

Herzlich Willkommen
zum Wettbewerb

Eine erkenntnisreiche
Teilnahme am
WS 2 „Dämmung“

wünscht Ihnen



Thomas Königstein

Vorab ...

... isolieren oder dämmen?

Der Begriff „isolieren“ wird beim Schutz gegen Wasser oder Elektrospannungen verwendet!
Beim Wärme- und auch beim Schallschutz wird fachlich richtig stets der Begriff „dämmen“ benutzt!



... Kältebrücke oder Wärmebrücke?

Energie fließt immer von der höheren zur niedrigeren Temperaturseite. Wärme will stets zur kalten Seite eines Bauteils - und niemals Kälte zur warmen Seite!
Deshalb wird grundsätzlich von **Wärmebrücken** gesprochen!

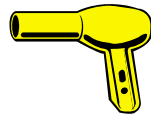
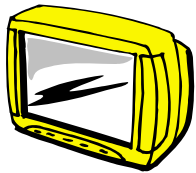


Ein wenig Bauphysik ...

Leistung [W bzw. kW] und Arbeit [kWh]

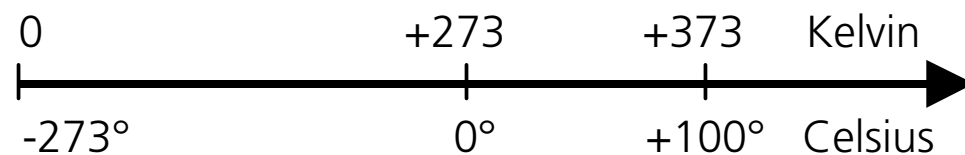
Wiederholung aus WS 1 „Energieträger“:

Nicht die Leistung ist wichtig, sondern die Arbeit (Leistung x Zeit)!



Temperatur [°C, K]

Temperaturen werden in Grad Celsius [°C] oder in Kelvin [K] gemessen.



In der (Bau)physik: Temperatur [°C] und Temperaturdifferenz [K]

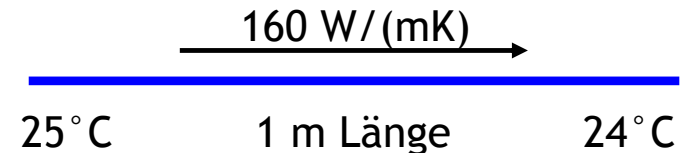
Ein wenig Bauphysik ...

Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)] - sprich: lambda

Sie gibt an, wie viel Wärmemenge pro Sekunde ($J/s = W = \text{Leistung}$) durch einen Stoff von 1 m Länge bei einer Temperaturdifferenz von 1 K an den beiden Enden strömt.

Baustoffe

Aluminium	160,00 W/(mK)
Stahlbeton	2,00 W/(mK)
Estrich	1,40 W/(mK)
Gipsputz	0,70 W/(mK)
Ziegel 1970	0,43 W/(mK)
Nadelholz	0,13 W/(mK)
Ziegel 2010	0,09 W/(mK)
Wärmedämmung \emptyset	0,04 W/(mK)



Je weniger Wärme durch einen Stoff strömt,
desto schlechter ist die Wärmeleitfähigkeit (desto kleiner λ)
und - umgekehrt - umso besser ist die Wärmedämmung!

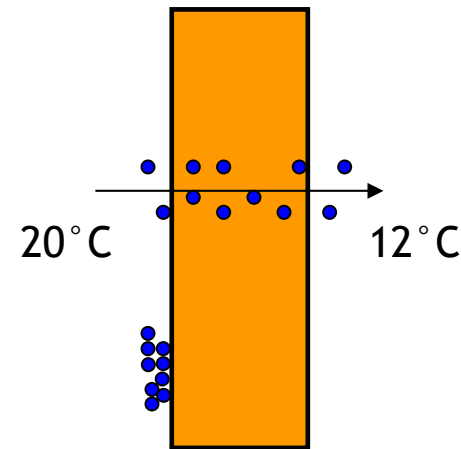
Ein wenig Bauphysik ...

Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor μ - sprich: mü

Er gibt an, wie viel Widerstand ein Stoff dem Transport von Wasserdampf entgegensetzt. Ausgangspunkt ist Luft mit $\mu = 1$:

Baustoffe

Steinwolle	1
Ziegel	5
Estrich	15
Polystyrol	20
Nadelholz	40
Beton	70
Bitumendachbahn	80.000
Schaumglas	dampfdicht



Je größer μ , desto dampfdichter ist ein Stoff. Holz ist 40 mal dichter als Steinwolle, Polystyrol doppelt so dampfoffen wie Holz, aber 4 mal dichter als ein Ziegel und Beton 3,5 mal dampfdichter als Polystyrol!

Ein wenig Bauphysik ...

spezifische Wärmekapazität c [Wh/(kgK) oder Wh/(m³K)]

Sie gibt an, wie viel Wärmemenge einer Masse (oder Volumens) zugeführt werden muss, um seine Temperatur um 1 K zu erhöhen.

Baustoffe

Luft	0,340 Wh/(m ³ K)
Wasser	1,163 Wh/(kgK)
Holzweichfaser	0,583 Wh/(kgK)
Holz	0,472 Wh/(kgK)
Polystyrol	0,389 Wh/(kgK)
Ziegel	0,255 Wh/(kgK)
Beton	0,244 Wh/(kgK)
Steinwolle	0,231 Wh/(kgK)

Je größer die Wärmekapazität (Wärmeaufnahmefähigkeit) eines Stoffs ist, desto größer ist c und umso länger dauert seine Erwärmung!

Ein wenig Bauphysik ...

Rohdichte ρ [kg/m^3] - sprich: ρ_0

Sie gibt an, wie viel Masse eines Stoffs je Kubikmeter enthalten ist, wie dicht und schwer also ein Stoff ist.

Stoffe		λ
Beton	2.000 kg/m^3	2,000 W/(mK)
Kalksandstein	1.400 kg/m^3	0,560 W/(mK)
Laubholz	800 kg/m^3	0,180 W/(mK)
Ziegel	580 kg/m^3	0,120 W/(mK)
Gasbeton	350 kg/m^3	0,090 W/(mK)
Holzweichfaser	200 kg/m^3	0,040 W/(mK)
Polyurethan	50 kg/m^3	0,028 W/(mK)
Polystyrol	30 kg/m^3	0,035 W/(mK)

Je größer die Rohdichte eines Stoffs ist, desto kleiner ist der Anteil an Luftporen! Je leichter, desto mehr Luft, umso wärmedämmender!

Ein wenig Bauphysik ... und die Zusammenhänge

Wärmespeicherzahl S [Wh/(m³K)]

Sie ist ein Maß für den sommerlichen Wärmeschutz von Dämmstoffen:

$$S = c \text{ [Wh/(kgK)]} \times \rho \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Dämmstoffe

Zellulose	29,9 Wh/(m ³ K)	= 0,597 Wh/(kgK) x 50 kg/m ³
Holzweichfaser	87,5 Wh/(m ³ K)	= 0,583 Wh/(kgK) x 150 kg/m ³
Polyurethan	22,5 Wh/(m ³ K)	= 0,500 Wh/(kgK) x 45 kg/m ³
Polystyrol	7,8 Wh/(m ³ K)	= 0,389 Wh/(kgK) x 20 kg/m ³
Stein-/Glaswolle	11,6 Wh/(m ³ K)	= 0,231 Wh/(kgK) x 50 kg/m ³
Schafwolle	12,8 Wh/(m ³ K)	= 0,427 Wh/(kgK) x 30 kg/m ³

Je größer S ist, umso besser ist der Wärmeschutz im Sommer.
Dabei geht es vor allem um die Dachgeschossräume, deren Dach fast ausschließlich aus Wärmedämmung besteht!

Ein wenig Bauphysik ... und die Zusammenhänge

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke S_d

Er bezeichnet den Widerstand, den ein Material einem Wasserdampfstrom entgegensetzt: $S_d = \mu [-] \times d [m]$

Materialien

Steinwolle	0,20 m	= 1 x 0,20 m
Holzweichfaser	1,00 m	= 5 x 0,20 m
Polystyrol	4,00 m	= 20 x 0,20 m
N+F-Holzschalung	0,64 m	= 40 x 0,016 m
OSB-Platte	2,00 m	= 200 x 0,010 m
Gipskarton	0,10 m	= 8 x 0,012 m
Aluminiumfolie	2.500,00 m	= 5.000.000 x 0,0005 m

Grenzwerte für S_d :

- < 0,20 m: diffusionsoffen
- > 0,20 - 100 m: dampfbremsend
- > 100 m: dampfsperrend

Ein wenig Bauphysik ... und die Zusammenhänge

Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert [$W/(m^2K)$]

Er gibt an, wie viel Energie durch $1 m^2$ eines Bauteils bei $1 K$ Temperaturunterschied (von innen nach außen) wandert.

Der U-Wert ist das Maß für den Wärmedurchgang durch jedes Bauteil.

U-Werte ($\lambda = 0,040$)	Außenwand	Dach	Kellerdecke	Fenster
Altbau Hessen 1958 - 1983	U = 1,44 - 0,80	U = 1,11 - 0,43	U = 0,97 - 0,81	U = 4,30 - 2,60
Wärmeschutz- verordnung 1995	U = 0,40 6 - 8 cm	U = 0,30 12 - 14 cm	U = 0,50 4 - 6 cm	$U_w = 1,80$
Energieeinsparver- ordnung EnEV 2007	U = 0,35 8 - 10 cm	U = 0,25 14 - 16 cm	U = 0,40 6 - 8 cm	$U_w = 1,70$
Passivhaus-Standard (KfW-55)	U < 0,15 30 - 40 cm	U < 0,15 30 - 40	U < 0,15 15 - 25 cm	$U_w < 0,80$

Ein wenig Bauphysik ... und die Zusammenhänge

U-Wert-“Berechnung“ $[W/(m^2K)]$

Sie teilen einfach die Dicke [m] eines Materials durch seine Wärmeleitfähigkeit $[W/(mK)]$ und nehmen den Kehrwert des Ergebnisses.

