

Energetische Klassifizierung von Fenstern

Quantifizierung von Wär- mebrücken für typische Fenster und Einbausitua- tionen

Autor: Daniel Kehl
Betreuung: Tobias Loga
Marc Großklos

Reprotechnik: Reda Hatteh

Diese Dokumentation ist im Rahmen
eines wissenschaftlichen Praktikums am
Institut Wohnen und Umwelt entstanden.

Darmstadt, 08.02.2000

ISBN-Nr.: 3-932074-39-4

IWU-Bestellnr.: 03/00



Inhalt

| | |
|---|-----------|
| 1 Aufgabenstellung | 2 |
| 2 Berechnungsverfahren und Rechenprogramm | 3 |
| 2.1 Was ist eine Wärmebrücke? | 3 |
| 2.2 Bestimmen von Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ und U-Wert des Fensters | 3 |
| 2.3 Programmbeschreibung | 6 |
| 2.4 Randbedingungen | 7 |
| 3 Definition der Elemente typischer Fenster | 8 |
| 3.1 Rahmen | 8 |
| 3.2 Verglasung | 10 |
| 3.3 Randverbund der Verglasung | 13 |
| 3.4 Einbausituation | 13 |
| 4 Ergebnisse der Wärmebrückenberechnungen | 17 |
| 4.1 Randverbund | 17 |
| 4.2 Einbausituation | 22 |
| 5 Zusammenfassung | 26 |
| 6 Literaturverzeichnis | 30 |
| 7 Anhang | 32 |

1 Aufgabenstellung

Fenster werden in der aktuellen Normung [DIN V 4108-4] unabhängig von Größe, Randverbund der Verglasung und Einbausituation des Fensters energetisch bewertet. Dadurch kommt es bei der Berechnung des Heizenergiebedarfs zu einer Über- bzw. Unterbewertung des Fensters. In der DIN wird ein pauschaler Rahmenanteil von 30% angenommen und Wärmebrücken von Verglasungsrandverbund und Einbausituation werden vernachlässigt. Durch den in den letzten Jahren verbesserten Wärmeschutzstandard, wächst die Bedeutung der Wärmebrücken. Aber nicht nur der erhöhte Transmissionswärmeverlust spielt eine Rolle, auch die niedrigeren Temperaturen an den Oberflächen sind ein weiteres Problem. Selbst bei den heute üblichen Fenstern mit Wärmeschutzverglasung bildet sich unter Normalbedingungen noch Tauwasser im Randbereich der Verglasung.

Im Rahmen der Untersuchungen werden verschiedene Verglasungen, Glasrandverbünde, Rahmenmaterialien und Einbausituationen untersucht. Es werden die Wärmeverluste für die verschiedenen Situationen ermittelt, was eine vollständige energetische Bewertung des gesamten Fensters ermöglicht. Neben heute gängigen Fenstern werden auch kritische Konstruktionen betrachtet, um die möglichen Energieeinsparungen im Falle von Altbauten genauer zu ermitteln. Folgende Rahmen, Verglasungen und Einbausituationen werden in verschiedenen Varianten berechnet:

Rahmen:

1. Dreikammer-Kunststoffrahmen,
2. Holzrahmen nach [DIN 68121-1],
3. Historischer Holzrahmen für Einfachverglasung,
4. Aluminiumrahmen ohne / mit thermische Trennung,
5. Hochwärmegeämmter Rahmen.

Verglasung:

1. Einfachverglasung,
2. Zweischeibenverglasungen mit verschiedenen Beschichtungen und Füllgasen,
3. Dreischeibenverglasungen mit verschiedenen Beschichtungen und Füllgasen.

Randverbund:

1. Aluminium-,
2. Kunststoff- und
3. Edelstahlrandverbund.

Einbausituationen (in Anlehnung an [DIN 4108-Bb2]):

1. Monolithisches Mauerwerk in alter und neuer Bauweise,
2. Zweischaliges Mauerwerk gedämmt (Version 1) / ungedämmt (Version 2),
3. Mauerwerk mit 10 cm Wärmedämmverbundsystem,
4. Holzrahmenbau.

2 Berechnungsverfahren und Rechenprogramm

2.1 Was ist eine Wärmebrücke?

Eine treffende Definition der Wärmebrücke findet sich in [Feist,W. 1999/PB 16]:
"Die Gebäudehülle besteht nicht nur aus ebenen (...) Bauteilen. Sie enthalten vielmehr Kanten, Ecken, Anschlüsse und Durchdringungen. An diesen Stellen ist im allgemeinen der temperaturspezifische Wärmeverlust erhöht: Er übersteigt den Wert, der sich aus der einfachen Summe von Fläche mal Wärmedurchgangskoeffizient ($U \cdot A$) ergibt; der Mehrbetrag ist der Wärmebrückeneffekt."

2.2 Bestimmen von Wärmebrückenverlustkoeffizienten Ψ und U-Wert des Fensters

Mit Hilfe der europäischen Norm [prEN 30077] ist es möglich den U-Wert eines Fensters beliebiger Größe zu ermitteln. Dieser setzt sich aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten des Rahmens und der Verglasung (center of glass) sowie aus dem Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Glasrandverbundes zusammen. Die Werte werden wie folgt berechnet:

In den zu untersuchenden Rahmen wird zunächst an Stelle der Scheibe eine

Dämmstoffplatte ($\lambda \leq 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) eingesetzt. Das Ende der Dämmstoffplatte sowie des Rahmens wird adiabatisch abgeschlossen. Anschließend wird mittels Wärmebrückenprogramm der U-Wert der gesamten Konstruktion (U_w) ermittelt und daraus der Wärmestrom je Meter Rahmenlänge sowie der U-Wert des Rahmens (U_f) bestimmt.

$$\dot{q} = (U_f \cdot l_f + U_p \cdot l_p) \Delta T$$

$$\Leftrightarrow U_f = \frac{\dot{q} - U_p \cdot l_p \cdot \Delta T}{\Delta T \cdot l_f}$$

\dot{q} = Wärmestrom [W/m]

U_f = Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens (frame) [W/(m² · K)]

l_f = Rahmenbreite [m]

U_p = Wärmedurchgangskoeffizient der Dämmung (panel) [W/(m² · K)]

l_p = Breite der Dämmung [m]

ΔT = Temperaturdifferenz zwischen innen und außen [K]

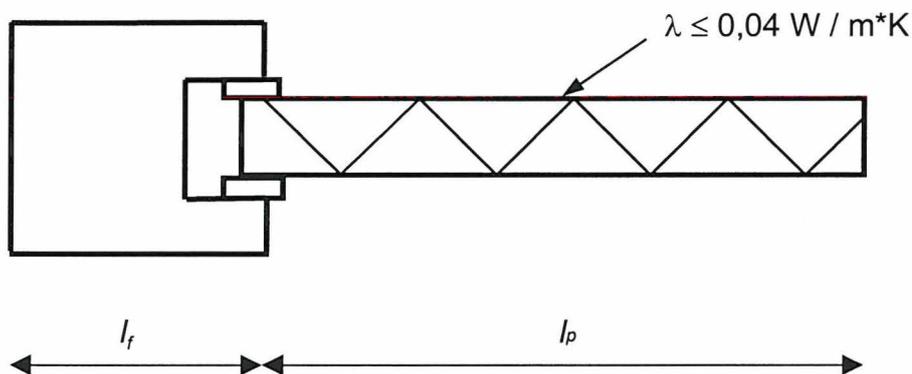


Abbildung 1: Anordnung zur Bestimmung von U_f [prEN 30077]

Auf gleiche Weise wird der Wärmestrom mit eingebauter Scheibe ermittelt und die Formel zur noch einzigen Unbekannten, des Wärmebrückenverlustkoeffizienten, aufgelöst.

$$\dot{q} = (U_f \cdot l_f + U_g \cdot l_g + \Psi) \cdot \Delta T$$

$$\Leftrightarrow \Psi = \frac{\dot{q} - U_f \cdot l_f \cdot \Delta T - U_g \cdot l_g \cdot \Delta T}{\Delta T}$$

\dot{q} = Wärmestrom [W/m]

U_f = Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens (frame) [W/(m² * K)]

l_f = Rahmenbreite [m]

U_g = Wärmedurchgangskoeffizient des Glases (center of glas) [W/(m² * K)]

l_g = Breite des Glases [m]

ΔT = Temperaturdifferenz zwischen innen und außen [K]

Ψ = Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/m * K]

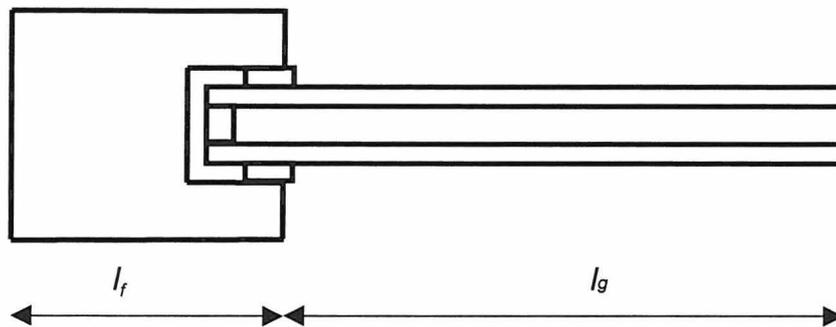


Abbildung 2: Anordnung zur Bestimmung von Ψ [prEN 30077]

Neben dem Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Randverbundes wird noch der Wärmebrückenverlustkoeffizient der Einbausituation benötigt. Dieser kann analog dem obigen Verfahren ermittelt werden.

Aus beiden Wärmebrückenverlustkoeffizienten und den schon bekannten Werten lässt sich nun der U-Wert des gesamten Fensters im eingebauten Zustand wie folgt berechnen:

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot s_g + \Psi_{\text{Einbau}} \cdot s_f}{A_w}$$

A_w = Fläche des gesamten Fensters

A_g = Fläche des Glases

A_f = Fläche des Rahmens

s_g = Umfang des Glases

s_f = Umfang des Rahmens

Ψ_g = Wärmebrückenverlustkoeffizient des Glasrandverbundes

Ψ_{Einbau} = Wärmebrückenverlustkoeffizient der Einbausituation

Darin ist $A_w = A_g + A_f$ wie in folgender Abbildung zu erkennen ist.

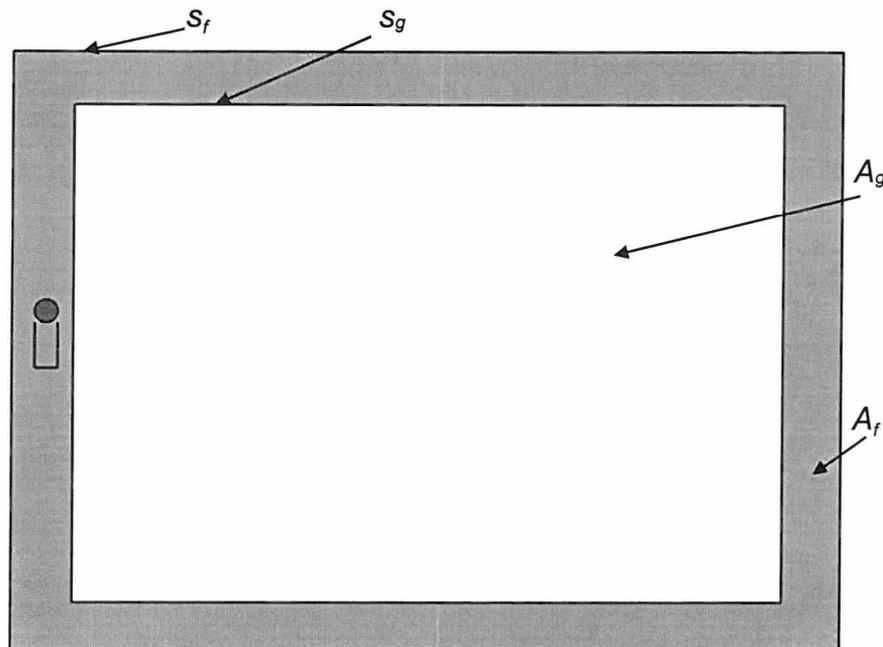


Abbildung 3: Definition der Maße zur Berechnung von U_w

2.3 Programmbeschreibung

Zur Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten wurde das Programm Therm 2.0 eingesetzt [LBL 1998]. Dabei handelt es sich um ein stationär rechnendes 2D-Finite Elemente Programm, welches den in der prEN ISO 10077-2 formulierten Anforderungen entspricht. Das Gitternetz wird automatisch erstellt. Als Ergebnis wird der U-Wert der gesamten Konstruktion ermittelt.

2.3.1 Hohlräume

Unbelüftete Hohlräume im Rahmen, d.h. geschlossene Hohlräume mit Öffnungen kleiner 2 mm, werden im Programm gemäß der Norm [prEN ISO 10077-2] vereinfacht gerechnet. Es wird eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit aus Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion ermittelt. Bei rechteckigen Hohlräumen ergibt sich so:

$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s}$$

d = Tiefe des Hohlraumes

R_s = Wärmedurchlaßwiderstand

Der Wärmedurchlaßwiderstand wird gebildet aus dem Kehrwert der Summe eines Konvektions- (h_a) und eines Strahlungsanteils (h_r).

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r}$$

Für nicht rechteckige Hohlräume werden diese zu rechteckigen Hohlräumen umgeformt, wobei die Fläche und das Längenverhältnis von Breite und Tiefe gleich bleibt.

Hohlräume, die Öffnungen zwischen 2 und 10 mm haben, werden als leicht belüftete Hohlräume bezeichnet und vereinfacht mit $2 \cdot \lambda_{eq}$ berechnet. Bei Öffnungen größer 10 mm wird davon ausgegangen, daß die gesamte Oberfläche voll der Umgebung ausgesetzt ist und so dieser Bereich nicht, wie oben beschrieben, als Hohlraum, sondern als zusätzliche Oberfläche betrachtet wird. In diesem Fall wird mit vergrößerten Wärmeübergangswiderständen gerechnet.

2.4 Randbedingungen

Zur Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten wurden die Klimabedingungen und Wärmeübergangskoeffizienten wie folgt festgelegt (Tab. 1):

Tabelle 1: Randbedingungen [prEN ISO 10077-2]

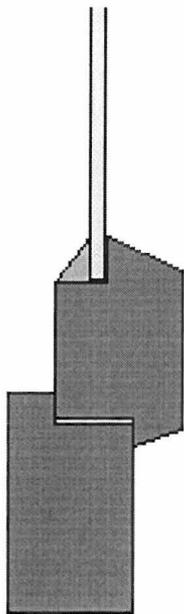
| Lage | Temperatur | Wärmeübergangskoeffizient |
|------------|------------|----------------------------|
| Innen | 20 °C | 8 [W/(m ² *K)] |
| Innen Ecke | 20 °C | 5 [W/(m ² *K)] |
| Außen | 0 °C | 25 [W/(m ² *K)] |

Die Wärmeleitfähigkeiten der Materialien sind dem Entwurf der DIN EN 10077-2, der DIN 4108-4 und Herstellerangaben entnommen. Bei unterschiedlichen Angaben wird der Wert der E DIN EN 10077-2 verwendet (siehe Anhang).

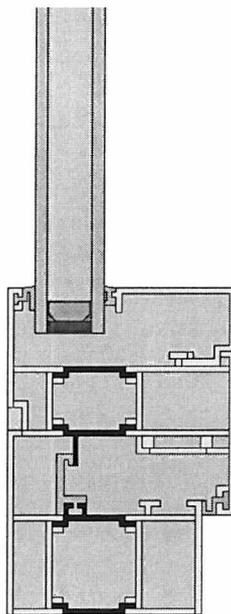
3 Definition der Elemente typischer Fenster

3.1 Rahmen

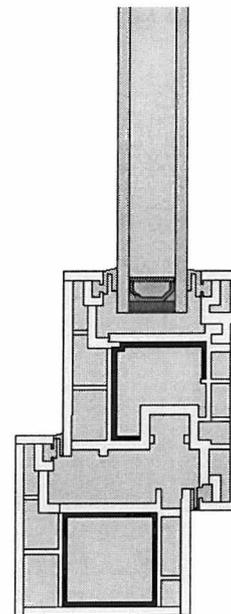
Zur Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten werden verschiedene Rahmentypen und -materialien untersucht (Abb. 4). Die gängigsten Materialien sind zur Zeit Holz (29%), PVC (47%) und Aluminium (21%) [bauen.com]. Als Varianten werden ein historischer Holzrahmen mit Einfachverglasung, Aluminiumrahmen mit und ohne thermische Trennung, ein Holzrahmen nach DIN sowie ein Kunststoffrahmen berechnet. Damit können auch Berechnungen bei Sanierungsvorhaben durchgeführt und bewertet werden. Ebenfalls wird ein "Passivhaus-Rahmen" mit in die Betrachtung einbezogen. Die Berechnung der U_f -Werte erfolgt nach dem unter Abschnitt 2.2 dargestellten Verfahren mit Therm 2.0.



