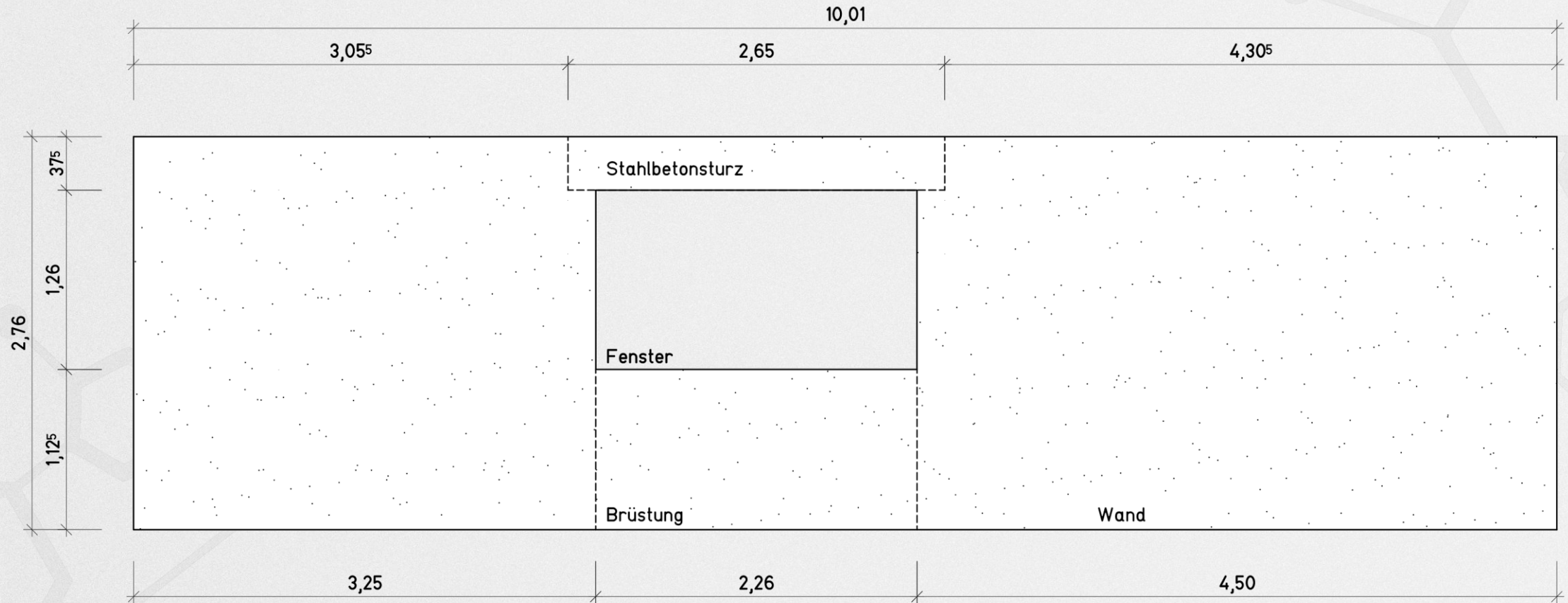


3) Außenwand Garage (beheizt)