- A. 30 cm Ziegel mit $\lambda = 0,12 W/(mK)$
 $0,30 \text{ m} : 0,12 W/(mK) = 2,500 (m^2K)/W$ (R = Wärmedurchgangswiderstand)
„U“ = $1 : 2,500 (m^2W)/W = 0,40 W/(m^2K)$
- B. 10 cm Dämmstoff mit $\lambda = 0,04 W/(mK)$
 $0,10 \text{ m} : 0,04 W/(mK) = 2,500 (m^2K)/W$ (R = Wärmedurchgangswiderstand)
„U“ = $1 : 2,500 (m^2W)/W = 0,40 W/(m^2K)$
- C. 16 cm Stahlbeton mit $\lambda = 2,00 W/(mK)$
 $0,16 \text{ m} : 2,00 W/(mK) = 0,080 (m^2K)/W$ (R = Wärmedurchgangswiderstand)
„U“ = $1 : 0,080 (m^2W)/W = 12,50 W/(m^2K)$
- D. 2 cm Gipsputz mit $\lambda = 0,70 W/(mK)$
 $0,02 \text{ m} : 0,70 W/(mK) = 0,029 (m^2K)/W$ (R = Wärmedurchgangswiderstand)
„U“ = $1 : 0,029 (m^2W)/W = 35,00 W/(m^2K)$

Ein wenig Bauphysik ... und die Zusammenhänge

U-Wert-“Berechnung“ [W/(m²K)]

Bauteile bestehen wie z.B. eine Außenwand aus mehreren Materialien. Dann werden einfach die einzelnen Wärmedurchgangswiderstände addiert:

Beispiel Außenwand:

1,5 cm Gipsputz innen ($\lambda = 0,70$ W/(mK))

36,5 cm Hohlblockstein ($\lambda = 0,42$ W/(mK))

2,0 cm Kalkzementputz außen ($\lambda = 1,00$ W/(mK))

$$R_1 = 0,015 : 0,70 = 0,021$$

$$R_2 = 0,365 : 0,42 = 0,869$$

$$R_3 = 0,020 : 1,00 = 0,020$$

$$R_T = \quad \quad \quad 0,910$$

$$\text{„U“} = 1 : 0,910 = 1,10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Ein wenig Bauphysik ... und die Zusammenhänge

U-Wert-Berechnung [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]

Für die richtige U-Wert-Berechnung fehlen jetzt nur noch die sog. **Wärmeübergangswiderstände innen R_{si} und außen R_{se}** . Sie berücksichtigen den Übergang der Wärme von der Innenluft an das Bauteil und vom Bauteil z.B. an die Außenluft. Die Werte sind genormt und orientieren sich an der Richtung des Wärmestroms. Sie werden ebenfalls addiert!

Beispiel Außenwand mit $R_{si} = 0,130$ und $R_{se} = 0,04$:

1,5 cm Gipsputz innen ($\lambda = 0,70 \text{ W}/(\text{mK})$)

36,5 cm Hohlblockstein ($\lambda = 0,42 \text{ W}/(\text{mK})$)

2,0 cm Kalkzementputz außen ($\lambda = 1,00 \text{ W}/(\text{mK})$)

$$R_1 = 0,015 : 0,700 = 0,021$$

$$R_2 = 0,365 : 0,420 = 0,869$$

$$R_3 = 0,020 : 1,000 = 0,020$$

$$R_T = \quad \quad \quad 0,910$$

$$U = R_{si} + R_T + R_{se} = 0,130 + 0,910 + 0,040 = 1,080$$

$$U = 1 : 1,080 = 0,93 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Ein wenig Bauphysik ... und die Zusammenhänge

U-Wert-Berechnung [W/(m²K)]

Der U-Wert von 0,93 W/(m²K) für die gerade berechnete Altbau-Außenwand bedeutet einen vergleichsweise hohen Wärmeverlust!

Wie wäre es mit einer Wärmedämmung, außen angebracht?

Sanierung mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS):

+ 16 cm Steinwolle mit $\lambda = 0,037$ W/(mK)

$$R_1 = 0,015 : 0,700 = 0,021$$

$$R_2 = 0,365 : 0,420 = 0,869$$

$$R_D = 0,016 : 0,037 = 4,324$$

$$R_3 = 0,020 : 1,000 = 0,020$$

$$R_T = \quad \quad \quad 5,234$$

$$U = R_{si} + R_T + R_{se} = 0,130 + 5,234 + 0,040 = 5,404$$

$$U = 1 : 5,404 = 0,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Drei Rechenbeispiele

A. Berechnen Sie den U-Wert einer alten Kellerdecke wie ein Ingenieur.

Der Aufbau besteht aus 16 cm Stahlbeton ($\lambda = 2,00$), 1 cm Trittschalldämmung aus Kokos/Sisal ($\lambda = 0,04$), 4 cm Zementestrich ($\lambda = 1,40$) sowie 8 mm Holz-Parkettboden ($\lambda = 0,13$).

Die Wärmeübergangswiderstände finden Sie auf S. 186.

Drei Rechenbeispiele

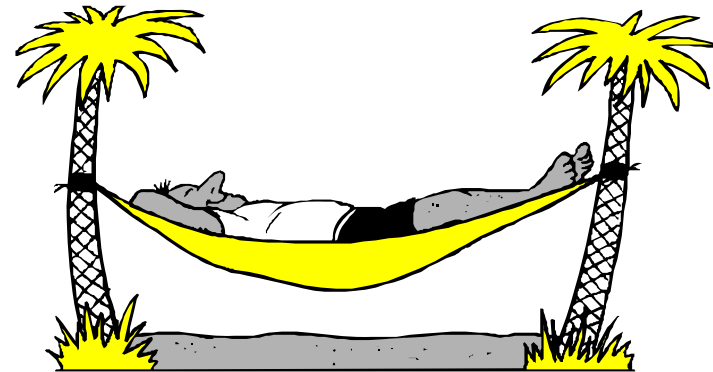
B. Berechnen Sie nun den neuen U-Wert der Kellerdecke, die Sie vom Keller aus mit einer Polystyrolplatte (8 cm mit $\lambda = 0,038$) dämmen lassen wollen.

C. Die Herausforderung:

Was echte Ingenieure nicht können - können sicher Sie. Der U-Wert Ihrer Außenwand liegt bei $0,64 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Wand soll mit einer Steinwolleplatte mit $\lambda = 0,037$ außen so gedämmt werden, dass sich als Zielwert ein U-Wert von $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ergibt. Wie dick wird die Dämmplatte?

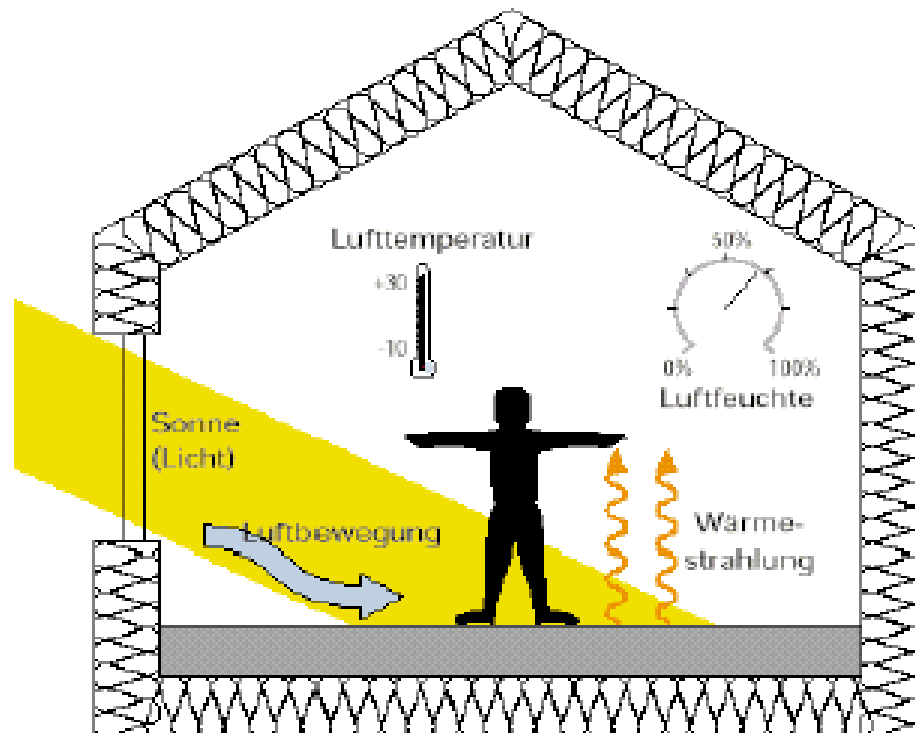
Das Planungsziel beim Sanieren (Bauen)