Historischer Holzrahmen für
Einfachverglasung
 $U_f = 2,21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$



Aluminiumrahmen mit therm.
Trennung
 $U_f = 3,43 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$



Dreikammer-Kunststoffrahmen
 $U_f = 2,13 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

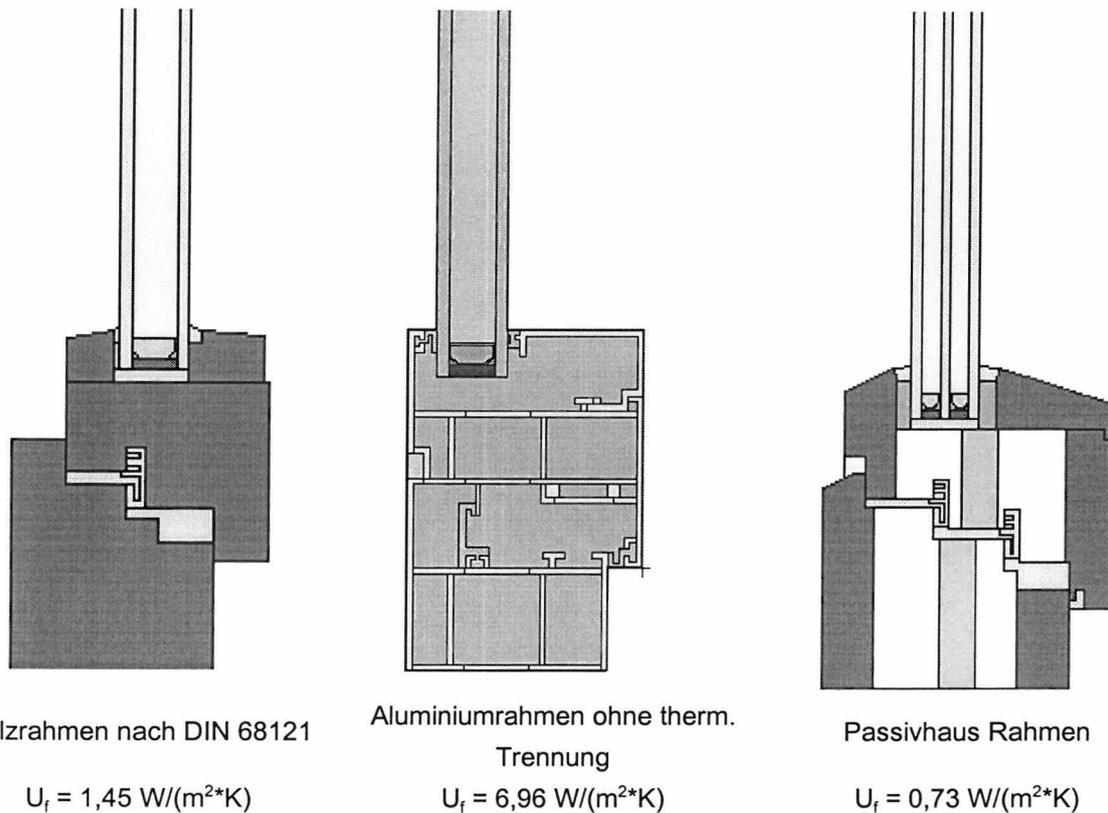


Abbildung 4: Rahmentypen

- Historischer Holzrahmen: Mit einem Holzquerschnitt von $6,9 \times 3,9 \text{ cm}^2$ und einer Einfachverglasung entspricht der Rahmen, der aus Weichholz mit $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ besteht, einer alten Fensterkonstruktion. Der U_f -Wert des Rahmens beträgt $2,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Neben der Einfachverglasung wird in den Berechnungen auch eine zur Renovierung geeignete Isolierverglasung mit 8mm Scheibenzwischenraum eingesetzt. Die Isolierverglasung wird durch eine zusätzliche Leiste befestigt.
- Aluminiumrahmen: Der Aluminiumrahmen wird in zwei Varianten gerechnet, zum einen mit einer thermischen Trennung aus Polyamid, zum anderen ohne thermische Trennung. Der U_f -Wert des thermisch getrennten Rahmens beträgt $3,43 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, der des thermisch nicht getrennten Rahmens $6,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Die Wandstärke des Profils beträgt 2 mm. Als Scheiben werden nur Zweischiebenverglasungen eingesetzt, da verbesserte Gläser bei schlechtem Rahmen U_f -Wert wenig sinnvoll sind.
- Holzrahmen: Der nach DIN 68121 gefertigte Holzrahmen (IV 68) hat einen U_f -Wert von $1,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Hier werden auch hochwertige Dreischiebenverglasungen eingesetzt.
- Kunststoffrahmen: In dem Dreikammer-Kunststoffrahmen, mit einem U_f -Wert von

2,13 W/(m²*K) befindet sich in der jeweils mittleren Kammer ein Stahlprofil zur Aussteifung ($\lambda = 50$ W/(m*K)). Die Hauptstege sind mit einer Wandstärke von 3 mm und die Nebenstege mit einer Wandstärke von 1,5 mm konstruiert. Die Hohlräume werden, wie schon oben beschrieben, mit einem Flächenäquivalent gerechnet. Auch in diesen Rahmen werden nur Zweischeibenverglasungen eingesetzt.

- "Passivhaus-Rahmen": Bei dem Passivhausfenster wurde eine Holzkonstruktion gewählt, die im Kernbereich verschiedene Lagen PU-Schaum mit unterschiedlichen λ -Werten enthält (eine Mittellage: $\lambda = 0,04$ W/(m*K); zwei Außenlagen: $\lambda = 0,07$ W/(m*K)). Dadurch erreicht der Rahmen einen U_f -Wert von 0,73 W/(m²*K). Außerdem ist der Glaseinstand erhöht, um den Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Glasrandverbundes zu verringern. Der Rahmen ist mit 13,4 cm nicht viel höher als ein herkömmlicher Rahmen (Holzrahmen: 11,5 cm).

3.2 Verglasung

Die Verglasungen sind in den letzten zehn Jahren immer weiterentwickelt worden. So sind auf dem heutigen Markt bei Wärmeschutzverglasungen kaum noch Produkte mit einem U_g -Wert schlechter als 1,8 W/(m²*K) zu finden. Heute erreichen die besten auf dem Markt erhältlichen Verglasungen Transmissionswärmeverluste, die denen einer in Deutschland typischen monolithischen Außenwandkonstruktion entsprechen [Loga/Feist 1997]. Im Rahmen der vorliegenden Studie werden einige Verglasungen mit unterschiedlichen Gasfüllungen und Beschichtungen untersucht. Auch hier werden zwei alte Verglasungsarten zur energetischen Bewertung von Sanierungsgebäuden mit in die Betrachtung einbezogen. Alle untersuchten Verglasungen werden mit einem Gasfüllgrad von 100% nach DIN EN 673 [DIN EN 673] berechnet. Untersuchungen haben gezeigt, daß sich der Gasfüllgrad im Laufe der Zeit um ca. 10% verringert. Daher werden im Wärmeschutznachweis die im Bundesanzeiger veröffentlichten Werte verwendet, die einen Zuschlag von 0,09 W/(m²*K) erhalten und dann gerundet werden. Der im Zeitverlauf sinkende Gasfüllgrad und der damit steigende U_g -Wert haben auf die Wärmebrücke einen geringen Einfluß, wie später erläutert wird.

3.2.1 Funktionsweise von Wärmeschutzverglasungen

Der Wärmestrom durch eine Verglasung wird durch drei Anteile verursacht.

- Wärmeleitung der Scheibe und des Gases im Scheibenzwischenraum (SZR)
- Konvektion des Gases im SZR
- Wärmestrahlung zwischen den Scheiben

Bei unbeschichteten Zweischeibenverglasungen mit Luftfüllung beträgt der Anteil der Wärmestrahlung ca. 2/3 und der Anteil von Leitung und Konvektion zusammen 1/3 des Wärmestromes. Um die Wärmestrahlung zu reduzieren, wird eine Seite der Scheiben beschichtet (siehe Abbildung 5). In dieser Studie werden drei Beschichtungsarten untersucht: pyrolytische, Silber- und Magnetronbeschichtungen. Durch die Beschichtung wird das Emissionsvermögen der Scheiben im Infrarotbereich unterschiedlich stark verringert. Während bei einer unbeschichteten Scheibe die Emissivität von 0,84 vorliegt, liegt sie bei der pyrolytischen Beschichtung bei 0,18, bei der Silberbeschichtung bei 0,10 und bei der Magnetronbeschichtung bei 0,04 [Feist/Loga 1997]. Allerdings verringert sich mit der Beschichtung auch der Gesamtenergiedurchlaßgrad (g-Wert). Aus verbessertem U-Wert und verschlechtertem g-Wert muß bei einer energetischen Optimierung eine situationsbedingte Lösung gefunden werden.

Zur Verringerung der Wärmeleitung werden verschiedene Edelgase wie Argon, Krypton und Xenon eingesetzt. Allerdings ist Xenon auf dem Markt fast nicht mehr verfügbar und wird deshalb nur noch in seltensten Fällen eingesetzt. Neben der Gasart wird auch der Scheibenzwischenraum vergrößert, wodurch die Wärmeleitung verringert wird.

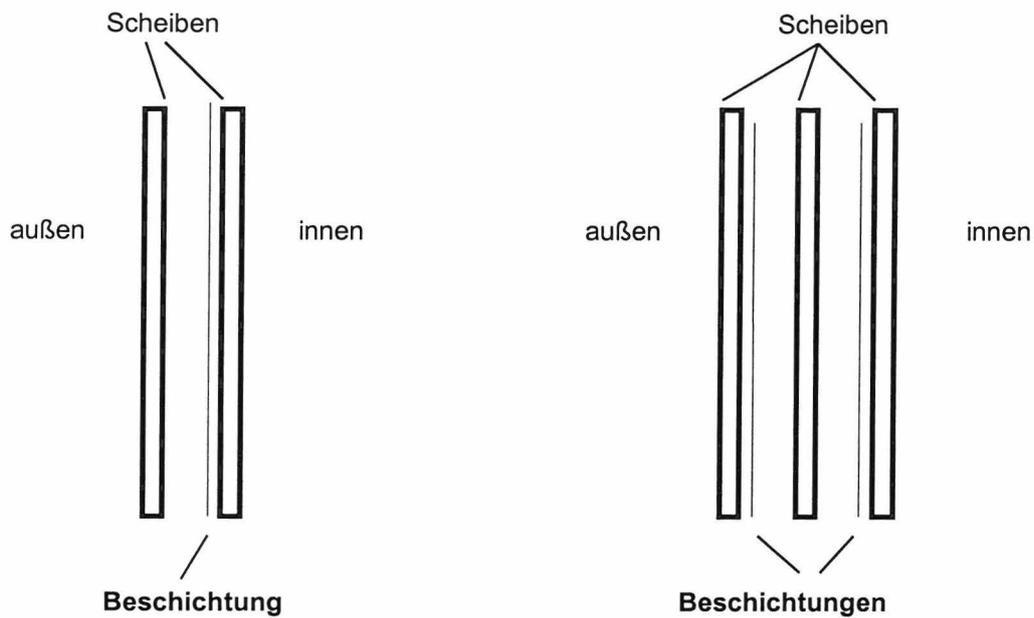


Abbildung 5: Lage der Beschichtungen bei Zwei- und Dreischiebenverglasung

Tabelle 2 zeigt die untersuchten Verglasungen.

Tabelle 2: Untersuchte Verglasungen

| Abkürzung | Verglasungsart | U-Wert Verglasung[W/(m²K)] | Gesamtenenergie-durchlaßgrad |
|--------------|---|----------------------------|------------------------------|
| EV | Einfachverglasung | 5,8 | 0,86 |
| 2-Lu | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Luft | 2,8 | 0,80 |
| 2-Py-Lu | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Pyrolytische Beschichtung; Luft | 1,8 | 0,63 |
| 2-Py-Ar | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Pyrolytische Beschichtung; Argon | 1,5 | 0,63 |
| 2-Py-Kr | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Pyrolytische Beschichtung; Krypton | 1,4 | 0,63 |
| 2-Ag-Ar | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Silberbeschichtung; Argon | 1,3 | 0,62 |
| 2-Ag-Kr | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Silberbeschichtung; Krypton | 1,2 | 0,62 |
| 2-Mag-Ar | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Magnetronbeschichtung; Argon | 1,1 | 0,58 |
| 2-Mag-Kr | Zweischiebenverglasung mit SZR 15mm; Magnetronbeschichtung; Krypton | 1,0 | 0,58 |
| 3-2Py-Kr | Dreischiebenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xPyrolytische Beschichtung; Krypton | 0,9 | 0,57 |
| 3-2Ag-Kr | Dreischiebenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xSilberbeschichtung; Krypton | 0,7 | 0,48 |
| 3-2Mag-Kr | Dreischiebenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xMagnetronbeschichtung; Krypton | 0,6 | 0,42 |
| 3-2Ag-Xe * | Dreischiebenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xSilberbeschichtung; Xenon | 0,5 | 0,48 |
| 3-2Mag-Xe ** | Dreischiebenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xMagnetronbeschichtung; Xenon | 0,4 | 0,42 |

*) auch mit Dreischiebenverglasung mit 2x SZR 10mm; 2x Magnetronbeschichtung; Krypton erreichbar

**) auch mit Dreischiebenverglasung mit 2x SZR 14mm; 2x Magnetronbeschichtung; Krypton erreichbar

3.3 Randverbund der Verglasung

Durch die Verbesserung der Verglasungen ist der Scheibenrandverbund zur Schwachstelle des Fensters geworden, was sich auch bei üblichen Raumluftfeuchten durch Tauwasserniederschlag bemerkbar machen kann. Neuere Entwicklungen gehen dazu über diesen Randverbund, der heute noch meist aus Aluminium besteht, durch andere Materialien zu ersetzen. Die folgende Abbildung 6 zeigt die drei untersuchten, auf dem Markt befindlichen Abstandhalter.

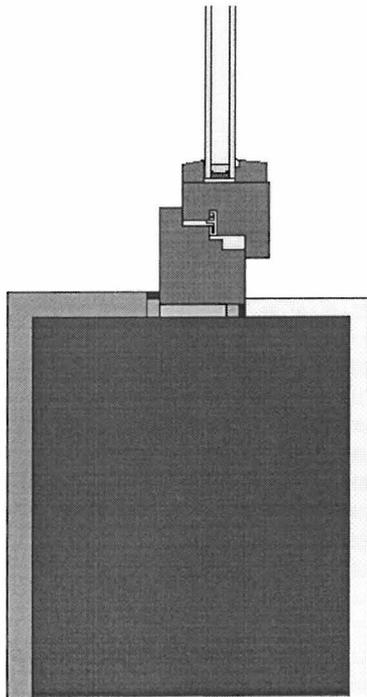


Abbildung 6: Verschiedene Abstandhalter

- Aluminium: Mit einer Wandstärke von 0,35 mm wird das Aluminium-Hohlprofil in den Scheibenzwischenraum eingebaut. Das Profil ist mit einem Trockenmittel gefüllt und ist um 0,5 mm schmaler als der gewünschte Scheibenzwischenraum. Die je 0,25 mm zwischen Aluminium und Glas sind mit Polyisobutyl (PIB) ausgefüllt. Neben der Abstandhalterfunktion dient das Aluminiumprofil als Diffusionsdichtung des Füllgases. Das Profil liegt ungefähr 4 mm vom Scheibenrand entfernt und der entstehende Hohlraum ist mit Polysulfid aufgefüllt.
- Edelstahl: Die Konstruktion ähnelt der des Aluminiumrandverbundes, allerdings kann die Wandstärke aus Stabilitätsgründen auf 0,2 mm verringert werden.
- Kunststoff: Statt eines Metalls wird hier Kunststoff mit einer Wandstärke von 1,3 mm verarbeitet. Im Inneren des Kunststoffsteges befindet sich eine Edelstahlfolie, die als Diffusionssperre für das Füllgas dient.

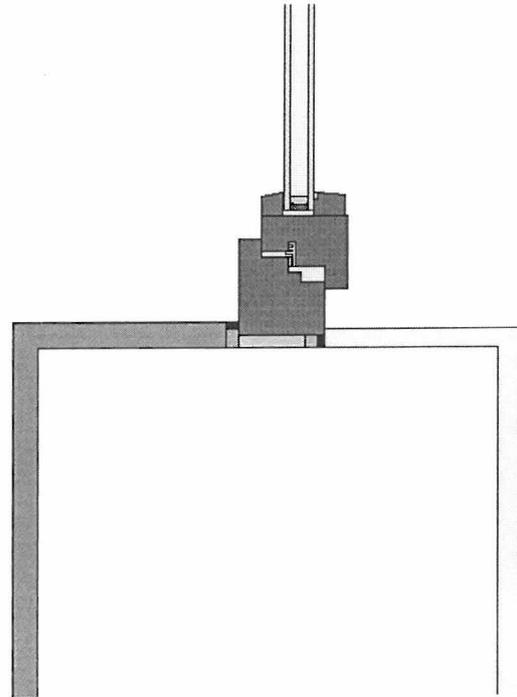
3.4 Einbausituation

Zur Berechnung des Transmissionswärmeverlustes einer gesamten Fensterkonstruktion muß auch die Einbausituation herangezogen werden. In der Untersuchung werden Konstruktionen aus dem Beiblatt 2 der DIN 4108 [DIN 4108-Bb2] sowie zwei ältere Außenwandkonstruktionen verwendet. Die folgenden Abbildungen zeigen die verwendeten Konstruktionen:



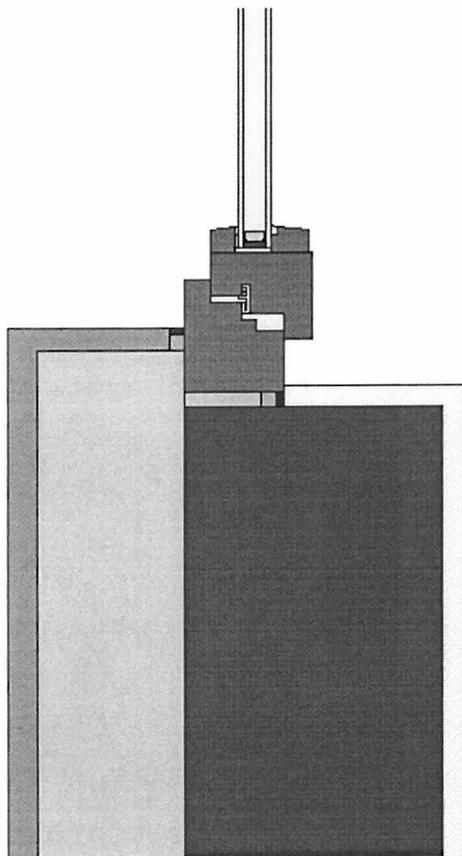
Monolithische Außenwand alter Bauart

$$U_{AW} = 2,07 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$$



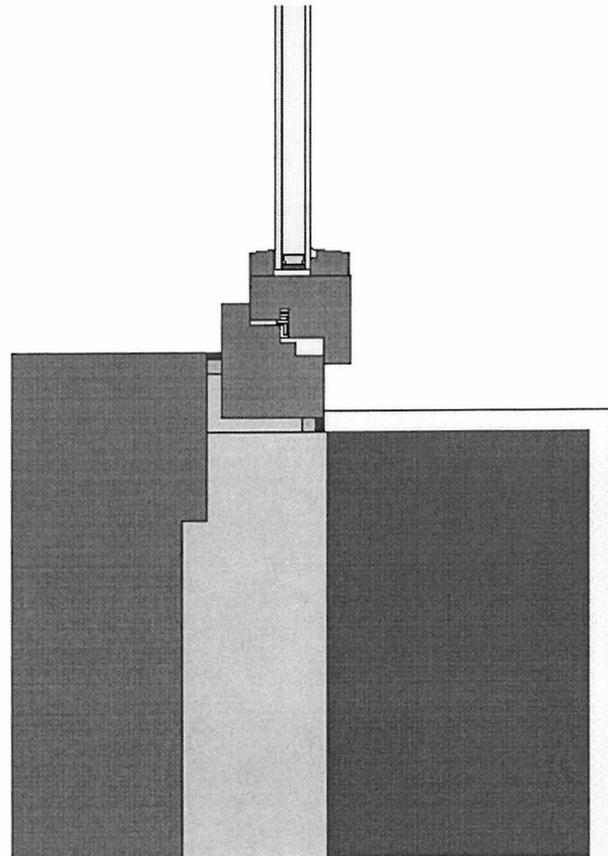
Monolithische Außenwand neuer Bauart

$$U_{AW} = 0,49 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$$



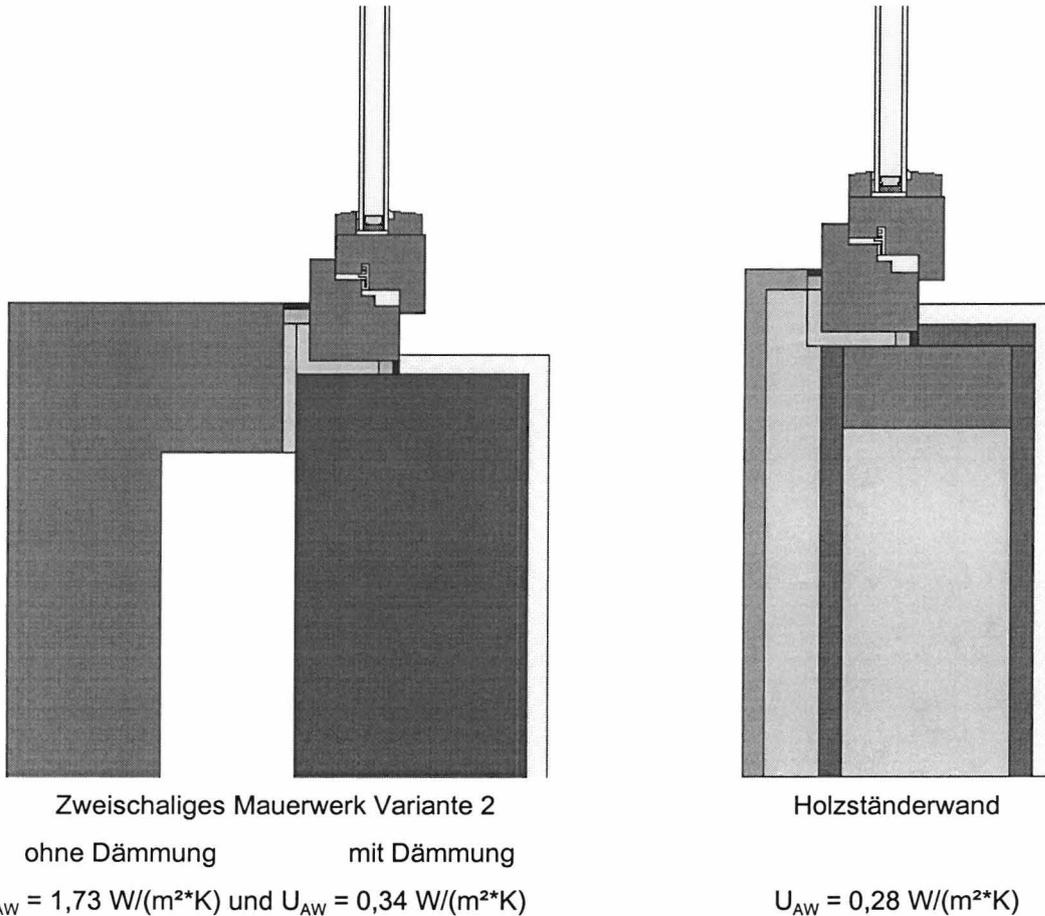
Wand mit Wärmedämmverbundsystem

$$U_{AW} = 0,35 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$$



Zweischaliges Mauerwerk Variante 1
mit Dämmung

$$U_{AW} = 0,34 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$$

**Abbildung 7: Einbausituationen**

- Monolithische Außenwand alter Bauart: Diese Wandkonstruktion besteht aus 2 cm Kalkzementputz ($\lambda = 0,87 \text{ W/(m*K)}$), 25 cm Kalksandstein ($\lambda = 0,99 \text{ W/(m*K)}$) und 1,5 cm Gipsputz ($\lambda = 0,35 \text{ W/(m*K)}$). Die Wand erreicht einen U_{AW} -Wert von $2,07 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$. Das Fenster ist mit einem Dämmstreifen ($\lambda = 0,04 \text{ W/(m*K)}$) an das Mauerwerk angeschlossen und mit dauerelastischer Dichtungsmasse versiegelt.
- Monolithische Außenwand neuer Bauart: Die Konstruktion ähnelt der des alten monolithischen Mauerwerks, besteht aber anstelle des gut wärmeleitenden Kalksandsteins aus einem 36,5 cm starken Porenbetonstein mit einer effektiven Wärmeleitfähigkeit von $0,2 \text{ W/(m*K)}$. Dadurch verbessert sich der Wärmedurchgangskoeffizient auf $0,49 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$.
- Wärmedämmverbundsystem (WDVS): Das WDVS ($\lambda = 0,04 \text{ W/(m*K)}$), mit einer Dicke von 10 cm, liegt vor einer 17,5 cm starken KS-Steinwand und überdeckt den Fensterrahmen mit 3,0 cm. Sonst ist das Fenster wie bei den vorherigen Konstruktionen gleich angeschlossen. So erhält die Wandkonstruktion einen U_{AW} -Wert von $0,35 \text{ W/(m}^2\text{*K)}$.

- Zweischaliges Mauerwerk mit Dämmung Variante 1 (V1): Bei diesem Außenwandaufbau ist vor die Dämmung (10 cm) noch ein Vollklinker (11,5 cm) mit einer Wärmeleitfähigkeit von $1,2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ gesetzt. Das Fenster liegt in der Dämmebene, wird vom Klinker durch einen 1 cm dicken Dämmstreifen getrennt und mit 4 cm überdeckt. Diese Wand hat einen U_{AW} -Wert von $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.
- Zweischaliges Mauerwerk ohne und mit Dämmung Variante 2 (V2): Bei dieser Variante liegt das Fenster nicht in der Dämmebene, wie bei Variante 1, sondern in der Ebene des tragenden Mauerwerks. Dies hat einen großen Einfluß auf den Wärmebrückenverlustkoeffizienten der Einbausituation, wie später in der Auswertung zu erkennen ist. Außerdem wird dieses Mauerwerk mit und ohne Dämmung berechnet, um auch hier Wandaufbauten älterer Bauweise zu bewerten. Durch die fehlende Dämmung ergibt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient von $1,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ statt der $0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ mit Dämmung. Der Wert von $1,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ wurde, wie die anderen Werte auch, von Therm 2.0 ermittelt. Nach [DIN 4108] ergibt sich durch die vereinfachte Rechnung in der Norm ein U_{AW} -Wert von $1,53 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.
- Holzständerwand: Die Holzständerwandkonstruktion hat einen Rasterabstand der Ständer von 62,5 cm. Der Holzstiehl ($12 \times 6 \text{ cm}^2$) ist innen und außen mit einer Holzwerkstoffplatte ($\lambda = 0,15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) beplankt und vollständig gedämmt. Auf der Außenseite befindet sich ein WDVS mit 4 cm Dämmstärke, welches den Fensterahmen inklusive Putz mit 4,5 cm überdeckt. Innenseitig befindet sich eine 15 mm starke Gipskartonplatte ($\lambda = 0,25 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$). Die Wandkonstruktion entspricht nicht exakt dem Beispiel aus dem Beiblatt 2 der DIN 4108 [DIN 4108-Bb 2], da der Zwischenraum des Ständers, wie heute üblich, vollständig gedämmt ist. Die Ständerkonstruktion erreicht mit diesem Aufbau einen U_{AW} -Wert von $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Tabelle 3: Übersicht der U_{AW} -Werte

| Bezeichnung | U_{AW} -Wert $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ |
|---|---|
| Monolithische Außenwand alt | 2,07 |
| Monolithische Außenwand neu | 0,49 |
| Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem | 0,35 |
| Zweischaliges Mauerwerk mit Dämmung Variante 1 und Variante 2 | 0,34 |
| Zweischaliges Mauerwerk ohne Dämmung Variante 1 | 1,73 |
| Holzständerkonstruktion Ständerabstand 62,5 cm | 0,28 |

4 Ergebnisse der Wärmebrückenberechnungen

4.1 Randverbund

Zwei Faktoren beeinflussen den Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Abstandhalters der Verglasung.

- Einfluß des Glaseinstandes

Durch die Überdeckung der Verglasung durch den Rahmen (Glaseinstand) kann der Wärmebrückenverlustkoeffizient vermindert werden. So zeigt sich in Untersuchungen [Feist,W. 1998 / PB14], daß ein Glaseinstand von 40-50 mm bei Passivhausfenstern optimal wäre, aber nicht zu realisieren ist. Aus diesem Grund ist dort ein Glaseinstand von 30 mm als Kompromiß gefunden worden. Die Problematik von Spannungsrissen wird dort ebenfalls diskutiert; weitere Untersuchungen dazu laufen bereits. Übliche Glaseinstände liegen bei maximal 15 mm. Da dies nicht Gegenstand der Studie ist, wurde der Glaseinstand nicht variiert.

- Einfluß des Abstandhalters

Neben dem Glaseinstand spielt das Material des Abstandhalters eine große Rolle. Sinkende Wärmeleitfähigkeiten verringern den Wärmebrückeneffekt merklich. So zeigt das folgende Diagramm 1 beispielhaft den Einfluß der verschiedenen Randverbünde auf den U_w -Wert. Die darauf folgende Abbildung 8 mit den Isothermen (Linien gleicher Temperatur) verdeutlicht die Unterschiede ebenfalls. Beim Abstandhalter aus Aluminium ist ein thermischer Kurzschluß (= geringer Temperaturgradient) zu erkennen d.h. das Aluminium leitet die Wärme so gut, daß sich im Bereich des Randverbundes kaum Temperaturunterschiede ergeben. Hingegen ist bei Edelstahl schon eine leichte Temperaturdifferenz zu erkennen. Beim Kunststoffabstandhalter zeigt sich eine klare Verbesserung. Die Isothermen verlaufen fast senkrecht und erzeugen nur noch einen geringen Wärmebrückeneffekt.

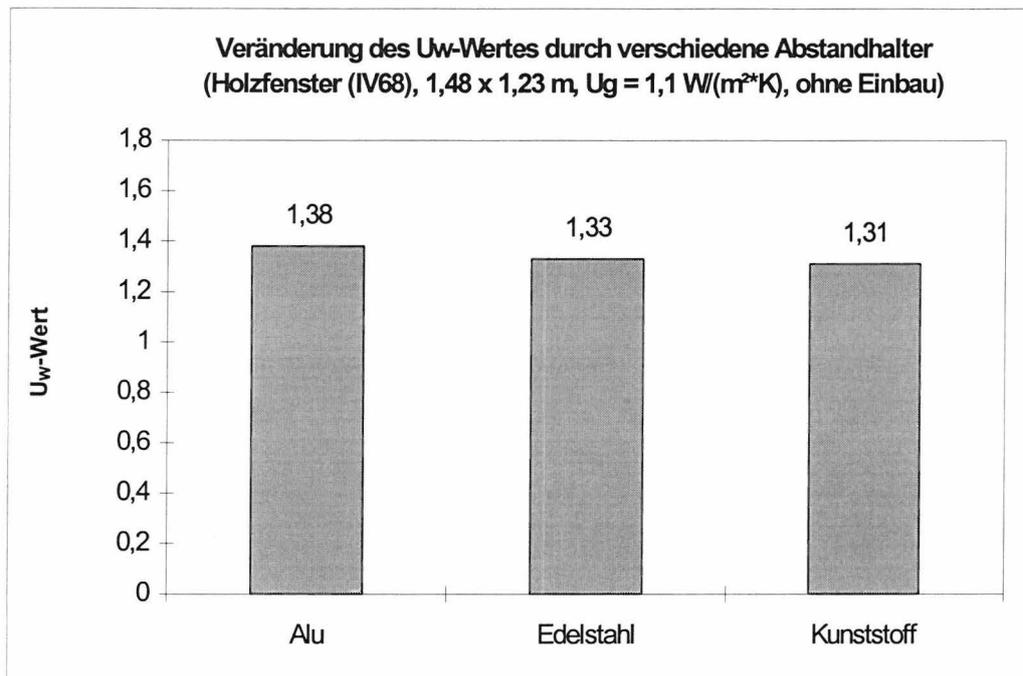


Diagramm 1: Veränderung des U_w -Wertes

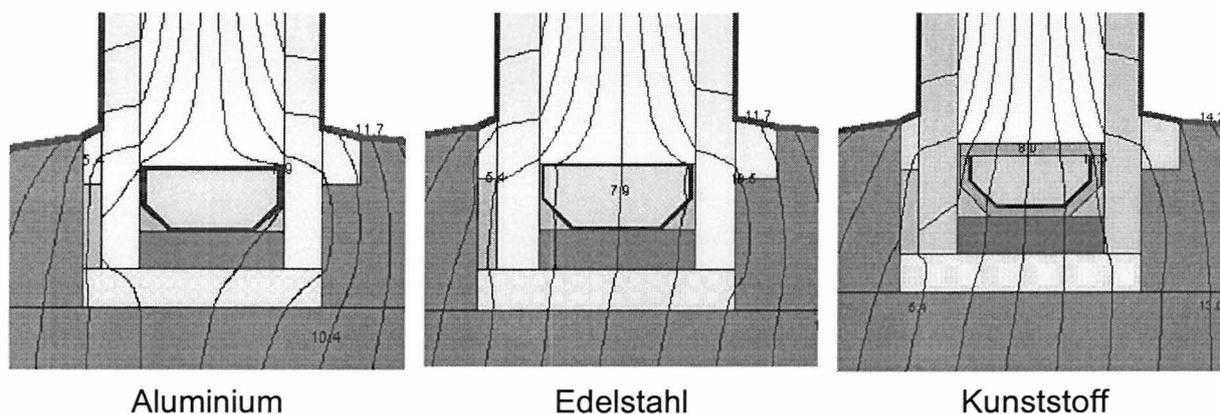


Abbildung 8: Isothermen bei verschiedenen Abstandhaltern

Aber nicht nur der Abstandhalter beeinflusst die Höhe der Wärmebrückenverlustkoeffizienten am Randverbund, auch durch den U_g -Wert wird er verändert. In der folgenden Abbildung 9 ist der Verlauf der Isothermen bei zwei verschiedenen U_g -Werten dargestellt. Dies verdeutlicht, daß mit sinkendem U_g -Wert der Wärmebrückeneffekt sich vergrößert.

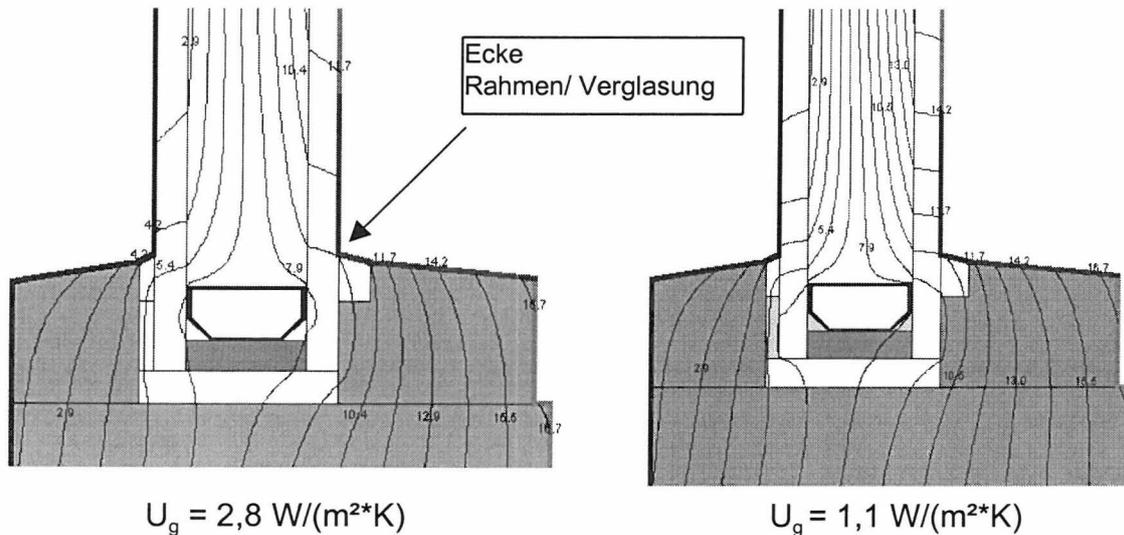


Abbildung 9: Isothermen bei zwei verschiedenen U_g -Werten

Die Isothermen werden durch den Aluminiumrandverbund “auseinandergedrückt”. Im Bereich des Abstandhalters ist die Temperatur nahezu gleich (thermischer Kurzschluß). Bei der 2,8er Verglasung liegt die Temperatur in der Ecke Rahmen/Verglasung bei $9,2^\circ\text{C}$, bei der 1,1er Verglasung bei $10,5^\circ\text{C}$. Die Temperatur an der Aluminiumecke beträgt bei beiden Verglasungen $7,9^\circ\text{C}$. Dadurch ergibt sich eine höhere Temperaturdifferenz und somit ein erhöhter Wärmestrom in Richtung Abstandhalter. Die gleiche Situation ergibt sich an der Außenseite. Dort fließt die Wärme vom Abstandhalter weg zur Außenseite. So ergibt sich eine Beziehung zwischen sinkendem U_g -Wert und steigendem Wärmebrückenverlustkoeffizienten. Dies ist exemplarisch für ein Holzfenster im folgenden Diagramm 2 dargestellt.