13.4 - Mittelwerte

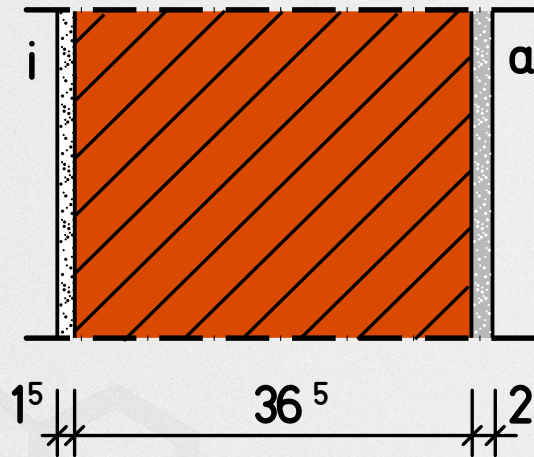
4) Bungalow – Abmessungen



13.4 - Mittelwerte

4) Bungalow – Aufbauten

Wand

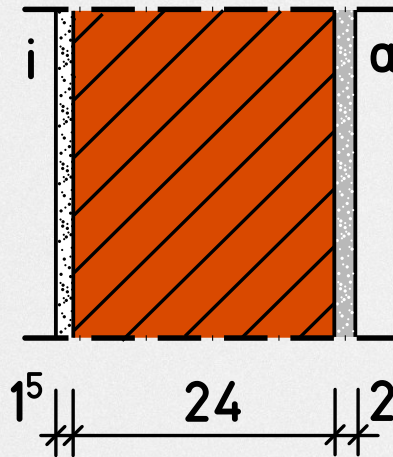


innen

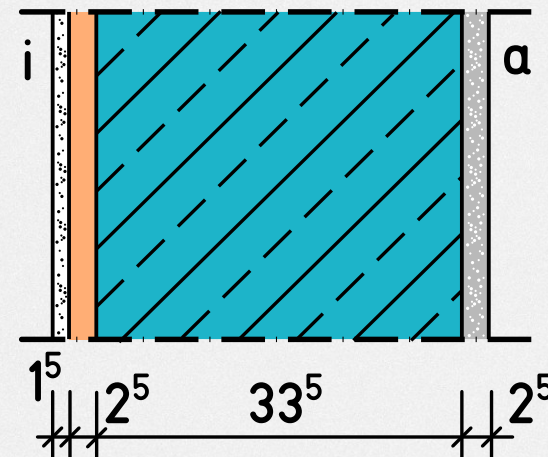
- 1⁵ cm Kalk-Gipsputz
- 24/36⁵ cm HLzW, 0,80 kg/m³
- 2 cm Kalk-Zementputz

außen

Brüstung



Sturz



innen

- 1⁵ cm Kalk-Gipsputz
- 2⁵ cm Holzwoleplatten WLG065
- 33⁵ cm Stahlbeton
- 2⁵ cm Kalk-Zementputz

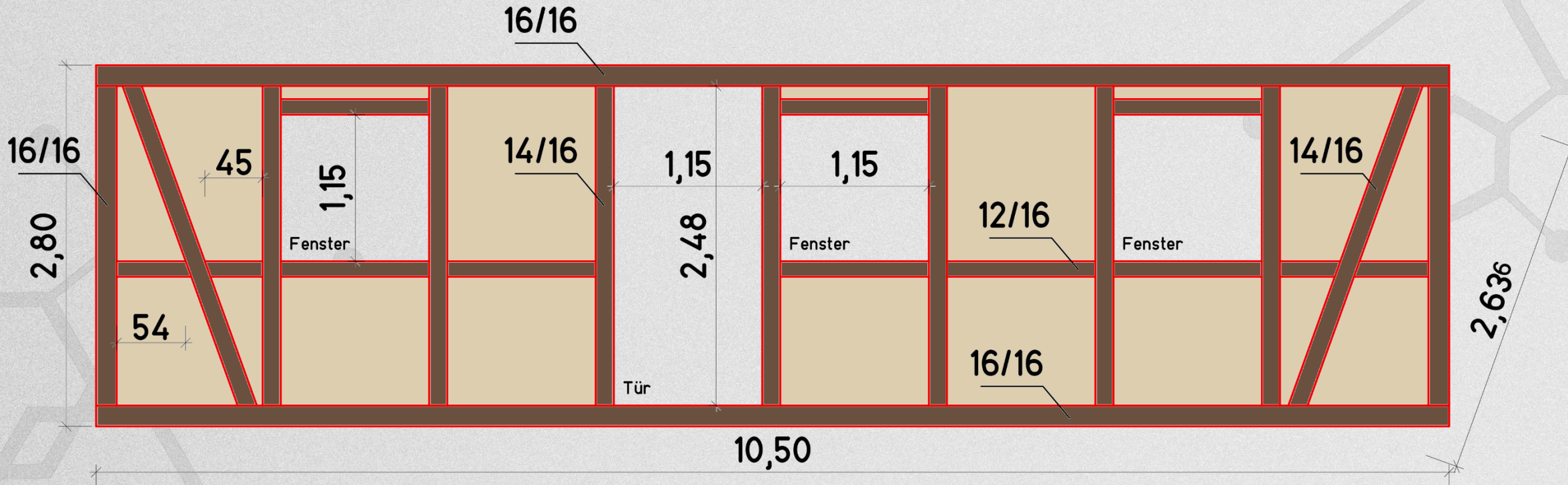
außen

12.5 - Mittelwerte

Bei einer Fachwerkwand besteht das Fachwerk aus

- Eichenholz ($\lambda=0,13 \text{ W/mK}$; 29,1% der Fläche) und die
- Ausfachung aus Lehmwickel mit Stroh auf Holzstaken ($\lambda= 0,50 \text{ W/mK}$).
- Fenster und Tür sind gleichwertig ($R = 1,800 \text{ m}^2\text{k/W}$; 23,2% der Fläche).