super
Wohlbefinden
+ Behaglichkeit



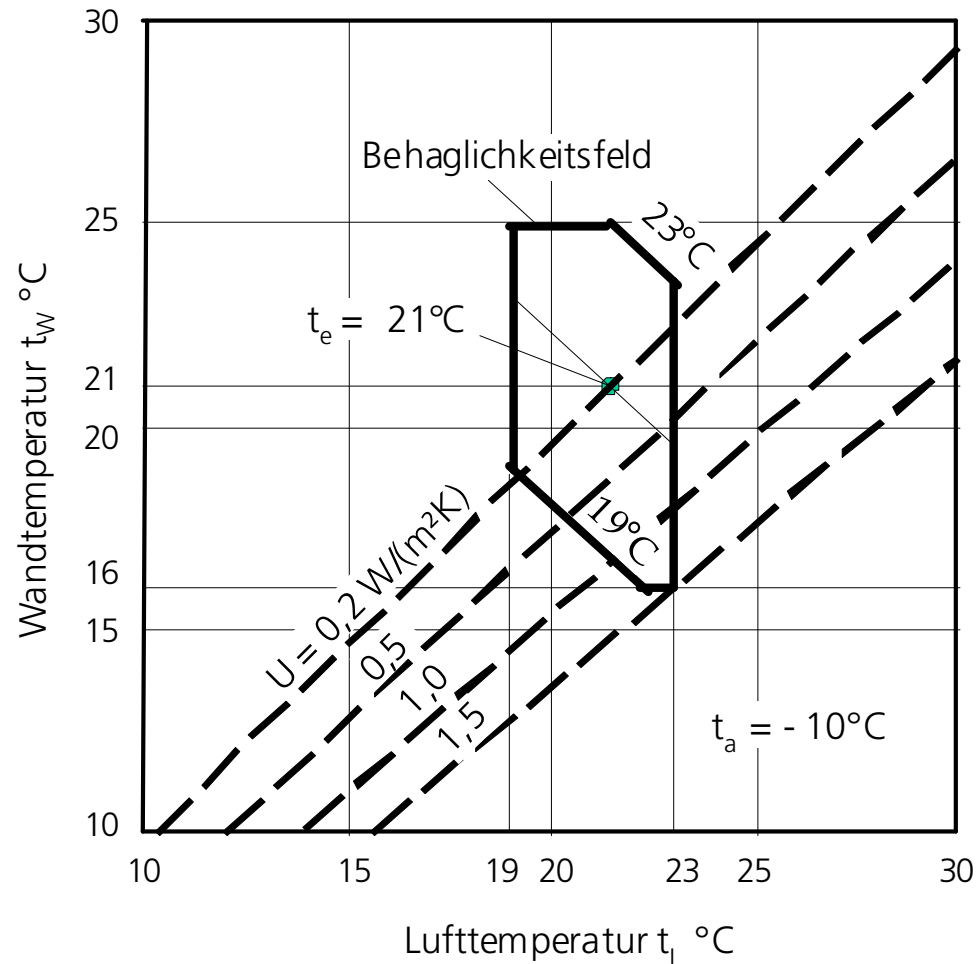
für alle Bewohner/Nutzer

Behaglichkeit 1 - Einflussfaktoren



- Zugluft
- Luftfeuchte
- Lufttemperatur
- innere Bauteil-Oberflächentemperatur

Behaglichkeit 2 - Innen-Oberflächentemperatur

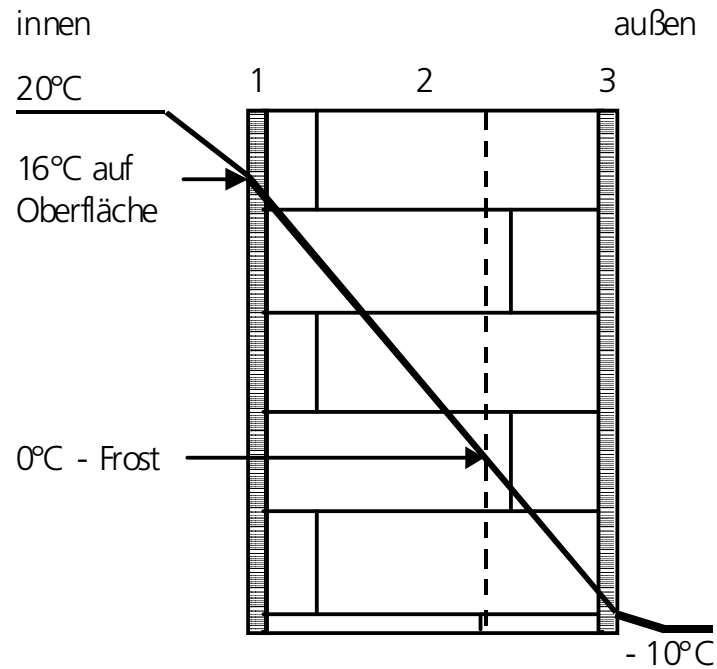


Entscheidend

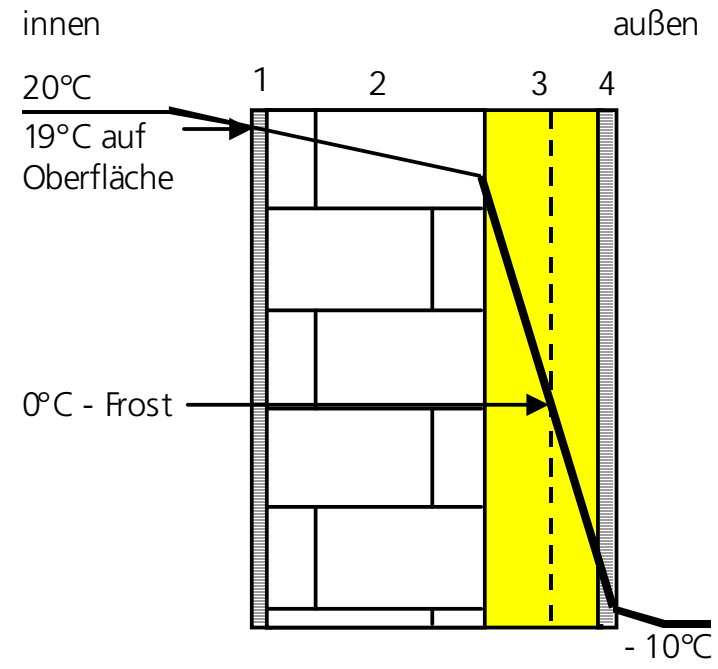
Eine hohe
Innen-Oberflächen-
temperatur
auf dem Bauteil,

hier am Beispiel der
Außenwand

Behaglichkeit 3 - ohne und mit Wärmedämmung



- 1 Innenputz
- 2 Ziegelmauerwerk
- 3 Außenputz



- 1 Innenputz
- 2 Ziegelmauerwerk
- 3 Wärmedämmung
- 4 Außenputz

Behaglichkeit 4 - Messen



Luft ist der Dämmstoff

Ein guter Teil der Dämmwirkung von Dämmstoffen beruht auf der Wirkung der eingeschlossenen Luft!

Nicht das Material dämmt, sondern die vielen kleinen Luftporen, die das Material einschließt. Voraussetzung für diese Dämmwirkung: Schutz vor Luftbewegung!



Es war einmal ...

... die Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG

Früher wurden die Dämmstoffe in Bezug auf λ so eingeteilt:

WLG 025 WLG 030 WLG 035 WLG 040 WLG 045

Heute gibt es keine Gruppen mehr, nur Einzelwerte, wobei für λ der **Bemessungswert** entscheidend ist:

.....	0,027	0,031	0,035	0,039
0,025	0,028	0,032	0,036	0,040
0,026	0,029	0,033	0,037	0,041
0,027	0,030	0,034	0,038

Wärmedämmstoffe

Glaswolle

(anorganisch, synthetisch)



Steildach
Außenwand (WDVS)
leichte Trennwände

Saint-Gobain Isover, URSA, Knauf

Merkmale

- ☺ **Wärmedämmung** $\lambda = 0,032 - 0,040$
- ☺ **Dampfdiffusion** $\mu = 1 - 2$
- ☹ **Wärmekapazität** $c = 0,278$
- ☹ **Rohdichte** $\rho = 15 - 150$
- ☺ **Brandverhalten** nicht brennbar
- ☹ **Wärmeschutz** im Sommer
- ☺ **Schallschutz** sehr biegeweich
- ☹ **Feuchteschutz** niedrig
- ☹ **Druckfestigkeit** sehr niedrig

Wärmedämmstoffe

Steinwolle

(anorganisch, synthetisch)



Steildach
Außenwand (WDVS)

Rockwool, Knauf, Flumroc, Owens Corning

Merkmale

- 😊 **Wärmedämmung** $\lambda = 0,035 - 0,040$
- 😊 **Dampfdiffusion** $\mu = 1 - 2$
- ☹️ **Wärmekapazität** $c = 0,194$
- ☹️ **Rohdichte** $\rho = 20 - 200$
- 😊 **Brandverhalten** nicht brennbar
- ☹️ **Wärmeschutz** im Sommer
- 😊 **Schallschutz** biegeweich
- ☹️ **Feuchteschutz** niedrig
- ☹️ **Druckfestigkeit** niedrig

Wärmedämmstoffe

EPS expan. Polystyrol
(organisch, synthetisch)



Alle Bauteile

mehr als 20: von Bacht über Knauf, sto und Schwenk bis Swisspor - Neu: Neopor (mit Graphit)

Merkmale

- ☺ **Wärmedämmung** $\lambda = 0,032 - 0,040$
- ☹ Dampfdiffusion $\mu = 20 - 50$
- ☹ Wärmekapazität $c = 0,417$
- ☹ Rohdichte $\rho = 12 - 40$
- ☹ Brandverhalten entflammbar
- ☹ Wärmeschutz im Sommer
- ☹ Schallschutz biegesteif
- ☹ Feuchteschutz gut
- ☹ Druckfestigkeit gut

Wärmedämmstoffe

XPS extru. Polystyrol
(organisch, synthetisch)



Flachdach
Bodenplatte
Perimeter

Austrotherm, URSA, Dow, Styrodur C (BASF)

Merkmale

- ☺ **Wärmedämmung** $\lambda = 0,030 - 0,036$
- ☹ Dampfdiffusion $\mu = 80 - 200$
- ☹ Wärmekapazität $c = 0,417$
- ☹ Rohdichte $\rho = 25 - 45$
- ☹ Brandverhalten entflammbar
- ☹ Wärmeschutz im Sommer
- ☹ Schallschutz biegesteif
- ☺ **Feuchteschutz** hoch
- ☺ **Druckfestigkeit** hoch

Wärmedämmstoffe

PUR Polyurethan
(organisch, synthetisch)



Flachdach
Bodenplatte
Sonderanwendungen

Bachl, Bauder, Puren, Steinbacher

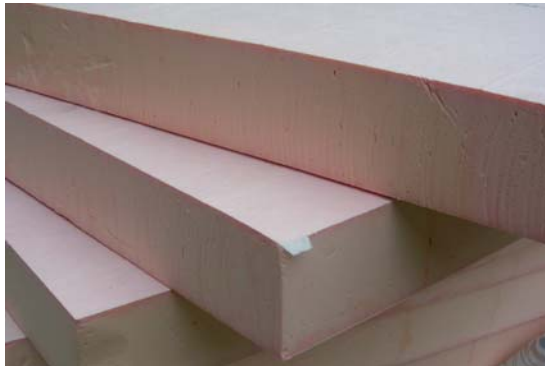
Merkmale

- ☺ **Wärmedämmung** $\lambda = 0,024 - 0,028$
- ☹ Dampfdiffusion $\mu = 30 - 200$
- ☹ Wärmekapazität $c = 0,417$
- ☹ Rohdichte $\rho = 30 - 100$
- ☹ Brandverhalten entflammbar
- ☹ Wärmeschutz im Sommer
- ☹ Schallschutz biegesteif
- ☺ **Feuchteschutz** hoch
- ☺ **Druckfestigkeit** hoch

Wärmedämmstoffe

Phenolharzschaum

(organisch, synthetisch)



Dach
Decken
Außenwand (HVF)
Sonderanwendungen

Sitek (Thermal Ceramics)

Merkmale

- ☺ **Wärmedämmung** $\lambda = 0,022 - 0,025$
- ☹ Dampfdiffusion $\mu = 60$
- ☹ Wärmekapazität $c = 0,417$
- ☹ Rohdichte $\rho = 40$
- ☹ Brandverhalten entflammbar
- ☹ Wärmeschutz im Sommer
- ☹ Schallschutz biegesteif
- ☹ Feuchteschutz mäßig
- ☹ Druckfestigkeit gut

Wärmedämmstoffe

Holzweichfaser

(organisch, natürlich)



Dach
Decken
Außenwand (HVF)

Agepan, Pavatex, Gutex, Homatherm, Steico

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,039 - 0,045$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 5$
- 😊 Wärmekapazität $c = 0,583$
- 😊 Rohdichte $\rho = 55 - 180$
- ☹️ Brandverhalten entflammbar
- 😊 Wärmeschutz im Sommer
- 😊 Schallschutz biegeweich
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- 😊 Druckfestigkeit hoch

Wärmedämmstoffe

Kork

(organisch, natürlich)



Außenwand (WDVS)

Korkmanufaktur, innotec

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,040$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 5 - 10$
- 😊 Wärmekapazität $c = 0,512$
- 😊 Rohdichte $\rho = 95 - 120$
- ☹️ Brandverhalten entflammbar
- 😊 Wärmeschutz im Sommer
- ☹️ Schallschutz mittel
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- 😊 Druckfestigkeit hoch

Wärmedämmstoffe

Zellulose

(organisch, natürlich)



Dach
Decken
Außenwand

Isofloc, Thermofloc, climacell

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,040$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 1 - 2$
- 😊 Wärmekapazität $c = 0,583$
- ☹️ Rohdichte $\rho = 35 - 65$
- ☹️ Brandverhalten entflammbar
- 😊 Wärmeschutz im Sommer
- 😊 Schallschutz biegeweich
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- ☹️ Druckfestigkeit niedrig

Wärmedämmstoffe

Hanf

(organisch, natürlich)