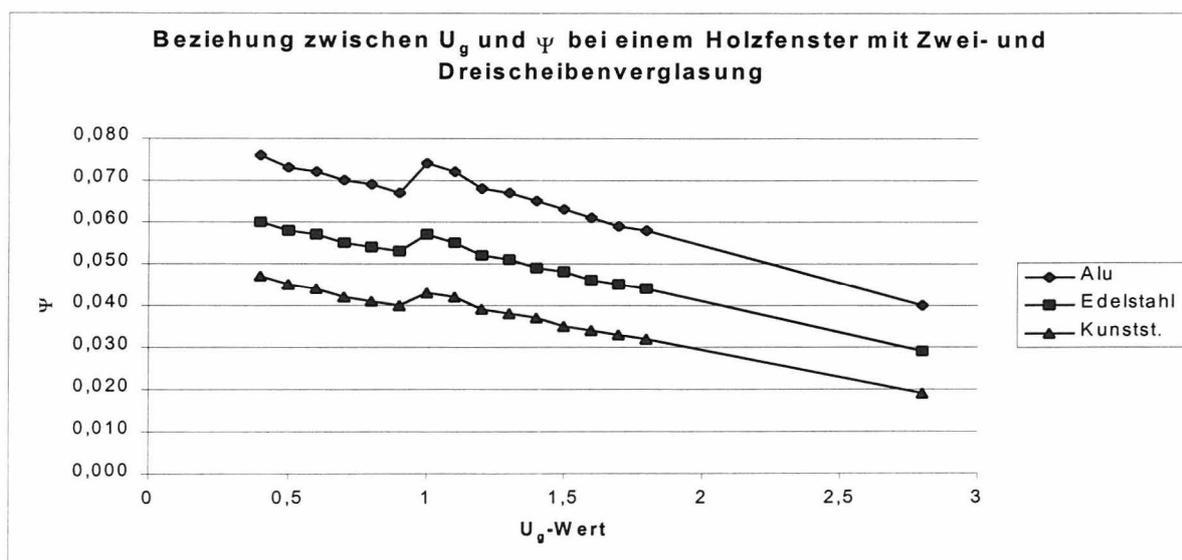


Diagramm 2: Beziehung U_g -Wert und Ψ

Der Sprung zwischen $U_g = 0,9$ und $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ergibt sich durch den Übergang von einer Zweischeiben- zu einer Dreischeibenverglasung. Auf Grund des linearen Zusammenhangs innerhalb eines Verglasungstyps ist es nicht nötig alle Wärmebrückenverlustkoeffizienten zu errechnen, da Zwischenwerte interpoliert werden können. Die folgende Tabelle 4 zeigt die Wärmebrückenverlustkoeffizienten der verschiedenen Rahmen und Verglasungen.

Allerdings sagt die Höhe der Wärmebrücke nichts über die Qualität der gesamten Fensterkonstruktion aus, sondern nur über den Randverbund. Der Unterschied bei den verschiedenen Fenstertypen kommt durch die unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten im Rahmen zustande. Bei hohen Werten ist die Temperaturdifferenz am Abstandhalter zwischen innen und außen nicht so groß. Dadurch verringern sich die zusätzlichen Wärmeströme durch den Abstandhalter.

Tabelle 4: Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Randverbünde

Altes Holzfenster
(U_f -Wert = $2,21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)

| U-Wert | Ψ |
|--|--------------------------------------|
| Glas | |
| $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ | $[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ |
| 5,80 | 0,076 |
| 3,10 | 0,052 |
| 2,35 | 0,055 |
| 1,96 | 0,059 |

EV

EV = Einfachverglasung

Holzfenster DIN 68121
(U_f -Wert = $1,45 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)

| U-Wert | Aluminium Edelstahl Kunststoff | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | Ψ | Ψ | Ψ |
| Glas | | | |
| $[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ | $[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ | $[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ | $[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$ |
| 2,8 | 0,040 | 0,029 | 0,019 |
| 1,8 | 0,058 | 0,044 | 0,032 |
| 1,7 | 0,059 | 0,045 | 0,033 |
| 1,6 | 0,061 | 0,046 | 0,034 |
| 1,5 | 0,063 | 0,048 | 0,035 |
| 1,4 | 0,065 | 0,049 | 0,037 |
| 1,3 | 0,067 | 0,051 | 0,038 |
| 1,2 | 0,068 | 0,052 | 0,039 |
| 1,1 | 0,072 | 0,055 | 0,042 |
| 1,0 | 0,074 | 0,057 | 0,043 |
| 0,9 | 0,067 | 0,053 | 0,040 |
| 0,8 | 0,069 | 0,054 | 0,041 |
| 0,7 | 0,070 | 0,055 | 0,042 |
| 0,6 | 0,072 | 0,057 | 0,044 |
| 0,5 | 0,073 | 0,058 | 0,045 |
| 0,4 | 0,076 | 0,060 | 0,047 |

Alufenster mit thermischer Trennung
(U_f -Wert = 3,43 W/(m²*K))

| U-Wert | Aluminium | | Edelstahl | Kunststoff |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Ψ | Ψ | Ψ | Ψ |
| Glas | | | | |
| [W/m ² *K] |
| 2,8 | 0,057 | 0,032 | 0,019 | |
| 1,8 | 0,062 | 0,038 | 0,018 | |
| 1,7 | 0,063 | 0,039 | 0,019 | |
| 1,6 | 0,065 | 0,040 | 0,020 | |
| 1,5 | 0,065 | 0,041 | 0,021 | |
| 1,4 | 0,068 | 0,043 | 0,022 | |
| 1,3 | 0,067 | 0,044 | 0,024 | |
| 1,2 | 0,068 | 0,045 | 0,025 | |
| 1,1 | 0,072 | 0,047 | 0,026 | |

kursiv = interpoliert

Alufenster ohne therm. Trennung
(U_f -Wert = 6,96 W/(m²*K))

| Aluminium | |
|-----------------------|-----------------------|
| U-Wert | Ψ |
| Glas | |
| [W/m ² *K] | [W/m ² *K] |
| 2,8 | 0,014 |
| 1,8 | 0,027 |

Kunststofffenster
(U_f -Wert = 2,13 W/(m²*K))

| U-Wert | Aluminium | | Edelstahl | Kunststoff |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Ψ | Ψ | Ψ | Ψ |
| Glas | | | | |
| [W/m ² *K] |
| 2,8 | 0,049 | 0,039 | 0,030 | |
| 1,8 | 0,055 | 0,042 | 0,030 | |
| 1,7 | 0,056 | 0,043 | 0,031 | |
| 1,6 | 0,057 | 0,044 | 0,032 | |
| 1,5 | 0,058 | 0,045 | 0,033 | |
| 1,4 | 0,059 | 0,046 | 0,033 | |
| 1,3 | 0,061 | 0,047 | 0,034 | |
| 1,2 | 0,062 | 0,047 | 0,035 | |
| 1,1 | 0,064 | 0,048 | 0,036 | |

PH Fenster
(U_f -Wert = 0,73 W/(m²*K))

| U-Wert | Aluminium | | Edelstahl | Kunststoff |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Ψ | Ψ | Ψ | Ψ |
| Glas | | | | |
| [W/m ² *K] |
| 1,2 | 0,046 | 0,037 | 0,029 | |
| 1,1 | 0,050 | 0,040 | 0,032 | |
| 1,0 | 0,050 | 0,041 | 0,032 | |
| 0,9 | 0,047 | 0,038 | 0,030 | |
| 0,8 | 0,048 | 0,039 | 0,031 | |
| 0,7 | 0,049 | 0,040 | 0,032 | |
| 0,6 | 0,051 | 0,042 | 0,033 | |
| 0,5 | 0,052 | 0,041 | 0,033 | |
| 0,4 | 0,054 | 0,043 | 0,035 | |

4.2 Einbausituation

Die Berechnungen der in Abschnitt 3.4 dargestellten Einbausituationen ergeben Wärmebrückenverlustkoeffizienten in Größenordnungen zwischen 0,04 und 0,16 W/(m²K) (Tabelle 5). Diese werden durch verschiedene Parameter beeinflusst. Neben Materialkennwerten der Wand und des Fensters sowie Überdeckung des Fensterrahmens, verändert auch die Lage des Rahmens die Wärmebrücke. Die Wärmebrückenverlustkoeffizienten für alle untersuchten Einbausituationen finden sich zusammengefaßt in Tabelle 5.

| | Monocalt | Mononeu | WDVS | ZSMW mit V1 | ZSMW ohne V2 | ZSMW mit V2 | Holzständer |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | Ψ_{Einbau} |
| | [W/(m ² K)] |
| Holzalt | 0,160 | - | 0,035 | - | 0,110 | 0,14 | - |
| HolzNeu | 0,115 | 0,065 | 0,035 | 0,025 | 0,095 | 0,15 | 0,035 |
| Kunststoff | 0,110 | 0,065 | 0,025 | 0,015 | 0,085 | 0,135 | 0,010 |
| Alumit | 0,110 | 0,070 | 0,060 | 0,035 | 0,085 | 0,16 | 0,025 |
| Aluohne | 0,140 | 0,115 | - | - | - | - | - |
| PH-Fenster | - | 0,040 | 0,040 | 0,015 | - | 0,15 | 0,010 |

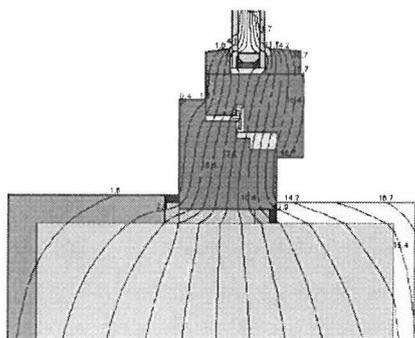
Tabelle 5: Wärmebrückenverlustkoeffizienten Einbau

Im Folgenden werden die Ergebnisse beispielhaft mit Isothermen als Erläuterung dargestellt.

Monolithisches Mauerwerk:

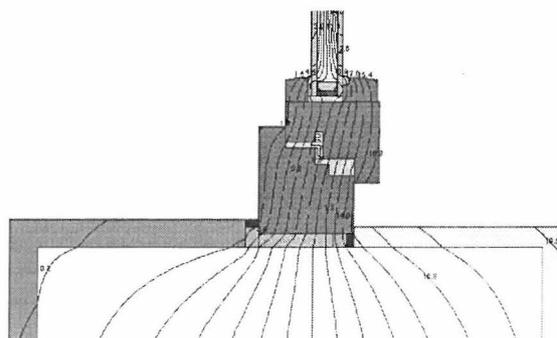
Bei dem stumpf in eine Fensteröffnung eingesetzten Fenster entstehen durch die gegenüber dem ungestörten Bauteil entstandenen Flächen der Laibung zusätzliche Wärmeverluste (Abb.10). Beim alten monolithischen Mauerwerk mit $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ erreicht das Fenster, im Vergleich zum Mauerwerk mit $\lambda = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, einen fast doppelt so hohen Wärmebrückenverlustkoeffizienten, obwohl die wärmeabgebende Fensterlaibungsfläche kleiner ist. Hier besitzt die Wärmeleitfähigkeit der Wand einen hohen Einfluß.

Altes monolithisches Mauerwerk



$$\Psi = 0,115 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Neues monolithisches Mauerwerk



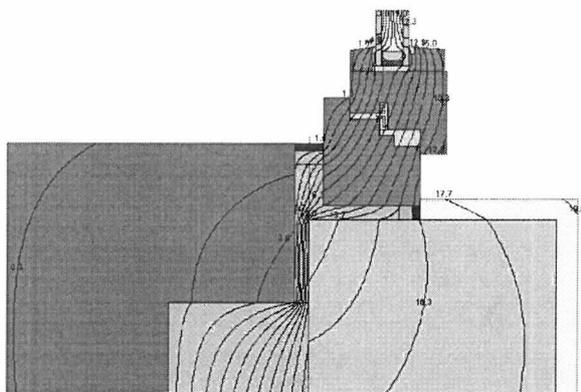
$$\Psi = 0,065 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Abbildung 10: Einfluß des Wandmaterials

Zweischaliges Mauerwerk:

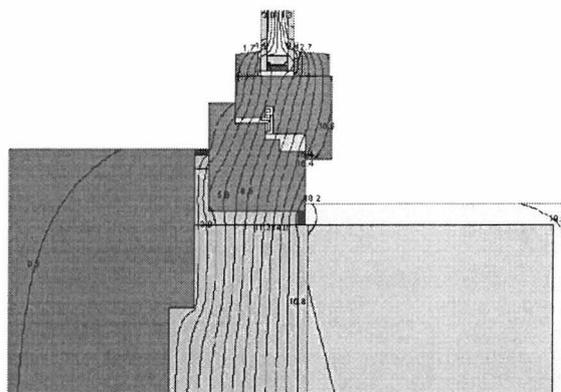
Folgende Abbildung 11 verdeutlicht am Beispiel des zweischaligen Mauerwerks, daß bei Außenwänden mit mehreren Schichten unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit die Lage des Fensters eine wesentliche Rolle bei der Betrachtung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten spielt. So reduziert sich die Wärmebrücke in diesem Fall um den Faktor sechs, wenn das Fenster, anstatt auf dem Mauerwerk mit Stein als Lattungverblender, in der Dämmebene angeordnet wird.

Holzfenster in Wandebene



$$\Psi = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Holzfenster in Dämmebene



$$\Psi = 0,025 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

Abbildung 11: Einfluß der Lage der Fenster

Im rechten Bild verlaufen die Isothermen nahezu senkrecht und werden kaum gestört. Der Wärmebrückeneffekt ist sehr gering. Im Fall des Holzfensters liegt er bei 0,025 W/(m²K).

Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS):

Der Einfluß des Rahmenmaterials und dessen Konstruktion wird in Abbildung 12 deutlich. So geht durch ein thermisch getrenntes Aluminiumfenster zusätzlich ge-

genüber dem jeweiligen U_w -Wert mehr Energie über den Anschluß verloren, als bei einer Holzrahmenkonstruktion. Auch hier wird der Wärmestrom so durch die Konstruktion geleitet, daß sich der Wärmebrückenverlustkoeffizient fast verdoppelt. Gerade beim thermisch getrennten Aluminiumrahmen wäre also der Einbau in der Dämmebene erheblich besser (hier nicht dargestellt).

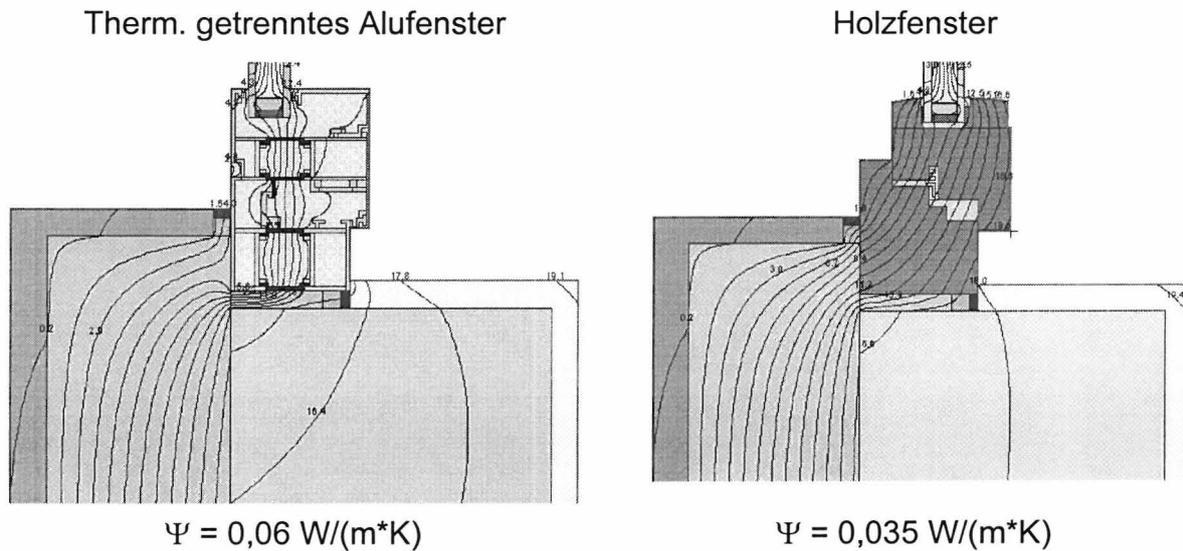


Abbildung 12: Einfluß der Fensterkonstruktionen und dessen Material

Als vierter Faktor verändert die Überdeckung des Rahmens den Wärmebrückenverlustkoeffizienten. So halbiert sich in dem Beispiel die Wärmebrücke, wenn der Holzrahmen mit 3 cm Dämmstoff überdeckt wird.