Ermitteln Sie mit Hilfe der Prozente den mittleren U-Wert.

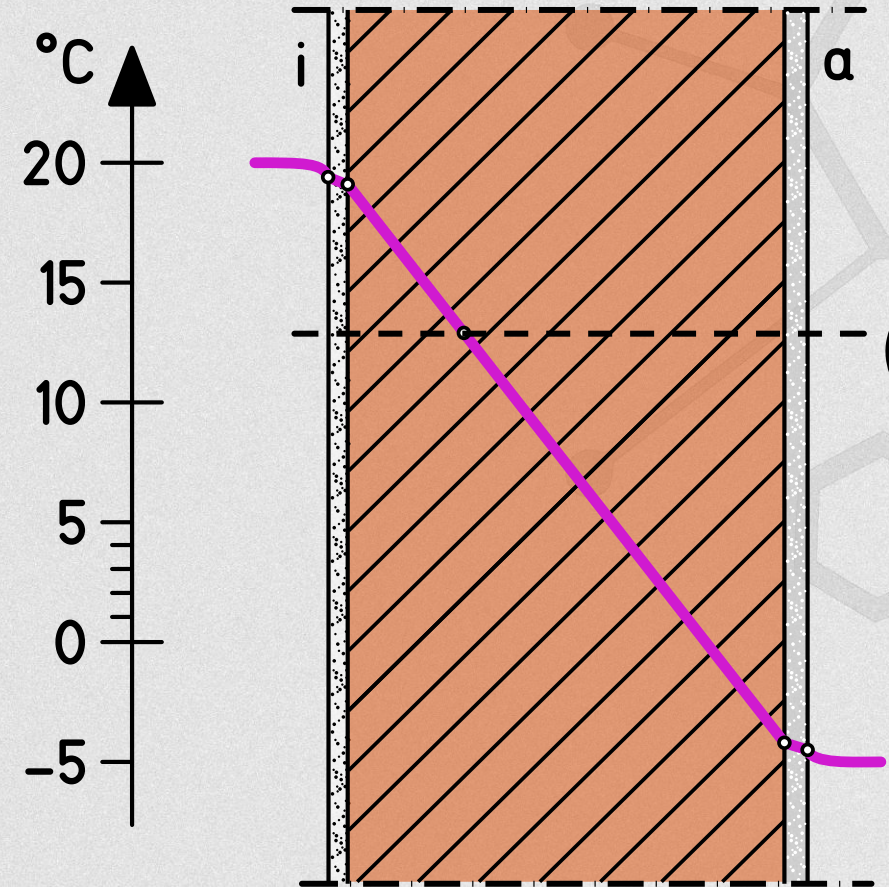


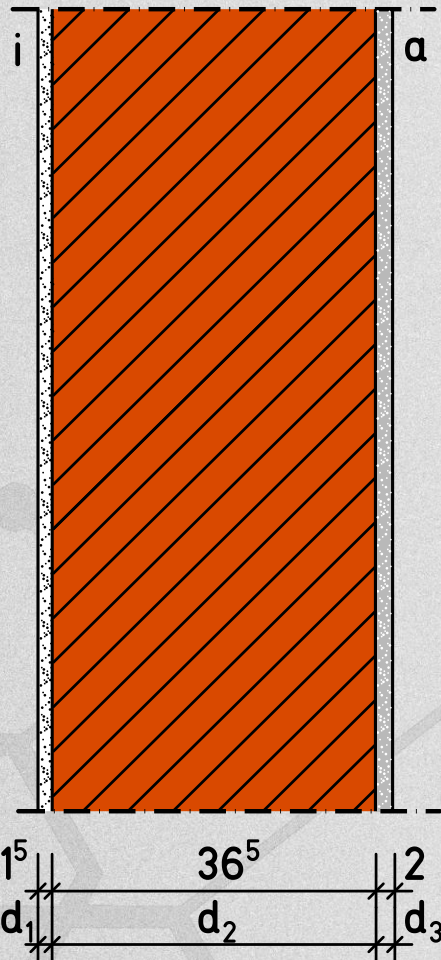


Temperatur- verlauf

Die Bestimmung der einzelnen Temperaturen an den Schichtgrenzen ist notwendig:

- Um den Temperaturverlauf durch ein Bauteil zeichnen zu können (**plastische Darstellung, welche Schicht am besten dämmt**)
- Um feststellen zu können, **in welcher Schicht** ein **Tauwasserausfall** stattfindet





Außenwandaufbau

innen

- 15 cm Kalk-Gipsputz
- 36 cm Hbl $\rho = 1.400 \text{ kg/m}^3$ mit LM36
- 2 cm Kalk-Zementputz

außen

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,015}{0,700} + \frac{0,365}{0,690} + \frac{0,020}{1,000} = 0,570 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_T = \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{8} + 0,57 + \frac{1}{23} = 0,739 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,739} = 1,353 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Wenn die Temperaturdifferenz Innen zu Außen auf den Wärmedurchgangswiderstand R_T bezogen wird,

$$R_T = 0,739 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \hat{=} \Delta\theta = |\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}| = 25^\circ \text{K}$$

Kann für jede einzelne Schicht mit dessen R-Wert, die Temperaturdifferenz dieser Schicht ermittelt werden:

$$\text{z.B.} = \frac{25 \times 0,125}{0,739} = 4,229^\circ\text{K}$$

$$R_T = \frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,700} + \frac{0,365}{0,690} + \frac{0,020}{1,000} + \frac{1}{23} = 0,739 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad A \quad 25^\circ \text{K}$$

$$= 0,125 + 0,021 + 0,529 + 0,020 + 0,043$$

Temperaturunterschiede je Schicht :

$$\Delta\theta_i = \frac{\Delta\theta \cdot R_i}{R_T}$$

$$\rightarrow 4,2^\circ\text{K} + 0,7^\circ\text{K} + 17,9^\circ\text{K} + 0,7^\circ\text{K} + 1,5^\circ\text{K} = 25^\circ\text{K}$$

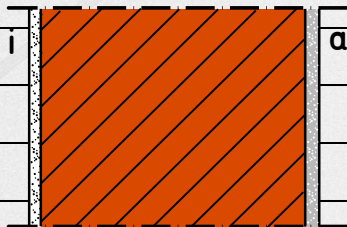
Schichttemperaturen :

$$20^\circ\text{C} \rightarrow 20 - 4,2 = 15,8^\circ\text{C} \rightarrow 15,8 - 0,7 = 15,1^\circ\text{C} \rightarrow 15,1 - 17,9 = -2,8^\circ\text{C} \rightarrow -2,8 - 0,7 = -3,5^\circ\text{C} \rightarrow -3,5 - 1,5 = -5,0^\circ\text{C}$$

U-Wert Berechnung und Temperaturverlauf in Bauteilen

Beispielwand

Nr.	Schicht	Dicke d_i [m]	Wärmeleitfähigkeit λ_i [W/mK]	Wärmedurchlasswiderstand R_i [m²K/W]	Temperaturunterschied $\Delta\theta_i$ [K]	Schichttemperatur θ_i [°C]
Wärmeübergangswiderstand R_{si}						20,0
1	Kalk-Gips-Putz	0,015	0,700	0,021	0,7	15,8
2	Mauerwerk Hbl mit LM36, 1,4t/m³	0,365	0,690	0,529	17,9	15,1
3	Kalk-Zement-Putz	0,020	1,000	0,020	0,7	-2,8
4						-3,5
5						
6						
7						
Wärmeübergangswiderstand R_{se}						-3,5
						-5,0
Wärmedurchlasswiderstand Bauteil R =				0,570	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand Bauteil R_T =				0,738	[m²K/W]	
Wärmedurchgangskoeffizient Bauteil U =				1,355	[W/m²K]	
Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ =					25,0	[K]
Wärmestrom ϕ =					33,875	[W/m²]