Dach

Hock (Thermo-Hanf), Hanffaser Uckermark

Merkmale

- ☺ Wärmedämmung $\lambda = 0,040$
- ☺ **Dampfdiffusion** $\mu = 1 - 2$
- ☹ Wärmekapazität $c = 0,444$
- ☹ Rohdichte $\rho = 30 - 42$
- ☹ Brandverhalten entflammbar
- ☹ Wärmeschutz im Sommer
- ☺ **Schallschutz** biegeweich
- ☹ Feuchteschutz niedrig
- ☹ Druckfestigkeit gering

Wärmedämmstoffe

Schafwolle

(organisch, natürlich)



Dach
Außenwand

doschawolle, Isolena, klimalan, Woolin

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,039 - 0,041$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 1 - 5$
- ☹️ Wärmekapazität $c = 0,453$
- ☹️ Rohdichte $\rho = 12 - 40$
- ☹️ Brandverhalten entflammbar
- ☹️ Wärmeschutz im Sommer
- 😊 Schallschutz biegeweich
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- ☹️ Druckfestigkeit niedrig

Wärmedämmstoffe

Blähton

(anorganisch, natürlich)



Deckenschüttung

Liapor, Meha

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,060 - 0,095$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 2 - 8$
- ☹️ Wärmekapazität $c = 0,306$
- 😊 Rohdichte $\rho = 260 - 500$
- 😊 Brandverhalten nicht brennbar
- 😊 Wärmeschutz im Sommer
- 😊 Schallschutz sehr gut
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- 😊 Druckfestigkeit hoch

Wärmedämmstoffe

Mineralschaum

(anorganisch, synthetisch)



Außenwand (WDVS)

Dennert, Hasit Minopor, Sto Thermcell

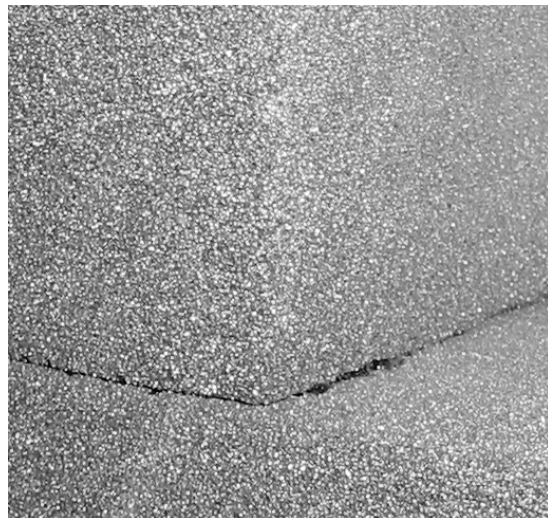
Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,042 - 0,054$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 3 - 6$
- ☹️ Wärmekapazität $c = 0,278$
- 😊 Rohdichte $\rho = 100 - 150$
- 😊 Brandverhalten nicht brennbar
- ☹️ Wärmeschutz im Sommer
- ☹️ Schallschutz sehr steif
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- 😊 Druckfestigkeit sehr hoch

Wärmedämmstoffe

Schaumglas

(anorganisch, synthetisch)



Flachdach
Bodenplatte
Perimeter

FOAMGLAS

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,040 - 0,045$
- ☹️ Dampfdiffusion $\mu = \text{unendlich}$
- ☹️ Wärmekapazität $c = 0,250$
- 😊 Rohdichte $\rho = 115 - 220$
- 😊 Brandverhalten nicht brennbar
- ☹️ Wärmeschutz im Sommer
- ☹️ Schallschutz sehr steif
- 😊 Feuchteschutz absolut dicht
- 😊 Druckfestigkeit sehr hoch

Wärmedämmstoffe

Blähglas

(anorganisch, synthetisch)



Flachdach
Bodenplatte
Perimeter

(Schaumglasschotter) geoCell, Technopor, Millcell

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,070 - 0,092$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 1 - 5$
- ☹️ Wärmekapazität $c = 0,250$
- 😊 Rohdichte $\rho = 150 - 230$
- 😊 Brandverhalten nicht brennbar
- ☹️ Wärmeschutz im Sommer
- ☹️ Schallschutz sehr steif
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- 😊 Druckfestigkeit hoch

Wärmedämmstoffe

Vakuum

va-Q-tec, Vacu-Isotec, Vaku-Isotherm, Variotec



Merkmale

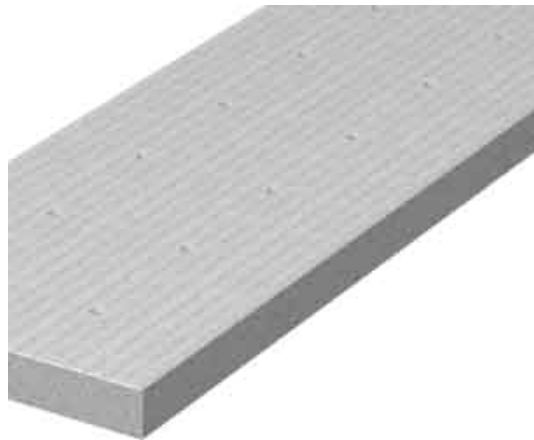
- ☺ **Wärmedämmung** $\lambda = 0,005 - 0,006$
- ☹ Dampfdiffusion $\mu = \text{unendlich}$
- ☹ Wärmekapazität $c = \text{unbekannt}$
- ☺ **Rohdichte** $\rho = 150 - 230$
- ☺ **Brandverhalten** nicht brennbar
- ☹ Wärmeschutz im Sommer
- ☹ Schallschutz steif
- ☹ Feuchteschutz mittel
- ☺ **Druckfestigkeit** hoch

Sonderanwendungen

Wärmedämmstoffe für Innendämmung

Kalziumsilikat

(anorganisch, synthetisch)



Redstone Pura, Masterclima

Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,045 - 0,080$
- ☹️ Dampfdiffusion $\mu = 3 - 7$
- ☹️ Wärmekapazität $c = 0,264$
- 😊 Rohdichte $\rho = 100 - 130$
- 😊 Brandverhalten nicht brennbar
- ☹️ Wärmeschutz im Sommer
- ☹️ Schallschutz sehr steif
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- 😊 Druckfestigkeit hoch

Wärmedämmstoffe für Innendämmung

Blähperlplatte (anorganisch, natürlich)