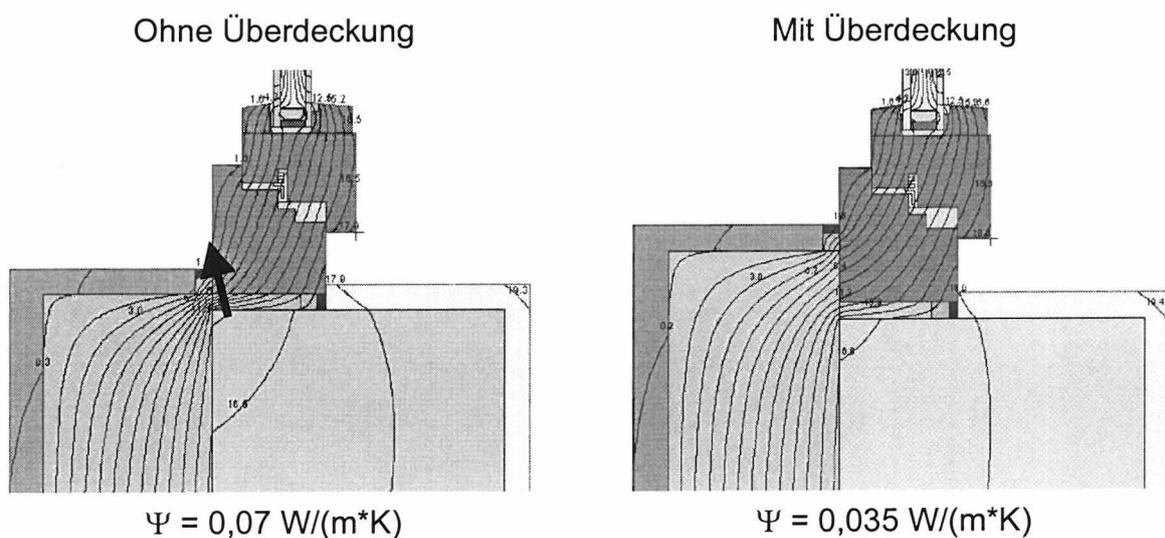


Abbildung 13: Einfluß der Überdeckung

Existiert keine Überdeckung wird der Isothermenverlauf so gestört, daß die Iso-

5 Zusammenfassung

Die Untersuchung hat verdeutlicht, daß die Betrachtung der Fenster in Energiebilanzberechnungen von Gebäuden nach Tabelle 2 der DIN 4108-4 [4108-4] stark vereinfacht ist. Die Wärmebrückenverluste müssen mit eingerechnet werden. Schon in einem Einfamilienhaus ergeben sich schnell 100 m Fensterrand. Bei $\Psi_{\text{Randverbund}}$ und Ψ_{Einbau} von z. B. je $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erhöht sich der Wärmeleitwert um einen Betrag von $10 \text{ W}/\text{K}$. Dies entspricht für ein mittleres deutsches Klima ca. 800 kWh/a . Bei einem guten Niedrigenergiehaus sind das bereits 15% des Heizwärmebedarfes. Aus diesem Grunde sollen die Ergebnisse der vorliegenden in das Energiebilanzverfahren des "Energiepaß Heizung / Warmwasser" [EPHW] einfließen. Da in der Praxis bei Planung und Energieberatung der Umfang der Einzelfenster nicht erfasst wird und somit auch die detaillierte Berechnung (vgl Kapitel 2.2) nicht durchgeführt werden kann, ist es sinnvoll die Fenster wenigstens in verschiedene Größenklassen einzuteilen. Die auf den nächsten Seiten entwickelten Tabellen sind an die Fenstertabelle des Energiepaß Heizung / Warmwasser [EPHW] angelehnt und ergänzt, um den Umgang zu erleichtern. Außerdem werden nur die gängigsten Verglasungen eingesetzt. Falls andere eingesetzt werden, können die U_w -Werte interpoliert werden. Die Wärmebrückenverlustkoeffizienten werden aufgerundet, da die Simulationen den Idealfall darstellen und die Ungenauigkeiten auf der Baustelle berücksichtigt werden müssen. Ergänzend werden Fenster mit echten Sprossen betrachtet, da diese nochmals den Transmissionswärmeverlust erheblich erhöhen. Gerechnet wird mit einer mittleren Größe des Fensters und dem höchsten U_f -Wert der Rahmenmaterialgruppe. Die Werte der ersten Tabelle stellen den Basisfall (monolithisches Mauerwerk mit Aluminium-Randverbund) dar. Für grobe Abschätzungen reichen diese Werte aus. Für differenzierte Betrachtungen können diese durch Abschläge bzw. Zuschläge (ΔU) für Einbausituation und Randverbund aus den darauf folgenden Tabellen ermittelt werden.

Anwendungsbeispiel:

Ein normales Kunststoff-Fenster sitzt in der Dämmebene eines zweischaligen Mauerwerks (V 1) mit einer Innenraum bezogenen Größe von $1,5 \times 1,0 \text{ m}$ ($=1,5 \text{ m}^2$). Die Verglasung besitzt einen U-Wert von $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und ist mit Edelstahlabstandhaltern gefertigt.

Daraus ergibt sich ein U_w -Wert von:

$$U_w = 2,08 - 0,17 - 0,04 = 1,87 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$$

| Basistabelle: U-Werte von Fenstern * | | | | | Vergleich zur |
|---|--|--|--|--|--|
| | große Fenster und Fenstertüren | mittlere Fenster | kleine Fenster | Sprossenfenster | DIN V 4108-4 Tab.2 |
| | | | | | In der DIN 4108-4 Tabelle 2 fehlt Ψ_{Einbau} und $\Psi_{\text{Randverbund}}$ |
| Fensterfläche | von bis 2,0 m ² 4,0 m ² | von bis 1,0 m ² 2,0 m ² | von bis 0,3 m ² 1,0 m ² | von bis 0,5 m ² 3,0 m ² | von bis Keine Angaben |
| "Passivhaus-Rahmen" mit $U_f \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ | | | | | |
| Glasanteil der Fensterfläche | 71 % | 60 % | 43 % | 63 % | 70 % |
| Verglasungstyp ** | U-Wert des Fensters in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | | | | |
| $U_g = 0,9$ (z.B. 3-2Py-Kr) | 1,06 | 1,12 | 1,22 | 1,23 | 1,2 |
| $U_g = 0,7$ (z.B. 3-2Ag-Kr) | 0,92 | 1,00 | 1,13 | 1,11 | 1,1 |
| $U_g = 0,4$ (z.B. 3-2Mag-Xe) | 0,71 | 0,82 | 1,00 | 0,92 | - |
| "Niedrigenergie-Rahmen" Material mit $U_f \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (z.B. IV 68 Holzrahmen $U_f = 1,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) | | | | | |
| Glasanteil der Fensterfläche | 75 % | 65 % | 50 % | 67 % | 70 % |
| Verglasungstyp ** | U-Wert des Fensters in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | | | | |
| $U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu) | 2,71 | 2,67 | 2,62 | 2,78 | 2,5 |
| $U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu) | 2,02 | 2,10 | 2,24 | 2,26 | 1,8 |
| $U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar) | 1,79 | 1,91 | 2,09 | 2,06 | 1,6 |
| $U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar) | 1,49 | 1,65 | 1,89 | 1,79 | 1,3 |
| $U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr) | 1,20 | 1,39 | 1,69 | 1,53 | 1,1 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 1 nach DIN 4108 Teil 4: mit $U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (z.B. Vierkammerkunststoffrahmen) | | | | | |
| Glasanteil der Fensterfläche | 75 % | 65 % | 49 % | 67 % | 70 % |
| Verglasungstyp ** | U-Wert des Fensters in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | | | | |
| $U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu) | 2,85 | 2,87 | 2,90 | 2,99 | 2,5 |
| $U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu) | 2,12 | 2,25 | 2,45 | 2,37 | 1,8 |
| $U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar) | 1,90 | 2,06 | 2,30 | 2,17 | 1,6 |
| $U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar) | 1,60 | 1,80 | 2,11 | 1,90 | 1,3 |
| $U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr) | 1,32 | 1,57 | 1,95 | 1,68 | 1,2 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.1 nach DIN 4108 Teil 4: mit $2,0 < U_f \leq 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (z.B. Dreikammerkunststoffrahmen / alter Holzrahmen) | | | | | |
| Glasanteil der Fensterfläche | 75 % | 65 % | 49 % | 67 % | 70 % |
| Verglasungstyp ** | U-Wert des Fensters in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | | | | |
| $U_g = 5,8$ (z.B. EV) | 5,34 | 5,16 | 4,88 | 5,40 | 5,2 |
| $U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR) | 3,28 | 3,35 | 3,46 | 3,46 | 3,0 |
| $U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu) | 3,05 | 3,15 | 3,31 | 3,26 | 2,7 |
| $U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu) | 2,33 | 2,53 | 2,86 | 2,64 | 2,0 |
| $U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar) | 2,10 | 2,34 | 2,71 | 2,43 | 1,8 |
| $U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar) | 1,81 | 2,08 | 2,51 | 2,17 | 1,6 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.2 nach DIN 4108 Teil 4: mit $2,8 < U_f \leq 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (z.B. Alurahmen mit thermischer Trennung $U_f = 3,43 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) | | | | | |
| Glasanteil der Fensterfläche | 76 % | 66 % | 51 % | 68 % | 70 % |
| Verglasungstyp ** | U-Wert des Fensters in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | | | | |
| $U_g = 5,8$ (z.B. EV) | 5,56 | 5,46 | 5,31 | 5,68 | 5,2 |
| $U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR) | 3,48 | 3,63 | 3,87 | 3,75 | 3,2 |
| $U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu) | 3,26 | 3,43 | 3,72 | 3,55 | 2,9 |
| $U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu) | 2,51 | 2,79 | 3,23 | 2,89 | 2,2 |
| $U_g = 1,4$ (z.B. 2-Py-Kr) | 2,21 | 2,52 | 3,02 | 2,61 | 1,9 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.3/3 nach DIN 4108 Teil 4: mit $U_f > 3,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (z.B. Aluminiumrahmen ohne thermische Trennung $U_f = 6,96 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) | | | | | |
| Glasanteil der Fensterfläche | 76 % | 66 % | 51 % | 68 % | 70 % |
| Verglasungstyp ** | U-Wert des Fensters in $\text{W/(m}^2\text{K)}$ | | | | |
| $U_g = 5,8$ (z.B. EV) | 6,52 | 6,80 | 7,25 | 6,92 | 5,2 |
| $U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR) | 4,35 | 4,84 | 5,65 | 4,76 | 3,4 bis 4,0 |
| $U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu) | 4,12 | 4,65 | 5,50 | 4,56 | 3,2 bis 3,7 |
| $U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu) | 3,40 | 4,03 | 5,04 | 3,95 | 2,5 bis 3,0 |
| $U_g = 1,4$ (z.B. 2-Py-Kr) | 3,09 | 3,76 | 4,84 | 3,67 | 2,2 bis 2,7 |
| Die der Berechnung des Gesamt-Fenster-U-Wertes zugrundeliegenden Rahmen-U-Werte entsprechen der jeweils angegebenen Obergrenze der Klasse. | | | | | |
| * = Monolithisches Mauerwerk neu ($U_f = 0,49 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) mit Alu-Randverbund ** = Zwischenwerte können interpoliert werden | | | | | |

| Zusatztable 1: U-Wert-Korrekturen für die Einbausituation in W/(m²K) (Zuschläge) | | | | |
|--|---|---|---|---|
| | große Fenster und Fenstertüren | mittlere Fenster | kleine Fenster | Sprossenfenster |
| |  |  |  |  |
| Fensterfläche | von bis 2,0 m² 4,0 m² | von bis 1,0 m² 2,0 m² | von bis 0,3 m² 1,0 m² | von bis 0,5 m² 3,0 m² |
| "Passivhausrahmen" | | | | |
| Wärmedämmverbundsysteme | 0,00 | -0,01 | -0,01 | -0,01 |
| Mehrschaliges MW V1 mit | -0,06 | -0,08 | -0,13 | -0,07 |
| Mehrschaliges MW V2 mit | 0,26 | 0,37 | 0,56 | 0,34 |
| Holzständerbauweise | -0,07 | -0,10 | -0,15 | -0,09 |
| "Niedrigenergie-Rahmen" | | | | |
| Alte monolithische AW | 0,12 | 0,17 | 0,26 | 0,16 |
| Wärmedämmverbundsysteme | -0,07 | -0,10 | -0,15 | -0,09 |
| Mehrschaliges MW V1 mit | -0,09 | -0,13 | -0,20 | -0,12 |
| Mehrschaliges MW V2 ohn | 0,07 | 0,10 | 0,15 | 0,10 |
| Mehrschaliges MW V2 mit | 0,20 | 0,28 | 0,43 | 0,27 |
| Holzständerbauweise | -0,07 | -0,10 | -0,15 | -0,10 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 1 nach DIN 4108 Teil 4: | | | | |
| Alte monolithische AW | 0,11 | 0,15 | 0,23 | 0,14 |
| Wärmedämmverbundsysteme | -0,09 | -0,13 | -0,20 | -0,13 |
| Mehrschaliges MW V1 mit | -0,12 | -0,17 | -0,26 | -0,16 |
| Mehrschaliges MW V2 ohn | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,06 |
| Mehrschaliges MW V2 mit | 0,16 | 0,23 | 0,36 | 0,22 |
| Holzständerbauweise | -0,13 | -0,18 | -0,28 | -0,17 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.1 nach DIN 4108 Teil 4: | | | | |
| Alte monolithische AW | 0,11 | 0,15 | 0,23 | 0,14 |
| Wärmedämmverbundsysteme | -0,09 | -0,13 | -0,20 | -0,13 |
| Mehrschaliges MW V1 mit | -0,12 | -0,17 | -0,26 | -0,16 |
| Mehrschaliges MW V2 ohn | 0,05 | 0,07 | 0,10 | 0,06 |
| Mehrschaliges MW V2 mit | 0,16 | 0,23 | 0,36 | 0,22 |
| Holzständerbauweise | -0,13 | -0,18 | -0,28 | -0,17 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.2 nach DIN 4108 Teil 4: | | | | |
| Alte monolithische AW | 0,09 | 0,13 | 0,20 | 0,12 |
| Wärmedämmverbundsysteme | -0,02 | -0,03 | -0,05 | -0,03 |
| Mehrschaliges MW V1 mit | -0,08 | -0,12 | -0,18 | -0,11 |
| Mehrschaliges MW V2 ohn | 0,04 | 0,05 | 0,08 | 0,05 |
| Mehrschaliges MW V2 mit | 0,21 | 0,30 | 0,46 | 0,28 |
| Holzständerbauweise | -0,11 | -0,15 | -0,23 | -0,14 |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.3 nach DIN 4108 Teil 4: | | | | |
| Alte monolithische AW | 0,06 | 0,08 | 0,13 | 0,08 |
| Wärmedämmverbundsysteme | -0,13 | -0,18 | -0,28 | -0,17 |
| Mehrschaliges MW V2 ohn | -0,07 | -0,10 | -0,15 | -0,10 |
| Mehrschaliges MW V2 mit | 0,11 | 0,15 | 0,23 | 0,14 |
| Holzständerbauweise | -0,21 | -0,30 | -0,46 | -0,29 |
| Die der Berechnung des Gesamt-Fenster-U-Wertes zugrundeliegenden Rahmen-U-Werte entsprechen der jeweils angegebenen Obergrenze der Klasse. | | | | |
| * = Zwischenwerte können interpoliert werden | | | | |

| Zusatztable 2: U-Wert-Korrekturen für den Randverbund in W/(m²K) (Zuschläge) | | | | | | | | | |
|--|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|--|
| | große Fenster und Fenstertüren | | mittlere Fenster | | kleine Fenster | | Sprossenfenster | | |
| |  | |  | |  | |  | | |
| Fensterfläche | von bis 2,0 m² 4,0 m² | | von bis 1,0 m² 2,0 m² | | von bis 0,3 m² 1,0 m² | | von bis 0,5 m² 3,0 m² | | |
| "Passivhausrahmen" | | | | | | | | | |
| Randverbund Edelstahl/Kunststoff | | | | | | | | | |
| Verglasungstyp | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | |
| Alle | -0,02 | -0,04 | -0,02 | -0,05 | -0,03 | -0,06 | -0,05 | -0,10 | |
| "Niedrigenergie-Rahmen" | | | | | | | | | |
| Randverbund Edelstahl/Kunststoff | | | | | | | | | |
| Verglasungstyp | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | |
| U _g = 2,8 (z.B. 2-Lu) | -0,02 | -0,04 | -0,02 | -0,05 | -0,03 | -0,07 | -0,05 | -0,10 | |
| alle anderen | -0,04 | -0,06 | -0,06 | -0,08 | -0,08 | -0,11 | -0,10 | -0,15 | |
| Rahmenmaterial der Gruppe 1 nach DIN 4108 Teil 4: | | | | | | | | | |
| Randverbund Edelstahl/Kunststoff | | | | | | | | | |
| Verglasungstyp | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | |
| U _g = 2,8 (z.B. 2-Lu) | -0,02 | -0,04 | -0,03 | -0,05 | -0,03 | -0,07 | -0,06 | -0,11 | |
| alle anderen | -0,03 | -0,05 | -0,04 | -0,07 | -0,06 | -0,09 | -0,08 | -0,13 | |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.1 nach DIN 4108 Teil 4: | | | | | | | | | |
| Randverbund Edelstahl/Kunststoff | | | | | | | | | |
| Verglasungstyp | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | |
| U _g = 5,8 / 3,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| U _g = 2,8 (z.B. 2-Lu) | -0,02 | -0,04 | -0,02 | -0,05 | -0,03 | -0,07 | -0,05 | -0,10 | |
| alle anderen | -0,03 | -0,05 | -0,04 | -0,07 | -0,05 | -0,09 | -0,07 | -0,13 | |
| Rahmenmaterial der Gruppe 2.2 nach DIN 4108 Teil 4: | | | | | | | | | |
| Randverbund Edelstahl/Kunststoff | | | | | | | | | |
| Verglasungstyp | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | Edelstahl | Kunst. | |
| U _g = 5,8 / 3,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| alle anderen | -0,05 | -0,08 | -0,06 | -0,11 | -0,09 | -0,15 | -0,13 | -0,21 | |