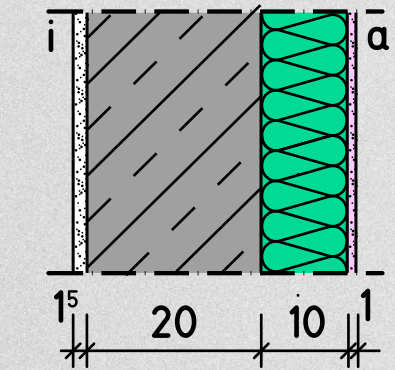


Übung 13

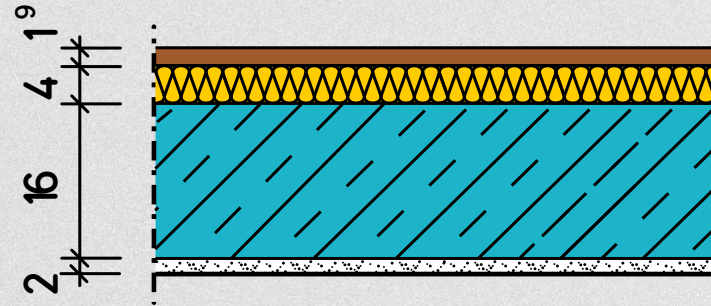
- Temperaturverlauf -

Berechnen Sie für die ausgewählte Aufbauten in einer Tabelle die Werte R_m , $R_{T,m}$ und U_m , sowie die **Temperaturen an den Schichtgrenzen**.

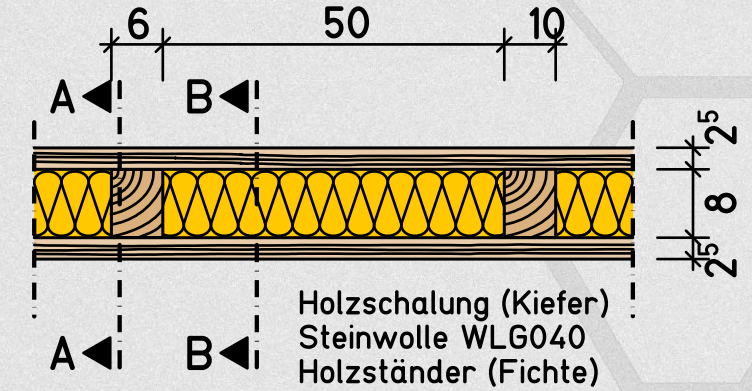
Zeichnen Sie die **Temperaturverläufe**



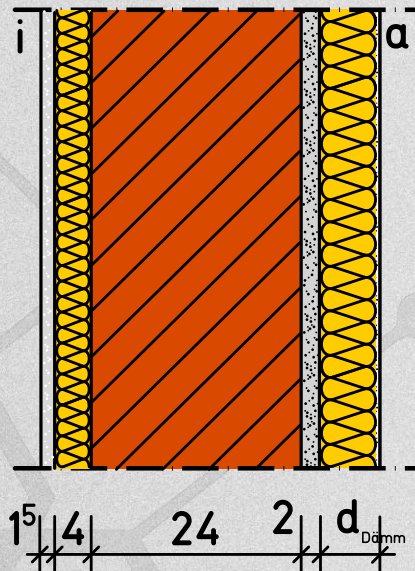
Ü5.2



Ü11.2



Ü13.2



Ü12.1

Ü12.2

Ü

Abkürzungen mit zugehörigen Quellen

T17/18: Das im Unterricht verwendete Tabellenbuch in der 17./18. Auflage. Dieses Buch wird einheitlich an den Beruflichen Gymnasien in Hessen für den Bautechnik Unterricht empfohlen. Jede SuS sollte ein eigenes Exemplar besitzen.

Peschler, Peter (2024), Tabellenbuch Bautechnik, 18. Auflage, Haan-Gruiten: VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL



T17: 134
T18: 142



W36: 1135

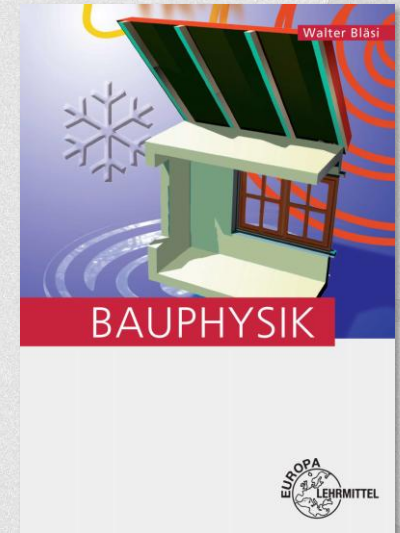
W36: Ein umfangreicheres Tabellenwerk, welches häufig in Universitäten und Hochschulen verwendet wird. Hier nur als ergänzende Quelle – nicht als Literaturempfehlung zu sehen.