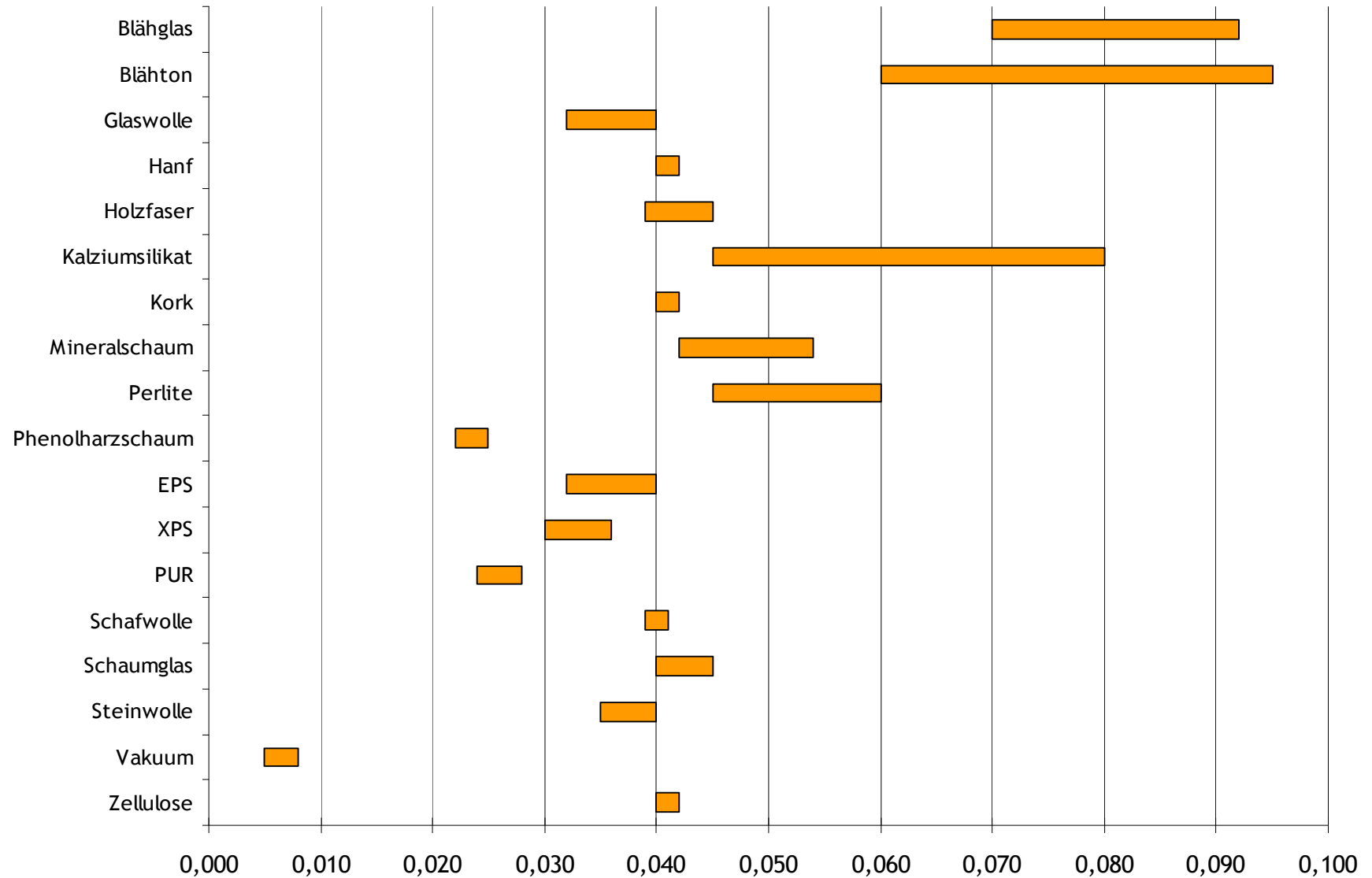


Knauf TecTem

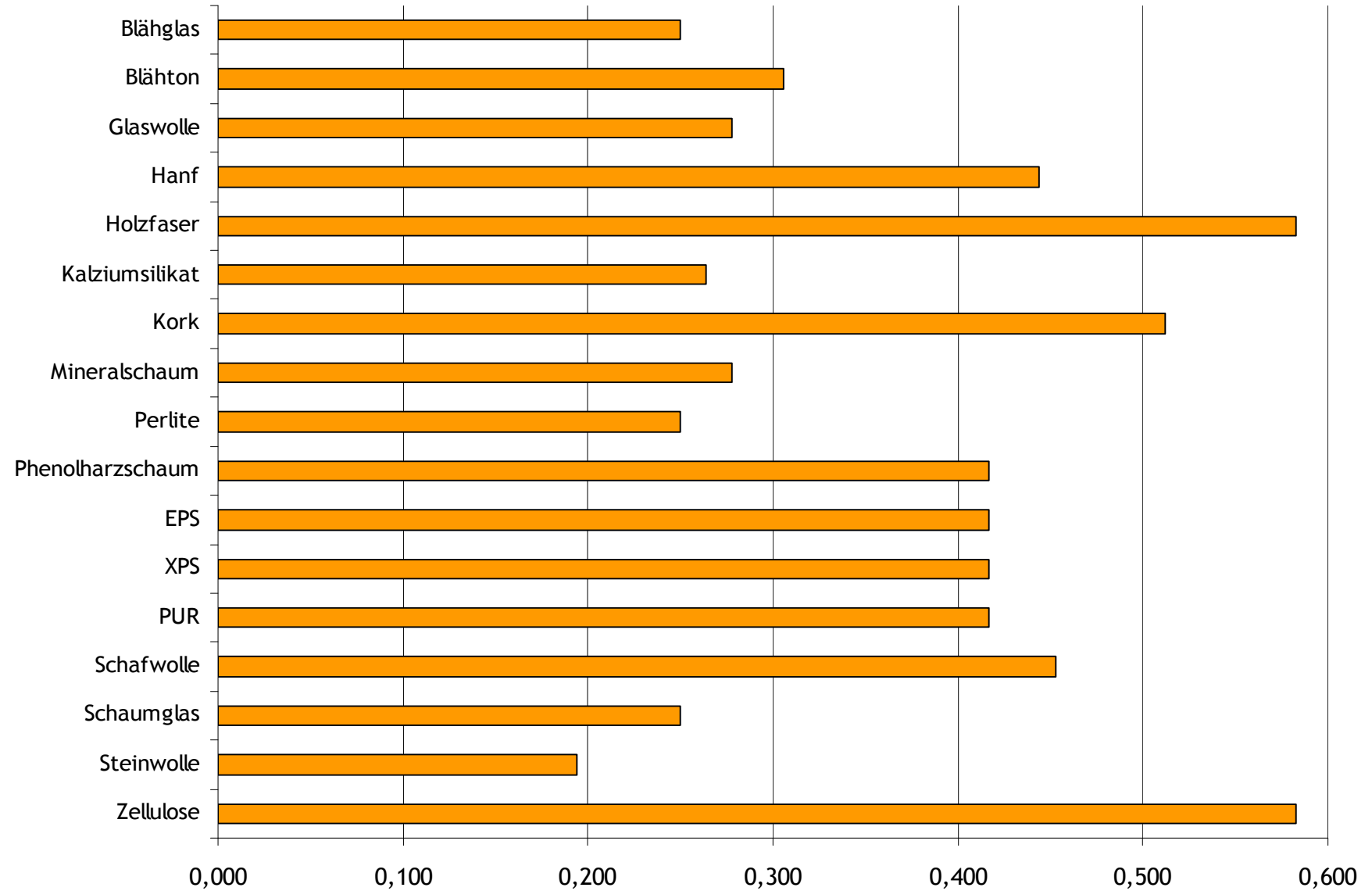
Merkmale

- ☹️ Wärmedämmung $\lambda = 0,045$
- 😊 Dampfdiffusion $\mu = 5 - 6$
- ☹️ Wärmekapazität $c = 0,250$
- 😊 Rohdichte $\rho = 90 - 105$
- 😊 Brandverhalten nicht brennbar
- ☹️ Wärmeschutz im Sommer
- ☹️ Schallschutz sehr steif
- ☹️ Feuchteschutz niedrig
- 😊 Druckfestigkeit hoch

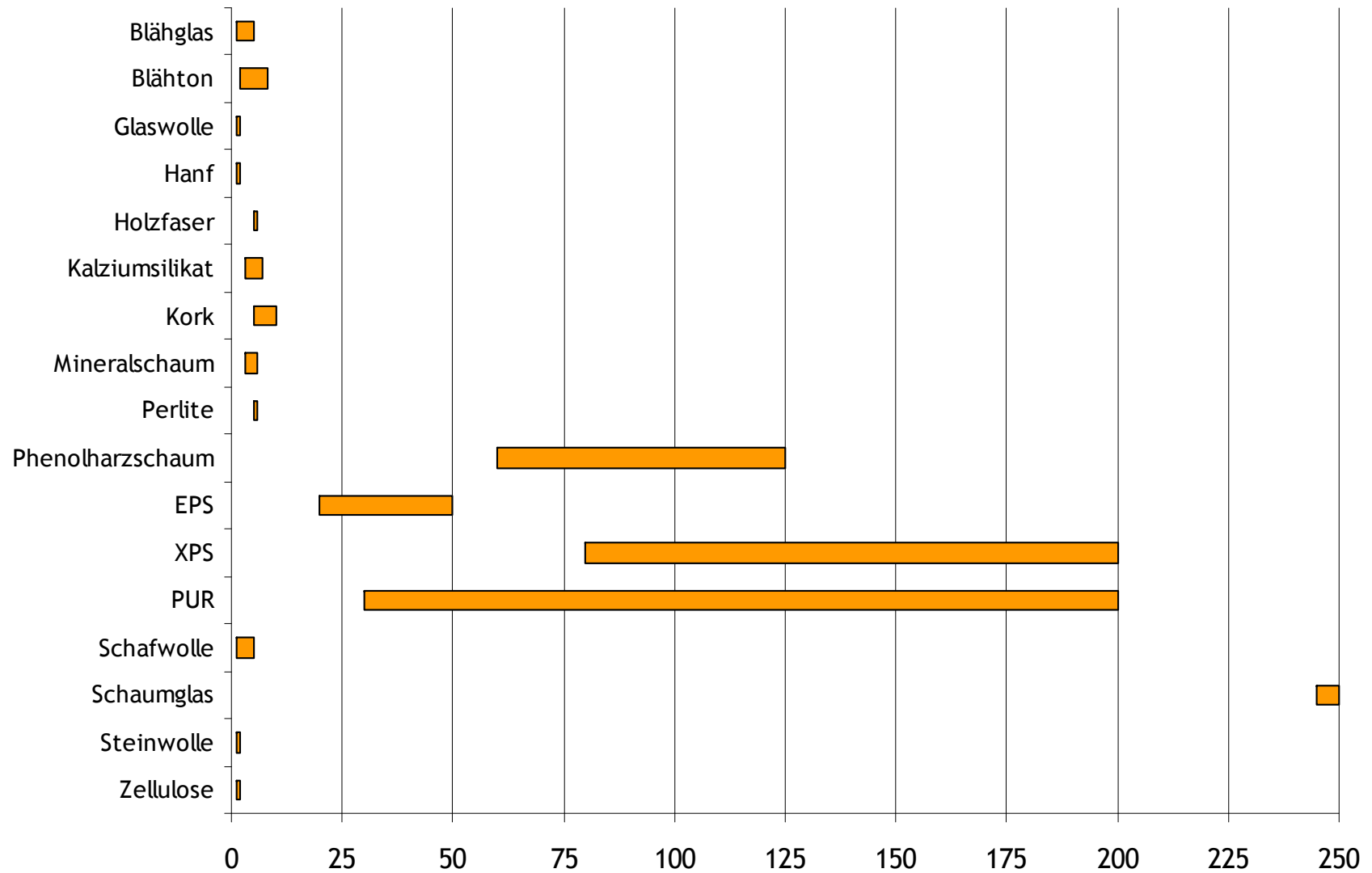
Wärmeleitfähigkeit λ im Vergleich



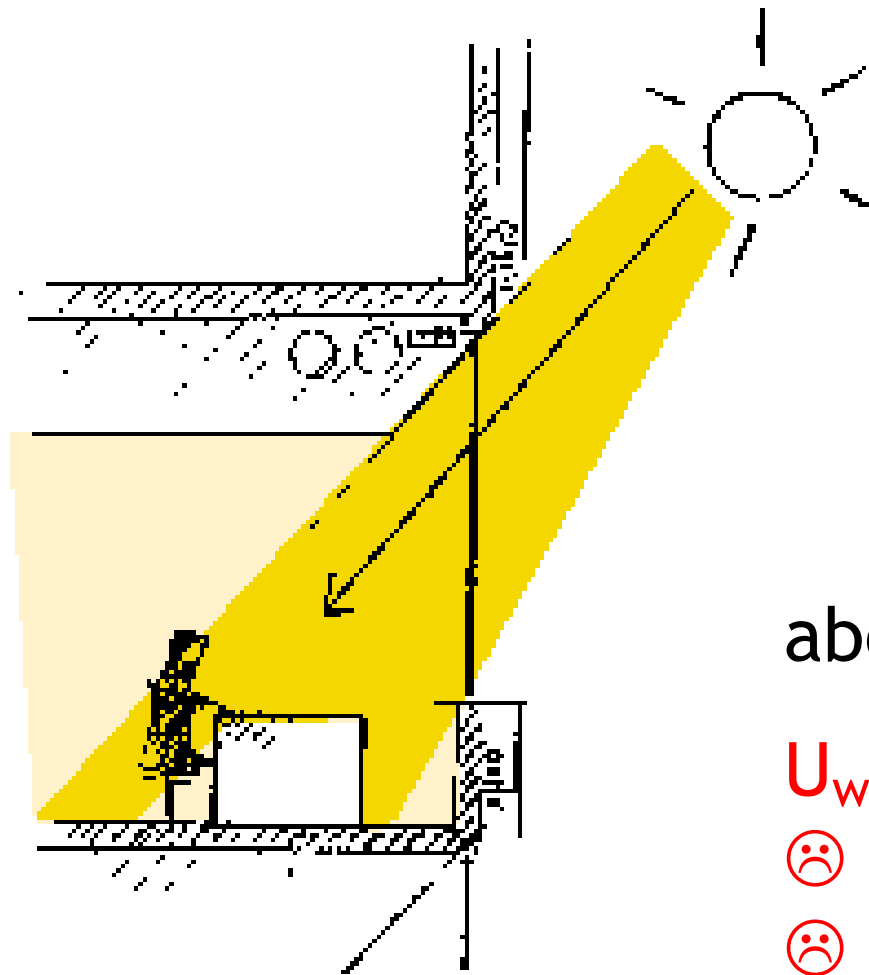
Wärmekapazität c im Vergleich



Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor μ im Vergleich



Fenster



Tageslicht und Sonne

☺ Wohlbefinden

☺ kostenlose
Energiequelle

aber ...