6 Literaturverzeichnis

- [bauen.com] Online-Magazin "www.bauen.com" des PMO Verlages im Internet, Elisabeth-Selbert-Straße 14, 40764 Langenfeld
- [DIN 68121-1] Deutsches Institut für Normung: DIN 68121, Teil1, 9/1993: Holzprofile für Fenster und Fenstertüren; Maße, Qualitätsanforderungen; Beuth Verlag, Berlin 1993
- [DIN V 4108-4] Deutsches Institut für Normung; Vornorm DIN 4108 Teil 4, 10/1998: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte; Beuth Verlag, Berlin 1998
- [DIN 4108-Bb 2] Deutsches Institut für Normung; Beiblatt 2 DIN 4108, 8/1998: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden; Wärmebrücken Planungs- und Ausführungsbeispiele; Beuth Verlag, Berlin 1998
- [DIN EN 673] Deutsches Institut für Normung; DIN EN 673, 11/1997: Glas im Bauwesen: Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert), Berechnungsverfahren; Beuth Verlag, Berlin 1997
- [EPHW 1997] Loga,T.; Imkeller-Benjes,U.; Energiepass Heizung/ Warmwasser; IWU, Darmstadt 1997
- [Feist,W. 1998 / PB 14] Feist,W., Protokollband 14: Passivhausfenster des Arbeitskreises kostenkünstige Passivhäuser Passivhausinstitut, Darmstadt 1998
- [Feist,W. 1999 / PB 16] Feist,W., Protokollband 16: Wärmebrückenfreies Konstruieren des Arbeitskreises kostenkünstige Passivhäuser; Passivhausinstitut, Darmstadt 1999
- [LBL 1998] Lawrence Berkely National Laboratory 1998, Finite Element Simulator, Version 2.00.14
- [Loga/Feist 1997] Loga,T., Feist,W., Verglasungsqualität - Einfluß auf Wärmebilanz und thermische Behaglichkeit in Niedrig- und Passivhäusern; IWU, Darmstadt 1997

- [prEN 30077] Europäischer Normenentwurf EN 30077, 1993: Wärmedurchgang von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Rechenmethode
- [prEN ISO 10077-2] Europäischer Normenentwurf EN ISO 10077 Teil 2, 1998: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen, Berechnung des Wärmebrückenverlustkoeffizienten: Numerisches Verfahren für Rahmen

7 Anhang

Verwendete Wärmeleitfähigkeiten

| Materialbeschreibung | [W/(m*K)] |
|---|------------------|
| Aluminium (Legierung) | 160,00 |
| Dämmung | 0,04 |
| Edelstahl (ISO 10077) | 17,00 |
| EPDM Dichtung | 0,25 |
| Gipskartonplatte | 0,25 |
| Gipsputz | 0,35 |
| Glas (ISO 10077) | 1,00 |
| Holz | 0,13 |
| Holzwerkstoffplatte | 0,15 |
| Kalksandstein | 0,99 |
| Kalkzementputz | 0,87 |
| Klinker | 1,20 |
| Kunststoff für Abstandhalter (Herstellerangabe) | 0,19 |
| Polyisobutylen (PIB) | 0,20 |
| Polysulfid | 0,40 |
| Porenbetonstein | 0,20 |
| PU Schaum | 0,03 |
| PVC | 0,17 |
| Silicon | 0,35 |
| Stahl | 50,00 |
| Trockenmittel (Silicagel) | 0,13 |
| Vorlegeband (Herstellerangaben) | 0,04 |

Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes von Gläsern nach DIN EN 673

Materialkennwerte

| | Temperatur ϑ [°C] | Dichte ρ [kg/m ³] | dyn. Viskosität μ [kg/(m*s)] | Leitfähigkeit λ [W/(m*K)] | spez. Wärme c [J/(kg*K)] |
|------------------|-----------------------------------|--|--|---|----------------------------------|
| Luft | 10 | 1,232 | 1,761E-05 | 2,496E-02 | 1,008E+03 |
| Argon | 10 | 1,699 | 2,164E-05 | 1,684E-02 | 5,190E+02 |
| Krypton | 10 | 3,56 | 2,400E-05 | 9,000E-03 | 2,450E+02 |
| Xenon aus VDI WA | 10 | 5,65 | 2,180E-05 | 5,300E-03 | 1,590E+02 |
| SF6 | 10 | 6,36 | 1,459E-05 | 1,275E-02 | 6,140E+02 |
| Gemische SZR 1 | 10 | 3,56 | 2,400E-05 | 9,000E-03 | 2,450E+02 |
| Gemische SZR 2 | 10 | 3,56 | 2,400E-05 | 9,000E-03 | 2,450E+02 |
| Glas | | | | 1,00 | |

Bemerkung: Werte für Xenon aus VDI Wärmeatlas ermittelt

| Gasgemische | | SZR 1 | SZR 2 | |
|----------------|-----|-------|-------|---------------------------|
| Anteil Luft | [%] | 0 | 0 | |
| Anteil Argon | [%] | 0 | 0 | |
| Anteil Krypton | [%] | 100 | 100 | |
| Anteil Xenon | [%] | 0 | 0 | |
| SF6 | [%] | 0 | 0 | |
| | | 100 | 100 | muß jeweils 100% ergeben! |

| Klimabedingungen | | | |
|---------------------|------|----|---|
| Außentemperatur | [°C] | 0 | Rechnen mit 1=Ja o. 0=Nein Iteration? <input type="text" value="1"/> 2 SV: 0 3 SV: 1 wenn ϵ_2 ungleich ϵ_5 |
| Innentemperatur | [°C] | 20 | |
| Temperaturdifferenz | [°K] | 20 | |

Bemerkung: Bei Dreischeibenverglasung wird der U-Wert bei 0°C und 20°C ermittelt

| SZR 1 | | SZR 2 | |
|----------------------------|---|----------------------------|---|
| SZR in [m] | 0,01 | SZR in [m] | 0,01 |
| ϵ_2 | 0,04 | ϵ_4 | 0,837 |
| ϵ_3 | 0,837 | ϵ_5 | 0,04 |
| Scheibendicke [m] 1 | 0,004 | Scheibendicke [m] 3 | 0,004 |
| Scheibendicke [m] 2 | 0,004 | | |
| U-Wert 2-Scheibenv. | | U-Wert 3-Scheibenv. | 0,50200 |
| Wert für Therm SZR 1 | 0,011040292 (Wärmeleitfähigkeit des SZR 1) | Wert für Therm SZR 2 | 0,011040292 (Wärmeleitfähigkeit des SZR 2) |
| Wärmestromdichte | | Wärmestromdichte | 10,04003728 |
| Temperatur innen | | Temperatur innen | 20,00 |
| Temperatur 1 | | Temperatur 1 | 18,74 |
| Temperatur 2 | | Temperatur 2 | 18,70 |
| Temperatur 3 | | Temperatur 3 | 9,61 |
| Temperatur 4 | | Temperatur 4 | 9,57 |
| Temperatur außen | | Temperatur 5 | 0,48 |
| | | Temperatur 6 | 0,44 |
| | | Temperatur außen | 0,00 |

Aktuelle Liste der verschiedenen U_g -Werte und äquivalente Wärmeleitfähigkeiten für Therm 2.0

Emissivität der Beschichtungen

| | |
|---------------------------|-------|
| ohne Beschichtung | 0,837 |
| pyrolytische Beschichtung | 0,18 |
| Silberbeschichtung | 0,1 |
| Magnetronbeschichtung | 0,04 |

Zweischeibenverglasung

| SZR; Beschichtung | Gas Luft 2x4mm | | Argon 2x4mm | | Krypton 2x4mm | | Xenon 2x4mm | | SF6 2x4mm | |
|----------------------|----------------------|-------|----------------|-------|------------------|-------|----------------|-------|--------------|-------|
| | U-Wert | Therm | U-Wert | Therm | U-Wert | Therm | U-Wert | Therm | U-Wert | Therm |
| 8 ohne | 3,065 | 0,065 | 2,867 | 0,046 | 2,608 | 0,039 | 2,513 | 0,036 | 3,069 | 0,054 |
| 15 ohne | 2,755 | 0,060 | 2,613 | 0,073 | 2,565 | 0,070 | 2,536 | 0,069 | 3,126 | 0,105 |
| 30 ohne | 2,781 | 0,164 | 2,647 | 0,149 | 2,595 | 0,144 | 2,563 | 0,140 | 3,190 | 0,219 |
| 8 Py | 2,350 | 0,032 | 1,981 | 0,024 | 1,489 | 0,016 | 1,313 | 0,014 | 2,307 | 0,031 |
| 15 Py | 1,762 | 0,038 | 1,502 | 0,031 | 1,413 | 0,028 | 1,357 | 0,027 | 2,401 | 0,063 |
| 30 Py | 1,808 | 0,060 | 1,564 | 0,065 | 1,469 | 0,059 | 1,409 | 0,056 | 2,506 | 0,135 |
| 8 Ag | 2,210 | 0,029 | 1,787 | 0,021 | 1,265 | 0,013 | 1,070 | 0,011 | 2,164 | 0,028 |
| 15 Ag | 1,568 | 0,033 | 1,280 | 0,025 | 1,181 | 0,022 | 1,119 | 0,021 | 2,266 | 0,057 |
| 30 Ag | 1,619 | 0,068 | 1,349 | 0,053 | 1,244 | 0,048 | 1,176 | 0,045 | 2,380 | 0,123 |
| 8 Mag | 2,065 | 0,027 | 1,641 | 0,018 | 1,077 | 0,011 | 0,964 | 0,008 | 2,046 | 0,026 |
| 15 Mag | 1,405 | 0,028 | 1,092 | 0,020 | 0,965 | 0,018 | 0,917 | 0,016 | 2,155 | 0,052 |
| 30 Mag | 1,460 | 0,059 | 1,167 | 0,044 | 1,053 | 0,039 | 0,960 | 0,036 | 2,276 | 0,114 |

Dreischeibenverglasung

| SZR; Beschichtung | Gas Luft 3x4mm | | | Argon 3x4mm | | | Krypton 3x4mm | | | Xenon 3x4mm | | | SF6 3x4mm | | |
|----------------------|----------------------|---------|---------|----------------|---------|---------|------------------|---------|---------|----------------|---------|---------|--------------|---------|---------|
| | U-Wert | Therm 1 | Therm 2 | U-Wert | Therm 1 | Therm 2 | U-Wert | Therm 1 | Therm 2 | U-Wert | Therm 1 | Therm 2 | U-Wert | Therm 1 | Therm 2 |
| 2 x 8 ohne | 2,111 | 0,055 | 0,055 | 1,905 | 0,046 | 0,046 | 1,681 | 0,039 | 0,039 | 1,565 | 0,035 | 0,035 | 1,946 | 0,048 | 0,048 |
| 2 x 15 ohne | 1,907 | 0,060 | 0,060 | 1,680 | 0,072 | 0,072 | 1,590 | 0,067 | 0,067 | 1,570 | 0,066 | 0,066 | 1,960 | 0,083 | 0,083 |
| 2 x 8 Py | 1,473 | 0,032 | 0,032 | 1,180 | 0,024 | 0,024 | 0,854 | 0,016 | 0,016 | 0,682 | 0,012 | 0,012 | 1,239 | 0,026 | 0,026 |
| 2 x 15 Py | 1,039 | 0,038 | 0,038 | 0,853 | 0,030 | 0,030 | 0,719 | 0,025 | 0,025 | 0,691 | 0,024 | 0,024 | 1,302 | 0,051 | 0,051 |
| 2 x 8 Ag | 1,366 | 0,029 | 0,029 | 1,056 | 0,021 | 0,021 | 0,710 | 0,013 | 0,013 | 0,528 | 0,009 | 0,009 | 1,118 | 0,022 | 0,022 |
| 2 x 15 Ag | 0,907 | 0,033 | 0,033 | 0,709 | 0,024 | 0,024 | 0,567 | 0,019 | 0,019 | 0,536 | 0,018 | 0,018 | 1,185 | 0,045 | 0,045 |
| 2 x 8 Mag | 1,279 | 0,027 | 0,027 | 0,955 | 0,018 | 0,018 | 0,593 | 0,011 | 0,011 | 0,402 | 0,007 | 0,007 | 1,021 | 0,020 | 0,020 |
| 2 x 15 Mag | 0,799 | 0,028 | 0,028 | 0,592 | 0,020 | 0,020 | 0,443 | 0,014 | 0,014 | 0,411 | 0,013 | 0,013 | 1,090 | 0,041 | 0,041 |

Die Beschichtung befindet sich auf jeweils auf Seite 2 und 5 (siehe Skizze Blatt DIN EN 673)

U_f-Wert Berechnung Holzrahmen mit Therm 2.0

| | Höhe Rahmen l _r [m] | Höhe Dämmung l _b [m] | Höhe Gesamt l _{tp} [m] | U-Wert Dämmung U _b [W/m² *K] | Wärmemenge Dämmung q _b [W/m] | U-Wert Gesamt U _{tp} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{tp} [W/m] | U-Wert Rahmen U _r [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _r [W/m] |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|--|--|
| Holz68Dämm0400 | | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,345 | 10,760 | 1,368 | 14,086 | 1,446 |
| Holz68Dämm1000 | | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,345 | 26,900 | 1,356 | 30,237 | 1,451 |
| | | | | | | | | | 1,448 |
| HolzallDämm0400 | | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 3,774 | 30,189 | 3,419 | 35,347 | 2,204 |
| HolzallDämm1000 | | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 3,774 | 75,472 | 3,609 | 80,634 | 2,206 |
| | | | | | | | | | 2,205 |

Wärmebrückenverlustkoeffizientberechnung
Holzfenster & Alurandverbund

| | Höhe Rahmen l _r [m] | Höhe Glas l _g [m] | Höhe Gesamt l _{tg} [m] | U-Wert Rahmen U _r [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _r [W/m] | U-Wert Glas U _g [W/m² *K] | Wärmemenge Glas q _g [W/m] | U-Wert Gesamt U _{f+g} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{f+g} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m²K] |
|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|--|--|-----------------------------|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 2,755 | 22,040 | 2,540 | 26,165 | 0,040 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 2,755 | 55,100 | 2,656 | 59,231 | 0,040 |
| | | | | | | | | | | 0,040 |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,762 | 14,096 | 1,804 | 18,577 | 0,057 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,762 | 35,240 | 1,782 | 39,727 | 0,058 |
| | | | | | | | | | | 0,058 |
| 0400;4;15;4;1,7 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,686 | 13,488 | 1,748 | 18,006 | 0,059 |
| 1000;4;15;4;1,7 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,686 | 33,720 | 1,714 | 38,227 | 0,059 |
| | | | | | | | | | | 0,059 |
| 0400;4;15;4;1,6 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,592 | 12,738 | 1,679 | 17,296 | 0,061 |
| 1000;4;15;4;1,6 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,592 | 31,844 | 1,632 | 36,391 | 0,061 |
| | | | | | | | | | | 0,061 |
| 0400;4;15;4;Ar Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,502 | 12,016 | 1,612 | 16,604 | 0,063 |
| 1000;4;15;4;Ar Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,502 | 30,040 | 1,552 | 34,616 | 0,062 |
| | | | | | | | | | | 0,063 |
| 0400;4;15;4;Kr Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,413 | 11,304 | 1,546 | 15,923 | 0,064 |
| 1000;4;15;4;Kr Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,413 | 28,260 | 1,474 | 32,870 | 0,064 |
| | | | | | | | | | | 0,064 |
| 0400;4;15;4;Ar Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,280 | 10,240 | 1,448 | 14,917 | 0,067 |
| 1000;4;15;4;Ar Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,280 | 25,600 | 1,357 | 30,268 | 0,067 |
| | | | | | | | | | | 0,067 |
| 0400;4;15;4;Kr Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,184 | 9,472 | 1,376 | 14,171 | 0,068 |
| 1000;4;15;4;Kr Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,184 | 23,680 | 1,271 | 28,337 | 0,066 |
| | | | | | | | | | | 0,067 |
| 0400;4;15;4;Ar Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,092 | 8,736 | 1,310 | 13,496 | 0,071 |
| 1000;4;15;4;Ar Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,092 | 21,840 | 1,193 | 26,593 | 0,071 |
| | | | | | | | | | | 0,071 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,985 | 7,880 | 1,232 | 12,685 | 0,074 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,985 | 19,700 | 1,100 | 24,521 | 0,074 |
| | | | | | | | | | | 0,074 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,854 | 6,832 | 1,116 | 11,490 | 0,066 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,854 | 17,080 | 0,975 | 21,740 | 0,066 |
| | | | | | | | | | | 0,066 |
| 0400;4;8;4;8;4;0,8 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,783 | 6,264 | 1,064 | 10,956 | 0,068 |
| 1000;4;8;4;8;4;0,8 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,783 | 15,660 | 0,913 | 20,355 | 0,068 |
| | | | | | | | | | | 0,068 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,710 | 5,680 | 1,010 | 10,404 | 0,070 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,710 | 14,200 | 0,849 | 18,922 | 0,070 |
| | | | | | | | | | | 0,070 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,593 | 4,744 | 0,923 | 9,504 | 0,071 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,593 | 11,860 | 0,746 | 16,631 | 0,072 |
| | | | | | | | | | | 0,072 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,528 | 4,224 | 0,874 | 9,002 | 0,072 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,528 | 10,560 | 0,689 | 15,358 | 0,073 |
| | | | | | | | | | | 0,073 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,402 | 3,216 | 0,783 | 8,062 | 0,076 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,402 | 8,040 | 0,578 | 12,892 | 0,076 |