Vismann, Ulrich (Hrsg.) (2018), Wendehorst – Bautechnische Zahlentafeln, 36. Auflage, Aachen, Deutschland: Verlag Springer Vieweg

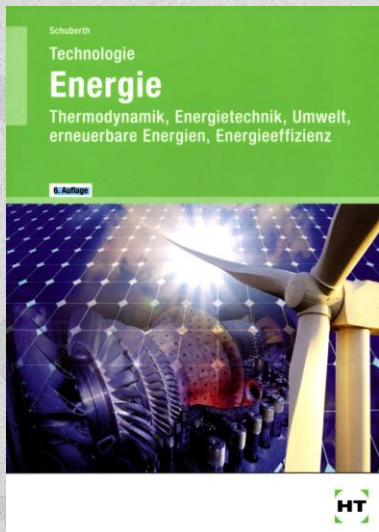
Abkürzungen mit zugehörigen Quellen

BP10: Bauphysik, 10. Auflage. Dieses Buch liegt als Klassensatz der Schule vor.
Viele Aufgaben, Grafiken, Übungen entspringen dieser Quelle.

Bläsi, Walter (2016), Bauphysik,
10. Auflage, Haan-Gruiten: VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL



BP10: 23



TE6: 123

TE6: Technologie Energie, 6. Auflage. Dieses Buch liegt als Klassensatz der Schule vor.
Viele Aufgaben, Grafiken, Übungen entspringen dieser Quelle.

Schuberth, Reinhard (2016), Technologie Energie (...),
6. Auflage, Hamburg, Deutschland: Verlag Handwerk und Technik

Eigene Darstellungen und deren Quellen

- Grafiken, Diagramme mit **BI21** (BargInkscape) gekennzeichnet wurden selbst mit dem Grafikprogramm Inkscape (OpenSource) erstellt. Diese Grafiken sind Vektorbasiert und können verlustfrei vergrößert oder verkleinert werden.
- Fotos und Bilder mit **BB21** (BargBilder) wurden selbst erstellt und ggf. mit Photoshop (Schulversion) nachbearbeitet

Grundlage für die Grafiken sind häufig standardisierte Darstellungsformen, die in verschiedenen Publikationen verwendet werden.

Sollten Rechte Dritter betroffen sein, bitte ich um eine kurze Nachricht ob die Grafik herausgenommen werden soll oder eine Quellenangabe für die weitere Verwendung ausreicht.

R_{si} & R_{se} : Sonderfälle und Vereinfachungen

- Nach DIN EN ISO 6946 darf mit $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ gerechnet werden.
- Bei innen liegenden Bauteilen ist zu beiden Seiten mit demselben Wärmeübergangswiderstand R_{si} zu rechnen.
- Der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} zum Erdreich (Wärmestrom abwärts, aufwärts, horizontal) beträgt $R_{se} = 0$.
- Luftschichten sind nach unterstehender Tabelle zu berücksichtigen.
- Wenn die Dämmung im Dachbereich bis zum Fußpunkt heruntergezogen wird, können eine Abseitenwand und der zugehörige Dachraum unberücksichtigt bleiben.
- Als horizontale Richtung des Wärmestromes gilt die Richtung von $\pm 30^\circ$ zur horizontalen Ebene (vgl. Abbildung). Wärmestrom aufwärts/abwärts für Decken und Dächer mit einer Neigung $< 60^\circ$, Wärmestrom horizontal für Wände und Decken $\geq 60^\circ$.
- Als Berechnungswerte werden unterschieden: Berechnung für den Wärmeschutz (**rote Werte**), Berechnung für den Feuchteschutz (Tauwasser) (**grüne Werte**) und Berechnung, um Schimmel (Wärmebrücken) (**blaue Werte**) zu verhindern.