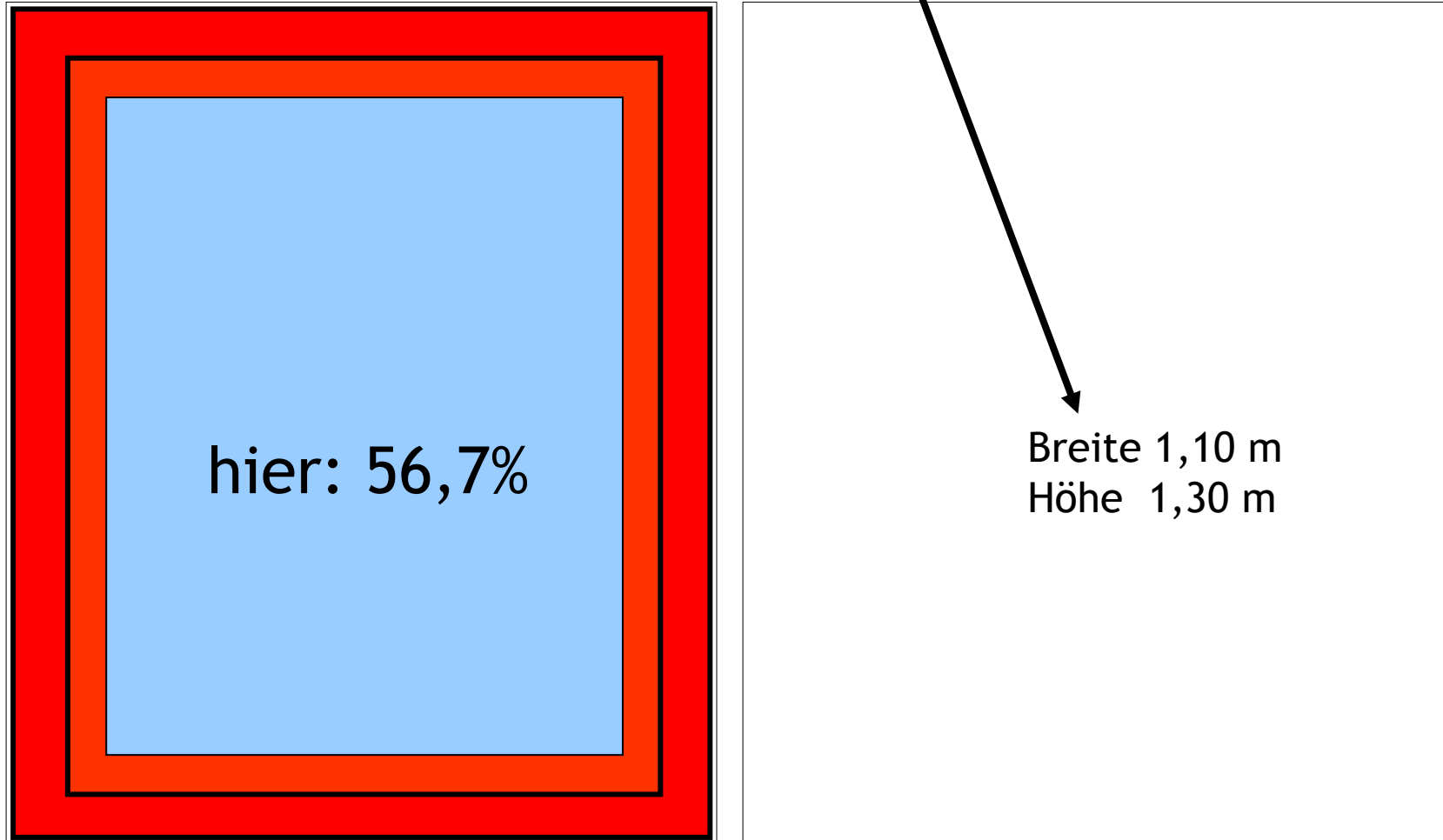
U_w -Wert und Kosten

☹ höchste Energieverluste

☹ teuerstes Bauteil

Das Fenster im Rohbau-Loch besteht nicht nur aus Glas ...

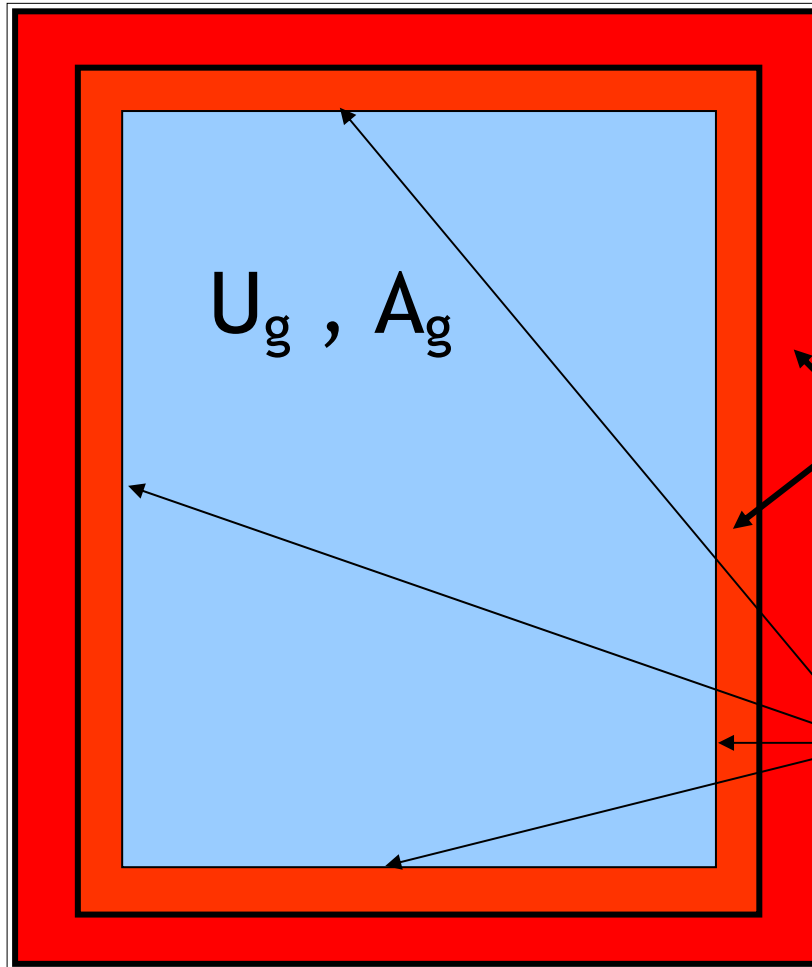
Schätzen Sie den %-Anteil des Glases am Rohbau-Loch für das Fenster:



Im Durchschnitt liegt der Glasanteil bei nur 55 - 70%!!

WS 2 Wärmedämmung

... und daher ist der Glas-U-Wert (U_g) allein viel zu wenig!



$$U_W = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \Psi_g}{A_g + A_f}$$

U_f, A_f : Rahmen

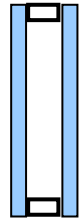
Ψ_g, l_g : Glasrandverbund
= Abstandhalter

Fensterglas im Wandel der Zeit ...1



Einfachglas bis 1960
4 mm

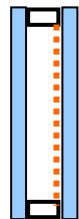
$$U_g = 5,0 - 5,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



Isolierglas bis 1995
4-12-4 mm

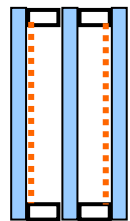
trockene Luft

$$U_g = 2,6 - 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



2-Scheiben-Wärmeschutzglas seit 1990
4-12-4 mm Bedampfung Edelgas

$$U_g = 1,0 - 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



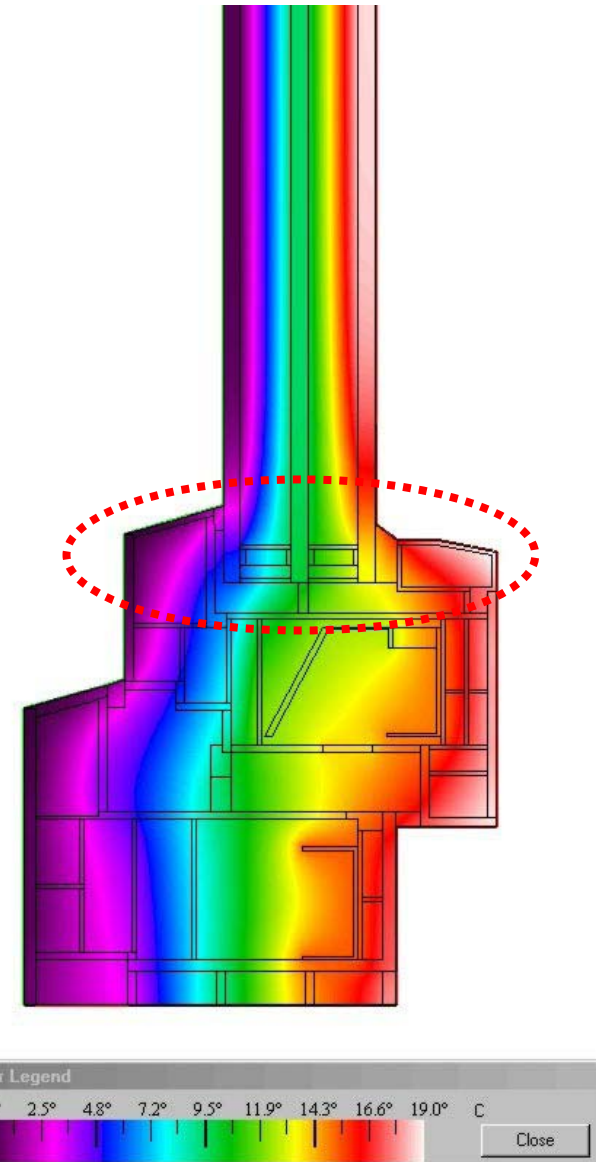
3-Scheiben-Wärmeschutzglas seit 1995
4-12-4-12-4 mm Bedampfung Edelgas

$$U_g = 0,4 - 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

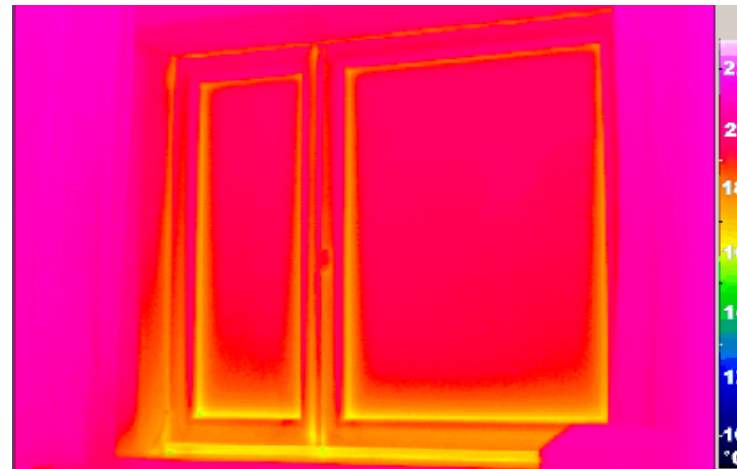
Scheiben-Innentemperaturen

Verglasung	U _g -Wert W/(m ² K)	Scheiben-Innen- oberflächen- temperatur bei -10°C außen u. +20°C innen
1-Scheiben-Glas	5,6	- 1,0 °C
2-Scheiben- Isolierglas	2,9 - 3,1	+ 8,4 °C
2-Scheiben- Wärmeschutzglas	1,1 - 1,9	+ 15,5 bis + 12,8 °C
3-Scheiben- Wärmeschutzglas	0,4 - 0,9	+ 17,3 bis + 16,4 °C

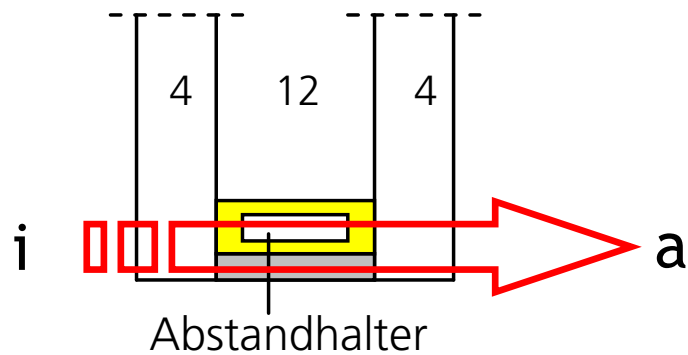
└─→ ein Heizkörper
unter dem Fenster kann entfallen!