Holzfenster & Kunststoffrandverbund

| | Höhe Rahmen l_r [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{rg} [m] | U-Wert Rahmen U_r [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_r [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{fg} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{fg} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|---|---|--|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 2,755 | 22,040 | 2,500 | 25,753 | 0,019 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 2,755 | 55,100 | 2,638 | 58,818 | 0,019 |
| | | | | | | | | | | 0,019 |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,762 | 14,096 | 1,753 | 18,059 | 0,032 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,762 | 35,240 | 1,758 | 39,210 | 0,032 |
| | | | | | | | | | | 0,032 |
| 0400;4;15;4;1,7 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,686 | 13,488 | 1,696 | 17,468 | 0,032 |
| 1000;4;15;4;1,7 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,686 | 33,720 | 1,691 | 37,700 | 0,032 |
| | | | | | | | | | | 0,032 |
| 0400;4;15;4;1,6 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,592 | 12,738 | 1,626 | 16,745 | 0,034 |
| 1000;4;15;4;1,6 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,592 | 31,844 | 1,608 | 35,856 | 0,034 |
| | | | | | | | | | | 0,034 |
| 0400;4;15;4;Ar Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,502 | 12,016 | 1,558 | 16,045 | 0,035 |
| 1000;4;15;4;Ar Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,502 | 30,040 | 1,528 | 34,070 | 0,035 |
| | | | | | | | | | | 0,035 |
| 0400;4;15;4;Kr Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,413 | 11,304 | 1,491 | 15,359 | 0,036 |
| 1000;4;15;4;Kr Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,413 | 28,260 | 1,449 | 32,317 | 0,036 |
| | | | | | | | | | | 0,036 |
| 0400;4;15;4;Ar Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,280 | 10,240 | 1,392 | 14,336 | 0,038 |
| 1000;4;15;4;Ar Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,280 | 25,600 | 1,332 | 29,697 | 0,038 |
| | | | | | | | | | | 0,038 |
| 0400;4;15;4;Kr Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,184 | 9,472 | 1,318 | 13,576 | 0,039 |
| 1000;4;15;4;Kr Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,184 | 23,680 | 1,245 | 27,757 | 0,037 |
| | | | | | | | | | | 0,038 |
| 0400;4;15;4;Ar Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,092 | 8,736 | 1,252 | 12,891 | 0,041 |
| 1000;4;15;4;Ar Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,092 | 21,840 | 1,166 | 26,004 | 0,042 |
| | | | | | | | | | | 0,041 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,985 | 7,880 | 1,172 | 12,067 | 0,043 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,985 | 19,700 | 1,072 | 23,894 | 0,043 |
| | | | | | | | | | | 0,043 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,854 | 6,832 | 1,064 | 10,960 | 0,040 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,854 | 17,080 | 0,951 | 21,210 | 0,040 |
| | | | | | | | | | | 0,040 |
| 0400;4;8;4;8;4;0,8 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,783 | 6,264 | 1,011 | 10,413 | 0,041 |
| 1000;4;8;4;8;4;0,8 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,783 | 15,660 | 0,889 | 19,816 | 0,041 |
| | | | | | | | | | | 0,041 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,710 | 5,680 | 0,957 | 9,852 | 0,042 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,710 | 14,200 | 0,824 | 18,375 | 0,042 |
| | | | | | | | | | | 0,042 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,593 | 4,744 | 0,869 | 8,951 | 0,044 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,593 | 11,860 | 0,721 | 16,072 | 0,044 |
| | | | | | | | | | | 0,044 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,528 | 4,224 | 0,820 | 8,446 | 0,045 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,528 | 10,560 | 0,663 | 14,776 | 0,044 |
| | | | | | | | | | | 0,044 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,402 | 3,216 | 0,727 | 7,487 | 0,047 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,402 | 8,040 | 0,552 | 12,298 | 0,046 |

Holzfenster & Edelstahlrandverbund

| | Höhe Rahmen l_f [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{fg} [m] | U-Wert Rahmen U_f [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_f [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{fg} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{fg} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|---|---|--|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 2,755 | 22,040 | 2,519 | 25,944 | 0,029 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 2,755 | 55,100 | 2,646 | 59,015 | 0,029 |
| | | | | | | | | | | 0,029 |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,762 | 14,096 | 1,776 | 18,296 | 0,043 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,762 | 35,240 | 1,769 | 39,444 | 0,044 |
| | | | | | | | | | | 0,044 |
| 0400;4;15;4;1,7 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,686 | 13,488 | 1,719 | 17,710 | 0,045 |
| 1000;4;15;4;1,7 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,686 | 33,720 | 1,701 | 37,939 | 0,044 |
| | | | | | | | | | | 0,044 |
| 0400;4;15;4;1,6 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,592 | 12,738 | 1,650 | 16,991 | 0,046 |
| 1000;4;15;4;1,6 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,592 | 31,844 | 1,619 | 36,097 | 0,046 |
| | | | | | | | | | | 0,046 |
| 0400;4;15;4;Ar Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,502 | 12,016 | 1,582 | 16,298 | 0,048 |
| 1000;4;15;4;Ar Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,502 | 30,040 | 1,539 | 34,317 | 0,047 |
| | | | | | | | | | | 0,047 |
| 0400;4;15;4;Kr Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,413 | 11,304 | 1,516 | 15,615 | 0,049 |
| 1000;4;15;4;Kr Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,413 | 28,260 | 1,461 | 32,569 | 0,049 |
| | | | | | | | | | | 0,049 |
| 0400;4;15;4;Ar Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,280 | 10,240 | 1,417 | 14,597 | 0,051 |
| 1000;4;15;4;Ar Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,280 | 25,600 | 1,343 | 29,956 | 0,051 |
| | | | | | | | | | | 0,051 |
| 0400;4;15;4;Kr Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,184 | 9,472 | 1,344 | 13,843 | 0,052 |
| 1000;4;15;4;Kr Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,184 | 23,680 | 1,257 | 28,022 | 0,051 |
| | | | | | | | | | | 0,051 |
| 0400;4;15;4;Ar Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 1,092 | 8,736 | 1,278 | 13,162 | 0,055 |
| 1000;4;15;4;Ar Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 1,092 | 21,840 | 1,178 | 26,272 | 0,055 |
| | | | | | | | | | | 0,055 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,965 | 7,880 | 1,196 | 12,344 | 0,057 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,965 | 19,700 | 1,084 | 24,167 | 0,057 |
| | | | | | | | | | | 0,057 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,854 | 6,832 | 1,088 | 11,209 | 0,052 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,854 | 17,060 | 0,962 | 21,462 | 0,053 |
| | | | | | | | | | | 0,052 |
| 0400;4;8;4;8;4;0,8 | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,783 | 6,264 | 1,036 | 10,667 | 0,054 |
| 1000;4;8;4;8;4;0,8 | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,783 | 15,660 | 0,900 | 20,068 | 0,054 |
| | | | | | | | | | | 0,054 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,710 | 5,680 | 0,982 | 10,109 | 0,055 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,710 | 14,200 | 0,836 | 18,634 | 0,055 |
| | | | | | | | | | | 0,055 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,593 | 4,744 | 0,895 | 9,217 | 0,057 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,593 | 11,860 | 0,733 | 16,337 | 0,057 |
| | | | | | | | | | | 0,057 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,528 | 4,224 | 0,846 | 8,714 | 0,058 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,528 | 10,560 | 0,674 | 15,039 | 0,057 |
| | | | | | | | | | | 0,058 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,115 | 0,400 | 0,515 | 1,448 | 3,331 | 0,402 | 3,216 | 0,753 | 7,752 | 0,060 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,115 | 1,000 | 1,115 | 1,448 | 3,331 | 0,402 | 8,040 | 0,563 | 12,564 | 0,060 |

altes Holzfenster

| | Höhe Rahmen l_f [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{fg} [m] | U-Wert Rahmen U_f [W/m ² *K] | Wärmene Rahmen q_f [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{fg} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{fg} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|--|--------------------------------------|---|---|--|
| 0400 EV | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,205 | 5,160 | 5,800 | 46,400 | 5,065 | 52,373 | 0,041 |
| 1000 EV | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,205 | 5,160 | 5,800 | 116,000 | 5,523 | 123,375 | 0,111 |
| | | | | | | | | | | 0,076 |
| 0400;4;8;4;Lu ohne | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,205 | 5,160 | 3,095 | 24,760 | 2,973 | 30,742 | 0,041 |
| 1000;4;8;4;Lu ohne | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,205 | 5,160 | 3,095 | 61,900 | 3,057 | 68,293 | 0,062 |
| | | | | | | | | | | 0,051 |
| 0400;4;8;4;Lu Py | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,205 | 5,160 | 2,350 | 18,800 | 2,411 | 24,933 | 0,049 |
| 1000;4;8;4;Lu Py | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,205 | 5,160 | 2,350 | 47,000 | 2,389 | 53,368 | 0,060 |
| | | | | | | | | | | 0,055 |
| 0400;4;8;4;Ar Py | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,205 | 5,160 | 1,961 | 15,688 | 2,121 | 21,930 | 0,054 |
| 1000;4;8;4;Ar Py | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,205 | 5,160 | 1,961 | 39,220 | 2,043 | 45,634 | 0,063 |

U_f-Wert Berechnung Kunststoffrahmen mit Therm 2.0

| | Höhe Rahmen l _r [m] | Höhe Dämmung l _b [m] | Höhe Gesamt l _{r+g} [m] | U-Wert Dämmung U _b [W/m² *K] | Wärmemenge Dämmung q _b [W/m] | U-Wert Gesamt U _{r+g} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{r+g} [W/m] | U-Wert Rahmen U _r [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _r [W/m] |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|---|---|--|--|--|--|
| KustDäm0400 | | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 1,345 | 10,760 | 1,521 | 15,722 | 2,121 |
| KustDäm1000 | | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 1,345 | 26,900 | 1,428 | 31,902 | 2,137 |
| | | | | | | | | | <u>2,129</u> |

Wärmebrückenverlustkoeffizientberechnung

Kunststofffenster & Aluminiumrandverbund

| | Höhe Rahmen l _r [m] | Höhe Glas l _g [m] | Höhe Gesamt l _{r+g} [m] | U-Wert Rahmen U _r [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _r [W/m] | U-Wert Glas U _g [W/m² *K] | Wärmemenge Glas q _g [W/m] | U-Wert Gesamt U _{r+g} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{r+g} [W/m] | Wärmebrücke ψ [W/m²*K] |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 2,755 | 22,040 | 2,690 | 27,816 | 0,040 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 2,755 | 55,100 | 2,740 | 61,218 | 0,057 |
| | | | | | | | | | | <u>0,048</u> |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 1,762 | 14,096 | 1,943 | 20,092 | 0,051 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 1,762 | 35,240 | 1,853 | 41,385 | 0,058 |
| | | | | | | | | | | <u>0,054</u> |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 0,985 | 7,880 | 1,366 | 14,123 | 0,063 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 0,985 | 19,700 | 1,164 | 25,995 | 0,066 |
| | | | | | | | | | | <u>0,064</u> |

Kunststofffenster & Kunststoffrandverbund

| | Höhe Rahmen l _r [m] | Höhe Glas l _g [m] | Höhe Gesamt l _{r+g} [m] | U-Wert Rahmen U _r [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _r [W/m] | U-Wert Glas U _g [W/m² *K] | Wärmemenge Glas q _g [W/m] | U-Wert Gesamt U _{r+g} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{r+g} [W/m] | Wärmebrücke ψ [W/m²*K] |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 2,755 | 22,040 | 2,654 | 27,442 | 0,021 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 2,755 | 55,100 | 2,724 | 60,845 | 0,038 |
| | | | | | | | | | | <u>0,030</u> |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 1,762 | 14,096 | 1,897 | 19,615 | 0,027 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 1,762 | 35,240 | 1,831 | 40,893 | 0,034 |
| | | | | | | | | | | <u>0,030</u> |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 0,985 | 7,880 | 1,311 | 13,551 | 0,034 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 0,985 | 19,700 | 1,138 | 25,427 | 0,037 |
| | | | | | | | | | | <u>0,036</u> |

Kunststofffenster & Edelstahlrandverbund

| | Höhe Rahmen l _r [m] | Höhe Glas l _g [m] | Höhe Gesamt l _{r+g} [m] | U-Wert Rahmen U _r [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _r [W/m] | U-Wert Glas U _g [W/m² *K] | Wärmemenge Glas q _g [W/m] | U-Wert Gesamt U _{r+g} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{r+g} [W/m] | Wärmebrücke ψ [W/m²*K] |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 2,755 | 22,040 | 2,672 | 27,624 | 0,030 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 2,755 | 55,100 | 2,731 | 61,013 | 0,047 |
| | | | | | | | | | | <u>0,038</u> |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 1,762 | 14,096 | 1,918 | 19,834 | 0,038 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 1,762 | 35,240 | 1,841 | 41,121 | 0,045 |
| | | | | | | | | | | <u>0,041</u> |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,117 | 0,400 | 0,517 | 2,129 | 4,982 | 0,985 | 7,880 | 1,336 | 13,815 | 0,048 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,117 | 1,000 | 1,117 | 2,129 | 4,982 | 0,985 | 19,700 | 1,150 | 25,687 | 0,050 |
| | | | | | | | | | | <u>0,049</u> |

U_f-Wert Berechnung Alu-Rahmen mit Therm 2.0

| | Höhe Rahmen l _f [m] | Höhe Dämmung l _p [m] | Höhe Gesamt l _{tp} [m] | U-Wert Dämmung U _p [W/m² *K] | Wärmemenge Dämmung q _p [W/m] | U-Wert Gesamt U _{tp} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{tp} [W/m] | U-Wert Rahmen U _f [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _f [W/m] |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|--|--|
| AlumitDäm0400 | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 1,345 | 10,760 | 1,794 | 18,351 | 3,404 | 7,591 |
| AlumitDäm1000 | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 1,345 | 26,900 | 1,558 | 34,628 | 3,465 | 7,728 |
| | | | | | | | | 3,435 | |
| AluohneDäm0400 | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 1,345 | 10,760 | 2,566 | 26,251 | 6,947 | 15,491 |
| AluohneDäm1000 | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 1,345 | 26,900 | 1,910 | 42,468 | 6,981 | 15,568 |
| | | | | | | | | 6,964 | |

Wärmebrückenverlustkoeffizientberechnung

mit thermischer Trennung

Alufenster & Alurandverbund

| | Höhe Rahmen l _f [m] | Höhe Glas l _g [m] | Höhe Gesamt l _{tg} [m] | U-Wert Rahmen U _f [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _f [W/m] | U-Wert Glas U _g [W/m² *K] | Wärmemenge Glas q _g [W/m] | U-Wert Gesamt U _{fg} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{fg} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m²*K] |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|---|---|------------------------------|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 2,755 | 22,040 | 3,003 | 30,719 | 0,051 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 2,755 | 55,100 | 2,879 | 64,007 | 0,062 |
| | | | | | | | | | | 0,057 |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,762 | 14,096 | 2,238 | 22,893 | 0,057 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,762 | 35,240 | 1,990 | 44,238 | 0,067 |
| | | | | | | | | | | 0,062 |
| 0400;4;15;4;1,7 | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,686 | 13,488 | 2,180 | 22,299 | 0,058 |
| 1000;4;15;4;1,7 | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,686 | 33,720 | 1,922 | 42,726 | 0,067 |
| | | | | | | | | | | 0,062 |
| 0400;4;15;4;1,6 | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,592 | 12,738 | 2,113 | 21,614 | 0,061 |
| 1000;4;15;4;1,6 | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,592 | 31,844 | 1,838 | 40,863 | 0,068 |
| | | | | | | | | | | 0,064 |
| 0400;4;15;4;Ar Py | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,502 | 12,016 | 2,042 | 20,888 | 0,061 |
| 1000;4;15;4;Ar Py | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,502 | 30,040 | 1,757 | 39,067 | 0,068 |
| | | | | | | | | | | 0,065 |
| 0400;4;15;4;Kr Py | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,413 | 11,304 | 1,980 | 20,259 | 0,065 |
| 1000;4;15;4;Kr Py | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,413 | 28,260 | 1,679 | 37,318 | 0,070 |
| | | | | | | | | | | 0,067 |
| 0400;4;15;4;Ar Ag | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,280 | 10,240 | 1,870 | 19,132 | 0,062 |
| 1000;4;15;4;Ar Ag | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,280 | 25,600 | 1,561 | 34,692 | 0,072 |
| | | | | | | | | | | 0,067 |
| 0400;4;15;4;Kr Ag | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,184 | 9,472 | 1,801 | 18,426 | 0,065 |
| 1000;4;15;4;Kr Ag | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,184 | 23,680 | 1,473 | 32,751 | 0,071 |
| | | | | | | | | | | 0,068 |
| 0400;4;15;4;Ar Mag | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,092 | 8,736 | 1,736 | 17,761 | 0,068 |
| 1000;4;15;4;Ar Mag | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,092 | 21,840 | 1,394 | 30,986 | 0,074 |
| | | | | | | | | | | 0,071 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 0,985 | 7,880 | 1,659 | 16,971 | 0,072 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 0,985 | 19,700 | 1,299 | 28,877 | 0,076 |
| | | | | | | | | | | 0,074 |