Der Abstandhalter (Glasrandverbund) wirkt als **Wärmebrücke**



... und es kommt zur Kondensation:



Der Abstandhalter wirkt als **Wärmebrücke**:

Randverbundlänge (Glas 2,40 x 0,85 m)	
6,5 m	
8,2 m	
9,9 m	
11,6 m	
16,4 m	

Fragen Sie nach „warm edge“
= „warme Kante“!

	Material	Ψ [W/(mK)]
schlecht:	Aluminium	0,080
okay:	Edelstahl	0,055
gut:	Kunststoff Edelstahl (Thermix)	0,036
optimal:	Kunststoff glasfaserverstärkt (Swisspacer)	0,032

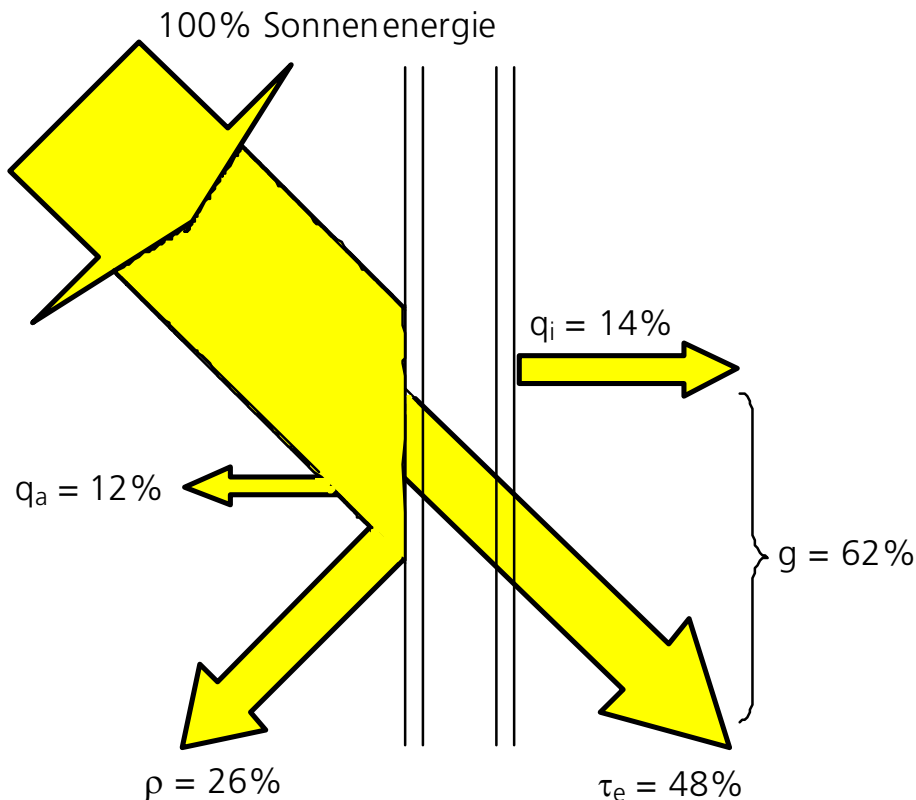
$$6,5 \text{ m} \times 0,080 \text{ W/(mK)} = 0,52 \text{ W/K}$$

$$11,6 \text{ m} \times 0,080 \text{ W/(mK)} = 0,93 \text{ W/K (+ 79\%)}$$

$$6,5 \text{ m} \times 0,032 \text{ W/(mK)} = 0,21 \text{ W/K}$$

$$11,6 \text{ m} \times 0,032 \text{ W/(mK)} = 0,37 \text{ W/K (+ 76\%)}$$

Der Energiedurchlassgrad g der Verglasung



Glas hat nicht nur Wärmeverluste.

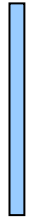
Je nach dem Grad seiner Durchlässigkeit lässt es auch (kostenlose) Wärmegewinne zu - während der Heizzeit!

Der g -Wert sollte immer über 50% liegen!

Nicht vergessen:

Ein guter sommerlicher Wärme(Sonnen)schutz von außen!

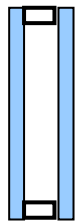
Fensterglas im Wandel der Zeit ... 2



$$U_g = 5,0 - 5,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$g \approx 0,80 \text{ (80\%)}$$

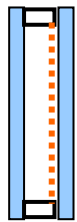
Lichtdurchlässigkeit: $\geq 85\%$



$$U_g = 2,6 - 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$g \approx 0,72 \text{ (72\%)}$$

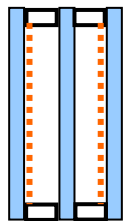
Lichtdurchlässigkeit: $\geq 80\%$



$$U_g = 1,0 - 1,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$g \geq 0,60 \text{ (60\%)}$$

Lichtdurchlässigkeit: $\geq 75\%$



$$U_g = 0,4 - 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

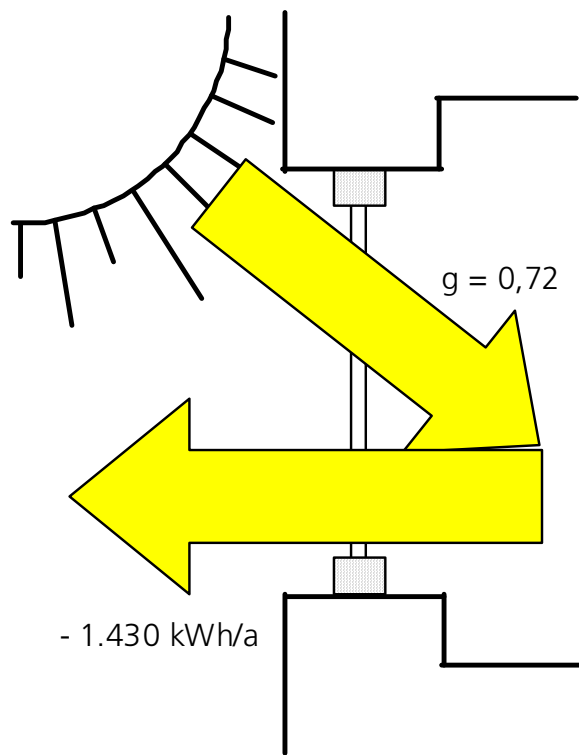
$$g = 0,45 - 0,64$$

Lichtdurchlässigkeit: $\geq 70\%$

WS 2 Wärmedämmung

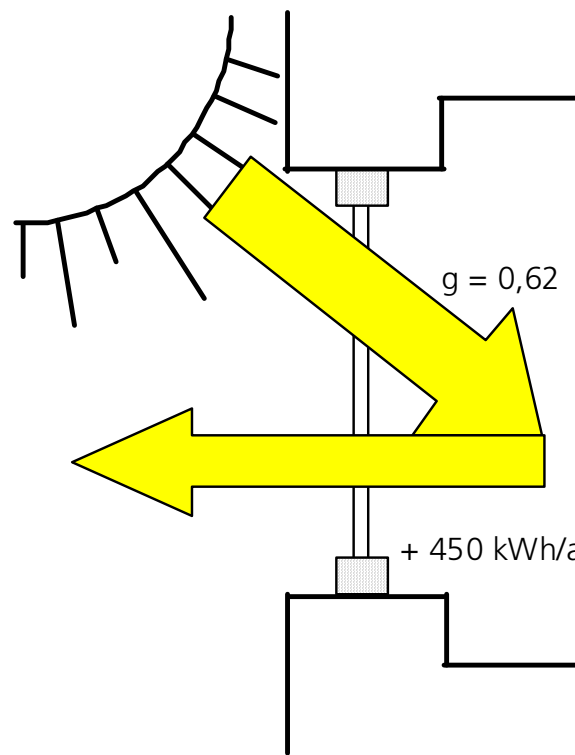
U_g -Wert und Energiedurchlassgrad g zusammen sehen!

Isolierglas
 $U_g = 2,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



4.150 kWh/a
- 5.580 kWh/a
 - 1.430 kWh/a

Wärmeschutzglas
 $U_g = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



3.550 kWh/a
- 3.100 kWh/a
 + 450 kWh/a

Gewinne
 Verluste
Bilanz

WS 2 Wärmedämmung

Produkt- bezeichnung	Aufbau außen/SZR/innen	U _g - Nennwert EN 673	lichttechnische und strahlungs- physikalische Nennwerte EN 410			Dicke	Gewicht	max. Abmessungen	max. Ober- fläche	max. Seiten- ver- hältnis
			g-Wert	Lichtdurch- lässigkeit	allg. Farbwiedergabe- Index Durchsicht					
	mm	W/m ² K	%	%	-	mm	kg/m ²	cm	m ²	-
iplus 3E	4/16/4/16/4	0,6	47	71	95	44	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3E	4/14/4/14/4	0,6	47	71	95	40	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3E	4/12/4/12/4	0,7	47	71	95	36	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3CE	4/12/4/12/4	0,5	47	71	95	36	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3CE	4/10/4/10/4	0,6	47	71	95	32	30	141 x 240	3,40	1 : 6

Produkt- bezeichnung	Aufbau außen/SZR/innen	U _g - Nennwert EN 673	lichttechnische und strahlungs- physikalische Nennwerte EN 410			Dicke	Gewicht	max. Abmessungen	max. Ober- fläche	max. Seiten- ver- hältnis
			g-Wert	Lichtdurch- lässigkeit	allg. Farbwiedergabe- Index Durchsicht					
	mm	W/m ² K	%	%	-	mm	kg/m ²	cm	m ²	-
iplus 3L	4/16/4/16/4	0,6	55	72	96	44	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3L	4/14/4/14/4	0,7	55	72	96	40	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3L	4/12/4/12/4	0,8	55	72	96	36	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3CL	4/12/4/12/4	0,5	55	72	96	36	30	141 x 240	3,40	1 : 6
iplus 3CL	4/10/4/10/4	0,6	55	72	96	32	30	141 x 240	3,40	1 : 6

WS 2 Wärmedämmung

Glastyp	Glasaufbau	U _g -Wert nach DIN EN 673	Lichttrans- missionsgrad	Gesamtenergie- durchlassgrad nach DIN EN 410
	mm	W/m ² K	LT % (±2)	g-Wert % (±2)
SANCO Plus ZERO E	4 - 10KR - 4	0,9	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 16AR - 4	1,0	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 14AR - 4	1,1	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 12AR - 4	1,2	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 18AR - 4	1,1	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 20AR - 4	1,1	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 27AR - 4	1,1	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 29AR - 4	1,1	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 12L - 4	1,6	80	60
SANCO Plus ZERO E	4 - 16L - 4	1,3	80	60
SANCO Plus ZERO E 3-fach Isolierglas				
SANCO Plus ZERO E	4 - 12L - 4 - 12L - 4	0,9	70	47
SANCO Plus ZERO E	4 - 12AR - 4 - 12AR - 4	0,7	70	47
SANCO Plus ZERO E	4 - 16AR - 4 - 16AR - 4	0,5	70	47
SANCO Plus ZERO E	4 - 10KR - 4 - 10KR - 4	0,5	70	47
SANCO Plus ZERO E	4 - 12KR - 4 - 12KR - 4	0,4	70	47

WS 2 Wärmedämmung

Jeder Glashersteller hat so seine Werte ...

SAINT-GOBAIN GLASS COMFORT

IERGLAS-
RSICHT Stand 7/2010

Typ		Aufbau und Fertigungsdaten ¹⁾				Physikalische Werte nach Normen			
		Glasdicken in mm außen / (Mitte) / innen	Scheibenzwischenraum (SZR) in mm () möglich bei gleichen Werten Gasfüllung	Elementdicke in mm	Gesamtgewicht ca. in kg / m ²	U _g -Wert nach DIN EN 673 in W / m ² ·K	Lichtdurchlässigkeit in %	Gesamte nergiedurchlässig- keit g-Wert in % von außen innen nach DIN EN 410	b-Faktor (nach VDI 2078)
Wärmeschutz/Wärmedämmung – auch mit selbstreinigendem Glas erhältlich									
SGG CLIMAPLUS® ULTRA N**		4 / 4	12AR	20	20,0	1,3	80	63	0,79
		4 / 4	15(16)AR	23(24)	20,0	1,1	80	63	0,79
SGG CLIMAPLUS® ULTRA N**	KR	4 / 4	10KR	18	20,0	1,0	80	63	0,79
SGG CLIMAPLUS® ULTRA N**	BIOCLEAN	4 / 4	15(16)AR	23(24)	20,0	1,1	77	61	0,76
SGG CLIMAPLUS® ONE**		4 / 4	15(16)AR	23(24)	20,0	1,0	71	50	0,63
		4 / 4	10KR (92%)	18	20,0	0,9	71	50	0,63
SGG CLIMATOP® ULTRA N**		4 / 4 / 4	12/12AR	36	30,0	0,7	71	50	0,63
		4 / 4 / 4	12/12KR	36	30,0	0,5	71	50	0,63
SGG CLIMATOP® ONE**		4 / 4 / 4	12/12AR	36	30,0	0,7	58	37	0,46
		4 / 4 / 4	12/12KR	36	30,0	0,4	58	37	0,46
SGG CLIMATOP® LUX		4 / 4 / 4	14/14AR	36	30,0	0,7	73	62	0,78
		4 / 4 / 4	12/12KR	36	30,0	0,6	73	62	0,78
SGG CLIMATOP® MAX**		4 / 4 / 4	12/12AR	36	30,0	0,7	74	60	0,75
		4 / 4 / 4	12/12KR	36	30,0	0,5	74	60	0,75

Der Fensterrahmen (Blend- und Flügelrahmen) mit U_f

Rahmenmaterial und -bauart	U_f -Wert W/(m ² K)	Innenoberflächen- temperatur bei -10°C außen u. + 20°C innen
Holz	1,4 - 1,7	+15 bis +13°C
Kunststoff - PVC - PUR-Schaum	1,4 - 2,8 1,7 - 2,1	+15 bis +9°C +14 bis +12°C
Aluminium - ohne Isolierung - mit Isoliersteg - thermisch opti.	ca. 5,8 2,8 - 3,5 ca. 1,5	ca. -2°C +9 bis +6°C ca. +14°C
hoch gedämmte Rahmen	ca. 0,8	ca. +17°C

Holz, Holz/Alu,
Kunststoff oder Alu?

Alle haben ihre
Vor- und Nachteile!

Wichtig:
Der U_f -Wert
ist i.d.R. schlechter
als der U_g -Wert!

WS 2 Wärmedämmung

Fensterdefinition über den U_w -Wert: U_g reicht nicht aus!

$$U_w = \frac{A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g}{A_g + A_f}$$

Beispielfenster:

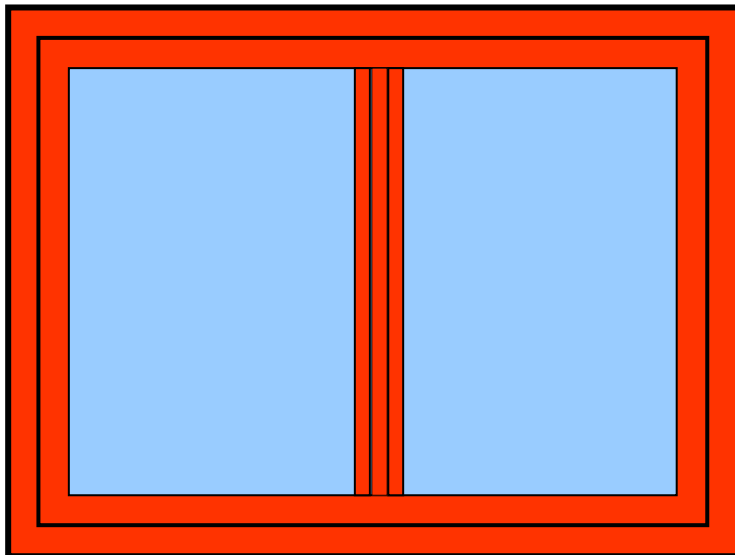
Höhe: 1,21 m - Breite: 1,61 m

Rahmenbreite insgesamt: 13,5 cm

$U_g = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, 2-Scheiben-WSG

$U_f = 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Kiefernholz

Abstandhalter: Aluminium



$$U_w = 1,34 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$= [1,2596 \text{ m}^2 \times 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$+ 0,6885 \text{ m}^2 \times 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$+ 4,56 \text{ m} \times 0,080 \text{ W}/(\text{mK})] : 1,9481 \text{ m}^2$$

$$= 2,61584 \text{ W}/\text{K} : 1,9481 \text{ m}^2$$

mit Teiler 10 cm breit:

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

$$= [1,1656 \text{ m}^2 \times 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$+ 0,7825 \text{ m}^2 \times 1,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$+ 6,24 \text{ m} \times 0,080 \text{ W}/(\text{mK})] : 1,9481 \text{ m}^2$$

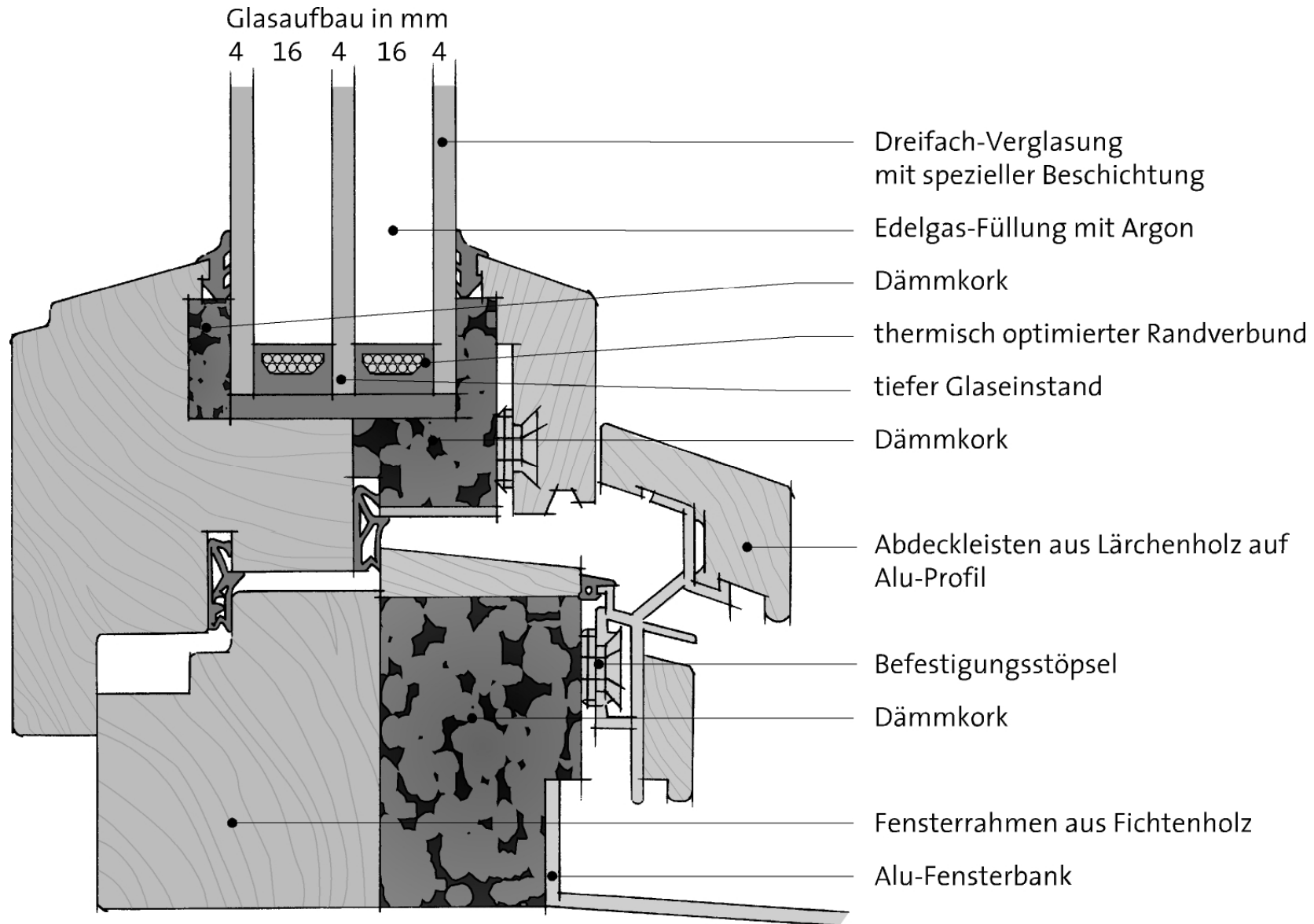
$$= 2,7916 \text{ W}/\text{K} : 1,9481 \text{ m}^2$$

optimaler Abstandhalter:

$$U_w = 1,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$= 2,4921 \text{ W}/\text{K} : 1,9481 \text{ m}^2$$

WS 2 Wärmedämmung



WS 2 Wärmedämmung



Rolladenkastensanierung und Gurtdurchführung