Alufenster & Kunststoffrandverbund

| | Höhe Rahmen l _f [m] | Höhe Glas l _g [m] | Höhe Gesamt l _{tg} [m] | U-Wert Rahmen U _f [W/m² *K] | Wärmemenge Rahmen q _f [W/m] | U-Wert Glas U _g [W/m² *K] | Wärmemenge Glas q _g [W/m] | U-Wert Gesamt U _{fg} [W/m² *K] | Wärmemenge Gesamt q _{fg} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m²*K] |
|---------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|---|---|------------------------------|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 2,755 | 22,040 | 2,930 | 29,971 | 0,014 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 2,755 | 55,100 | 2,845 | 63,233 | 0,024 |
| | | | | | | | | | | 0,019 |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,762 | 14,096 | 2,152 | 22,011 | 0,013 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,762 | 35,240 | 1,951 | 43,364 | 0,023 |
| | | | | | | | | | | 0,018 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 0,985 | 7,880 | 1,565 | 16,013 | 0,024 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 0,985 | 19,700 | 1,257 | 27,934 | 0,029 |
| | | | | | | | | | | 0,026 |

Alufenster & Edelstahlrandverbund

| | Höhe Rahmen l_r [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{r+g} [m] | U-Wert Rahmen U_r [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_r [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{r+g} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{r+g} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|--|--|--|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 2,755 | 22,040 | 2,948 | 30,157 | 0,023 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 2,755 | 55,100 | 2,860 | 63,573 | 0,041 |
| | | | | | | | | | | <u>0,032</u> |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 1,762 | 14,096 | 2,191 | 22,414 | 0,033 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 1,762 | 35,240 | 1,967 | 43,735 | 0,042 |
| | | | | | | | | | | <u>0,037</u> |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 3,435 | 7,659 | 0,985 | 7,880 | 1,607 | 16,438 | 0,045 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 3,435 | 7,659 | 0,985 | 19,700 | 1,276 | 28,357 | 0,050 |
| | | | | | | | | | | <u>0,047</u> |

Wärmebrückenverlustkoeffizientberechnung

ohne thermischer Trennung

Alufenster & Alurandverbund

| | Höhe Rahmen l_r [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{r+g} [m] | U-Wert Rahmen U_r [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_r [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{r+g} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{r+g} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|--|--|--|
| 0400;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 6,964 | 15,530 | 2,755 | 22,040 | 3,683 | 37,681 | 0,006 |
| 1000;4;15;4;Lu ohne | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 6,964 | 15,530 | 2,755 | 55,100 | 3,197 | 71,074 | 0,022 |
| | | | | | | | | | | <u>0,014</u> |
| 0400;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 6,964 | 15,530 | 1,762 | 14,096 | 2,940 | 30,080 | 0,023 |
| 1000;4;15;4;Lu Py | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 6,964 | 15,530 | 1,762 | 35,240 | 2,313 | 51,411 | 0,032 |
| | | | | | | | | | | <u>0,027</u> |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 0,400 | 0,512 | 6,964 | 15,530 | 0,985 | 7,880 | 2,373 | 24,274 | 0,043 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,112 | 1,000 | 1,112 | 6,964 | 15,530 | 0,985 | 19,700 | 0,000 | -1,761 | -0,859 |

U_f-Wert Berechnung Passivhausrahmen mit Therm 2.0

| | Höhe Rahmen l_r [m] | Höhe Dämmung l_p [m] | Höhe Gesamt l_{r+p} [m] | U-Wert Dämmung U_p [W/m ² *K] | Wärmemenge Dämmung q_p [W/m] | U-Wert Gesamt U_{r+p} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{r+p} [W/m] | U-Wert Rahmen U_r [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_r [W/m] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------|
| PHDäm0400 | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 1,156 | 9,249 | 1,048 | 11,187 | 0,723 | 1,939 |
| PHDäm1000 | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 1,156 | 23,122 | 1,106 | 25,086 | <u>0,733</u> | 1,964 |
| | | | | | | | | 0,728 | |

Wärmebrückenverlustkoeffizientberechnung

PH Fenster & Alurandverbund

| | Höhe Rahmen l_r [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{r+g} [m] | U-Wert Rahmen U_r [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_r [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{r+g} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{r+g} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|---|---|--|
| 0400;4;15;4;Kr Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 1,184 | 9,472 | 1,154 | 12,325 | 0,045 |
| 1000;4;15;4;Kr Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 1,184 | 23,680 | 1,171 | 26,563 | <u>0,047</u> |
| | | | | | | | | | | 0,046 |
| 0400;4;15;4;Ar Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 1,092 | 8,736 | 1,091 | 11,647 | 0,048 |
| 1000;4;15;4;Ar Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 1,092 | 21,840 | 1,094 | 24,801 | <u>0,050</u> |
| | | | | | | | | | | 0,049 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,985 | 7,880 | 1,013 | 10,820 | 0,049 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,985 | 19,700 | 1,000 | 22,680 | <u>0,051</u> |
| | | | | | | | | | | 0,050 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,854 | 6,832 | 0,909 | 9,707 | 0,046 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,854 | 17,080 | 0,881 | 19,977 | <u>0,047</u> |
| | | | | | | | | | | 0,047 |
| 0400;4;8;4;8;4;0,8 | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,783 | 6,264 | 0,858 | 9,159 | 0,047 |
| 1000;4;8;4;8;4;0,8 | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,783 | 15,660 | 0,819 | 18,579 | <u>0,048</u> |
| | | | | | | | | | | 0,048 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,710 | 5,680 | 0,805 | 8,597 | 0,048 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,710 | 14,200 | 0,755 | 17,130 | <u>0,049</u> |
| | | | | | | | | | | 0,049 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,593 | 4,744 | 0,721 | 7,699 | 0,050 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,593 | 11,860 | 0,654 | 14,826 | <u>0,051</u> |
| | | | | | | | | | | 0,050 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,528 | 4,224 | 0,674 | 7,197 | 0,051 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,528 | 10,560 | 0,597 | 13,535 | <u>0,051</u> |
| | | | | | | | | | | 0,051 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,402 | 3,216 | 0,583 | 6,230 | 0,053 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,402 | 8,040 | 0,488 | 11,061 | <u>0,053</u> |
| | | | | | | | | | | 0,053 |

PH Fenster & Kunststoffrandverbund

| | Höhe Rahmen l_r [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{r+g} [m] | U-Wert Rahmen U_r [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_r [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{r+g} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{r+g} [W/m] | Wärmebrücke ψ [W/m ² *K] |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|--|--|--|
| 0400;4;15;4;Kr Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 1,184 | 9,472 | 1,121 | 11,973 | 0,027 |
| 1000;4;15;4;Kr Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 1,184 | 23,680 | 1,156 | 26,216 | 0,029 |
| | | | | | | | | | | 0,028 |
| 0400;4;15;4;Ar Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 1,092 | 8,736 | 1,056 | 11,280 | 0,030 |
| 1000;4;15;4;Ar Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 1,092 | 21,840 | 1,078 | 24,447 | 0,033 |
| | | | | | | | | | | 0,031 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,985 | 7,880 | 0,978 | 10,446 | 0,031 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,985 | 19,700 | 0,984 | 22,319 | 0,033 |
| | | | | | | | | | | 0,032 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,854 | 6,832 | 0,877 | 9,370 | 0,029 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,854 | 17,080 | 0,866 | 19,643 | 0,031 |
| | | | | | | | | | | 0,030 |
| 0400;4;8;4;8;4;0,8 | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,783 | 6,264 | 0,825 | 8,815 | 0,030 |
| 1000;4;8;4;8;4;0,8 | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,783 | 15,660 | 0,804 | 18,235 | 0,031 |
| | | | | | | | | | | 0,031 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,710 | 5,680 | 0,772 | 8,248 | 0,031 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,710 | 14,200 | 0,740 | 16,785 | 0,032 |
| | | | | | | | | | | 0,031 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,593 | 4,744 | 0,687 | 7,338 | 0,032 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,593 | 11,860 | 0,638 | 14,470 | 0,033 |
| | | | | | | | | | | 0,033 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,528 | 4,224 | 0,639 | 6,828 | 0,033 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,528 | 10,560 | 0,581 | 13,168 | 0,033 |
| | | | | | | | | | | 0,033 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,402 | 3,216 | 0,548 | 5,852 | 0,034 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,402 | 8,040 | 0,471 | 10,673 | 0,034 |
| | | | | | | | | | | 0,034 |

PH Fenster & Edelstahlrandverbund

| | Höhe Rahmen l_r [m] | Höhe Glas l_g [m] | Höhe Gesamt l_{rg} [m] | U-Wert Rahmen U_r [W/m ² *K] | Wärmemenge Rahmen q_r [W/m] | U-Wert Glas U_g [W/m ² *K] | Wärmemenge Glas q_g [W/m] | U-Wert Gesamt U_{rg} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt q_{rg} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|---|---|--|
| 0400;4;15;4;Kr Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 1,184 | 9,472 | 1,136 | 12,135 | 0,036 |
| 1000;4;15;4;Kr Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 1,184 | 23,680 | 1,163 | 26,375 | 0,037 |
| | | | | | | | | | | 0,036 |
| 0400;4;15;4;Ar Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 1,092 | 8,736 | 1,072 | 11,448 | 0,038 |
| 1000;4;15;4;Ar Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 1,092 | 21,840 | 1,085 | 24,608 | 0,041 |
| | | | | | | | | | | 0,039 |
| 0400;4;15;4;Kr Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,985 | 7,880 | 0,994 | 10,619 | 0,039 |
| 1000;4;15;4;Kr Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,985 | 19,700 | 0,991 | 22,485 | 0,042 |
| | | | | | | | | | | 0,041 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,854 | 6,832 | 0,892 | 9,524 | 0,037 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Py | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,854 | 17,080 | 0,874 | 19,811 | 0,039 |
| | | | | | | | | | | 0,038 |
| 0400;4;8;4;8;4;0,8 | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,783 | 6,264 | 0,840 | 8,975 | 0,038 |
| 1000;4;8;4;8;4;0,8 | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,783 | 15,660 | 0,812 | 18,407 | 0,040 |
| | | | | | | | | | | 0,039 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,710 | 5,680 | 0,788 | 8,411 | 0,039 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,710 | 14,200 | 0,748 | 16,960 | 0,040 |
| | | | | | | | | | | 0,040 |
| 0400;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,593 | 4,744 | 0,703 | 7,508 | 0,041 |
| 1000;4;8;4;8;4;Kr Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,593 | 11,860 | 0,646 | 14,649 | 0,042 |
| | | | | | | | | | | 0,041 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,528 | 4,224 | 0,655 | 7,000 | 0,041 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Ag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,528 | 10,560 | 0,587 | 13,315 | 0,040 |
| | | | | | | | | | | 0,041 |
| 0400;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,134 | 0,400 | 0,534 | 0,728 | 1,951 | 0,402 | 3,216 | 0,564 | 6,027 | 0,043 |
| 1000;4;8;4;8;4;Xe Mag | 0,134 | 1,000 | 1,134 | 0,728 | 1,951 | 0,402 | 8,040 | 0,478 | 10,834 | 0,042 |
| | | | | | | | | | | 0,043 |

U_f-Wert Berechnung für die Einbausituation mit Therm 2.0

| | Höhe Wand l [m] | Höhe Fenster l _w [m] | Höhe Gesamt l _{Gesamt} [m] | U-Wert Wand U _{Wand} [W/m ² *K] | Wärmemenge Wand Q _{Wand} [W/m] | U-Wert Fenster U _w [W/m ² *K] | Wärmemenge Fenster Q _w [W/m] | U-Wert Gesamt U _{Gesamt} [W/m ² *K] | Wärmemenge Gesamt Q _{Gesamt} [W/m] | Wärmebrücke Ψ [W/m ² *K] | |
|------------------------|--------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--------|
| MonoAlt;Holzfeneu | | 0,515 | 0,5100 | 1,0250 | 2,0688 | 21,30864 | 1,8036 | 18,39672 | 2,0485 | 41,99425 | 0,114 |
| MonoAlt;Kun | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 2,0688 | 21,30864 | 1,9431 | 19,89734 | 2,1158 | 43,45853 | 0,113 |
| MonoAlt;Alumit | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 2,0688 | 21,30864 | 2,2378 | 22,66891 | 2,2619 | 46,21062 | 0,112 |
| MonoAlt;Aluohne | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 2,0688 | 21,30864 | 2,9404 | 29,78625 | 2,6359 | 53,85144 | 0,138 |
| MonoAlt;Holzfenalt | | 0,515 | 0,5150 | 1,0300 | 2,0688 | 21,30864 | 5,0651 | 52,17053 | 3,7200 | 76,63200 | 0,158 |
| | | | | | | | | | | | |
| MonoNeu;PH-Fen. | | 0,515 | 0,5290 | 1,0440 | 0,4831 | 4,97593 | 0,5833 | 6,17131 | 0,5743 | 11,99138 | 0,042 |
| MonoNeu;Holzfeneu | | 0,515 | 0,5100 | 1,0250 | 0,4831 | 4,97593 | 1,8036 | 18,39672 | 1,2034 | 24,66970 | 0,065 |
| MonoNeu;Kun | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 0,4831 | 4,97593 | 1,9431 | 19,89734 | 1,2748 | 26,18439 | 0,066 |
| MonoNeu;Alumit | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 0,4831 | 4,97593 | 2,2378 | 22,66891 | 1,4196 | 29,00243 | 0,068 |
| MonoNeu;Aluohne | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 0,4831 | 4,97593 | 2,9404 | 29,78625 | 1,8136 | 37,05185 | 0,114 |
| | | | | | | | | | | | |
| WDVS; PH-Fenster | | 0,515 | 0,5290 | 1,0440 | 0,3439 | 3,54217 | 0,5833 | 6,17131 | 0,5019 | 10,47967 | 0,038 |
| WDVS; HolzfeNeu | | 0,515 | 0,5100 | 1,0250 | 0,3439 | 3,54217 | 1,8036 | 18,39672 | 1,1031 | 22,61355 | 0,034 |
| WDVS; Kun | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 0,3439 | 3,54217 | 1,9431 | 19,89734 | 1,1640 | 23,90856 | 0,023 |
| WDVS; Alumit | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 0,3439 | 3,54217 | 2,2378 | 22,66891 | 1,3419 | 27,41502 | 0,060 |
| WDVS; Aluohne | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 0,3439 | 3,54217 | 2,9404 | 29,78625 | | 0,00000 | -1,666 |
| WDVS; HolzNeu ohne Üb. | | 0,515 | 0,5100 | 1,0250 | 0,3439 | 3,54217 | 1,8036 | 18,39672 | 1,1373 | 23,31465 | 0,069 |
| | | | | | | | | | | | |
| MSMWmit; PH-Fen. | | 0,515 | 0,5290 | 1,0440 | 0,3355 | 3,45565 | 0,5833 | 6,17131 | 0,4733 | 9,88250 | 0,013 |
| MSMWmit; Holzfenneu | | 0,515 | 0,5100 | 1,0250 | 0,3355 | 3,45565 | 1,8036 | 18,39672 | 1,0886 | 22,31630 | 0,023 |
| MSMWmit; Kun | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 0,3355 | 3,45565 | 1,9431 | 19,89734 | 1,1509 | 23,63949 | 0,014 |
| MSMWmit; Alumit | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 0,3355 | 3,45565 | 2,2378 | 22,66891 | 1,3112 | 26,78782 | 0,033 |
| MSMWmit; Aluohne | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 0,3355 | 3,45565 | 2,9404 | 29,78625 | | 0,00000 | -1,662 |
| MSMWmit;Holzfenalt | | 0,515 | 0,5150 | 1,0300 | 0,3355 | 3,45565 | 5,0651 | 52,17053 | | 0,00000 | -2,781 |
| | | | | | | | | | | | |
| MSMWohne; Holzfenneu | | 0,515 | 0,5100 | 1,0250 | 1,7299 | 17,81797 | 1,8036 | 18,39672 | 1,8578 | 38,08490 | 0,094 |
| MSMWohne; HolzfeAlt | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 1,7299 | 17,81797 | 5,0651 | 51,86662 | 3,499 | 71,86946 | 0,109 |
| MSMWohne; Kunst | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 1,7299 | 17,81797 | 1,3660 | 13,98784 | 1,6273 | 33,42474 | 0,081 |
| MSMWohne; Alumit | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 1,7299 | 17,81797 | 1,7360 | 17,58568 | 1,8118 | 37,01507 | 0,081 |
| | | | | | | | | | | | |
| MSMWmitV2; Holzfenneu | | 0,515 | 0,5100 | 1,0250 | 0,3355 | 3,45565 | 1,8036 | 18,39672 | 1,2092 | 24,78860 | 0,147 |
| MSMWmitV2; HolzfenAlt | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 0,3355 | 3,45565 | 5,0651 | 51,86662 | 2,8294 | 58,11588 | 0,140 |
| MSMWmitV2; Kunst | | 0,515 | 0,5120 | 1,0270 | 0,3355 | 3,45565 | 1,3660 | 13,98784 | 0,9783 | 20,09428 | 0,133 |
| MSMWmitV2; Alumit | | 0,515 | 0,5065 | 1,0215 | 0,3355 | 3,45565 | 1,7360 | 17,58568 | 1,1838 | 24,18503 | 0,157 |
| MSMWmitV2; PHFen | | 0,515 | 0,5290 | 1,0440 | 0,3355 | 3,45565 | 0,5833 | 6,17131 | 0,6014 | 12,55723 | 0,147 |
| | | | | | | | | | | | |
| Holzständ; HolzfenNeu | | 0,34 | 0,4950 | 0,8350 | 0,2716 | 1,84688 | 1,8036 | 17,85564 | 1,2186 | 20,35062 | 0,032 |
| Holzständ; Kunst | | 0,34 | 0,4970 | 0,8370 | 0,2716 | 1,84688 | 1,3660 | 13,57804 | 0,9338 | 15,63181 | 0,010 |
| Holzständ; Alumit | | 0,34 | 0,4915 | 0,8315 | 0,2716 | 1,84688 | 1,7360 | 17,06488 | 1,1638 | 19,35399 | 0,022 |
| Holzständ; PH | | 0,34 | 0,5140 | 0,8540 | 0,2716 | 1,84688 | 0,5833 | 5,99632 | 0,4700 | 8,02760 | 0,009 |

