

ANLAGE BI: REFERENZDOKUMENT FÜR TRANSMISSIONSVERLUSTE

Regeln für die Berechnung der Transmissionsverluste im Rahmen der GEE-Reglementierung

**BERECHNUNG DES WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON
GEBÄUDEWÄNDEN (U-WERT) UND DES
TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON GEBÄUDEN
(H-WERT)**

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG

2. ANWENDUNGSBEREICH

3. NORMATIVE VERWEISE

4. BEGRIFFSBESTIMMUNG, EINHEITEN UND SYMBOLE

4.1 Begriffsbestimmung

4.2 Symbole und Einheiten

5. BESTIMMUNG DES WÄRMEDURCHLASSWIDERSTANDS (R) VON BAUTEILSCHICHTEN

5.1 Allgemeine Grundsätze

5.2 Wärmedurchlasswiderstand von homogenen Bauteilschichten

5.3 Wärmeübergangswiderstände von Oberflächen

5.4 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten

5.4.1 *Einleitung*

5.4.2 *Normale Luftschichten in Wänden, Dächern und Böden*

5.4.2.1 Bedingungen

5.4.2.2 Ruhende Luftschichten

5.4.2.3 Schwach belüftete Luftschichten

5.4.2.4 Stark belüftete Luftschichten

5.4.3 *Sonstige Luftschichten*

5.4.3.1 Hohlräume oder Luftspalte

5.5 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten (Lufträumen) mit einer Dicke von mehr als 300 mm

6. BESTIMMUNG DES WÄRMEDURCHGANGSWIDERSTANDES (R_T) VON BAUTEILEN

6.1 Bauteile aus homogenen Schichten

6.2 Bauteile aus homogenen und inhomogenen Schichten

6.2.1 *Anwendung*

6.2.2 *Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteils (Kombinationsverfahren)*

6.2.3 *Grenzwerte*

6.2.4 *Fehlermarge*

7. WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT (U) VON OPAKEN BAUTEILEN

7.1 Allgemeiner Ausdruck

7.2 Korrektur des U-Werts

7.2.1 *Allgemeine Bestimmungen*

7.2.2 *Korrektur des U-Werts für Luftspalte und Hohlräume in oder zwischen den Dämmschichten*

7.2.3 *Korrektur für mechanische Befestigungselemente, die die Dämmschicht durchdringen*

7.2.4 *Korrekturverfahren für Umkehrdächer*

7.2.4.1 *Allgemeine Bestimmungen*

7.2.4.2 *Korrektur für strömendes Wasser zwischen Dämmschicht und Dachabdichtung*

7.3 Korrektur des R-Werts bei einer Dämmung aus PUR-Ortschaum

7.4 U-Wert eines keilförmigen Bauteils

7.4.1 *Allgemeines Verfahren*

7.4.2 *Zerlegung in gebräuchliche Formen*

7.4.3 *Bestimmung des U-Werts für jede gebräuchliche Form*

7.4.4 *Vereinfachte Bestimmung*

8. BESTIMMUNG DES WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON FENSTERN UND TÜREN

8.1 Geometrische Merkmale von Fenstern und Türen

8.1.1 *Fläche der Fenster- und Türeinteile*

8.1.2 *Sichtbarer Umfang der Verglasung*

8.1.3 *Flächen der Rahmen*

8.1.4 *Fläche des Fensters oder der Tür*

- 8.2 Allgemeines Verfahren für die Bestimmung des U-Werts von Fenstern und Türen
- 8.3 Normalfall: U-Wert von Einfachfenstern
- 8.4 Sonderfälle
 - 8.4.1 *Doppelfenster*
 - 8.4.2 *Verbundfenster*
 - 8.4.3 *Wärmedurchgangswiderstände*
 - 8.4.4 *Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten in Doppelfenstern und in Verbundfenstern*
 - 8.4.5 *U-Wert von Fenstern mit geschlossenen Fensterläden*
 - 8.4.5.1 *Allgemeine Bestimmungen*
 - 8.4.5.2 *Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand bei geschlossenen Fensterläden*
- 8.5 Vereinfachte Bestimmung des U-Werts von Fenstern
- 8.6 Standardwerte für opake Türen

9. WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT VON FENSTER- UND TÜRKOMPONENTEN

- 9.1 Wärmedurchgangskoeffizient von Verglasungen
- 9.2 Wärmedurchgangskoeffizient von Rahmen
 - 9.2.1 *Allgemeine Bestimmung*
 - 9.2.2 *Bestimmung des Werts U_f von Dachfensterrahmen*
- 9.3 Wärmedurchgangskoeffizient von opaken Füllungen (U_p)
- 9.4 Wärmedurchgangskoeffizient von Lüftungsgittern (U_l)
- 9.5 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (ψ -Wert)

10. WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT VON VORHANGFASSADEN

- 10.1 Allgemeine Bestimmungen
- 10.2 Konstruktive Eigenschaften von Vorhangfassaden
 - 10.2.1 *Komponenten und Randbedingungen*
 - 10.2.2 *Bestimmung von Flächen und Umfang*
 - 10.2.3 *Regeln für die Modellierung*
- 10.3 Genaue Bestimmung des U_{cw} -Werts eines Vorhangfassadenelements
 - 10.3.1 *Prinzip des numerischen Berechnungsverfahrens*
 - 10.3.2 *Bestimmung des Wärmeverluststroms durch Verbindungselemente*
 - 10.3.2.1 *Allgemeine Bestimmungen*
 - 10.3.2.2 *Bestimmung von U_{TJ} (Verbindung betrachtet als Fassadenelement)*
 - 10.3.2.3 *Bestimmung von Ψ_{TJ} (Verbindung betrachtet als eine lineare Wärmebrücke)*
 - 10.3.3 *Bestimmung von U_{cw}*
- 10.4 Berechnung des U_{cw} -Werts (Komponentenmethode)
 - 10.4.1 *Prinzip der Komponentenmethode*
 - 10.4.2 *Allgemeine Bestimmung des U_{cw} -Werts*
 - 10.4.3 *U-Wert von Verglasung und Paneele*
 - 10.4.3.1 *Verglasung*
 - 10.4.3.2 *Opake Füllung*
 - 10.4.4 *U-Wert von Rahmen, Pfosten und Riegeln*
 - 10.4.5 *Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Verglasungen, Rahmen, Pfosten und Riegel)*
- 10.5 Bestimmung des U_{cw} -Werts einer Vorhangfassade aus unterschiedlichen Elementen

11. WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT SONSTIGER DURCHSICHTIGER WÄNDE

- 11.1 Glasbausteine
 - 11.1.1 *Allgemeines Verfahren*

12. TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT DURCH GEBÄUDE

- 12.1 Gesamttransmissionswärmedurchgangskoeffizient
- 12.2 Allgemeine Vereinbarungen
 - 12.2.1 *Grenzen der Gebäudeteile*
 - 12.2.2 *Bestimmung der Flächen*
 - 12.2.2.1 *Berechnung von Außenwandflächen*

12.2.2.2 Berechnung der Wandflächen in einem geschützten Volumen oder zwischen 2 geschützten Volumnen

12.2.2.3 Berechnung der Flächen von nicht ebenen Bauteilen

12.2.3 *Bestimmung der Volumnen*

13. TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT DIREKT ZUR AUßENUMGEBUNG (H_D)

14. TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT ÜBER UNBEHEIZTE NACHBARRÄUME (H_U)

15. TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT ÜBER DAS ERDREICH, UNBEHEIZTE KELLER UND LEERRÄUME (H_G)

15.1 Allgemeine Bestimmungen

15.2 Vereinfachtes Verfahren für die Bestimmung der Wärmeverluste über das Erdreich

15.2.1 *Erdanliegende Böden*

15.2.2 *Bauteile in Kontakt mit Kriechkellern und unbeheizten Kellern (Böden, Wände, Türen, ...)*

15.2.3 *Wände unter der Erde*

16. TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT ÜBER BAUKNOTEN ($H_T^{\text{JUNCTIONS}}$)

17. GESAMTWÄRMEDÄMMGRAD (K-GRAD)

17.1 Kompaktheit eines Gebäudes

17.2 Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient eines Gebäudes

17.3 Gesamtwärmedämmgrad (K-Grad)

ANHANG A - BESTIMMUNG DER WÄRMELEITFÄHIGKEIT (λ -WERT) UND DES WÄRMEWIDERSTANDES (R-WERT) VON BAUSTOFFEN

A.1 Allgemeine Bestimmungen

A.2 Tabellen mit den Standardwerten für die Wärmeleitfähigkeit von homogenen oder gleichgestellten Baustoffen

ANHANG B. WÄRMEDURCHLASSWIDERSTAND (U-WERT) VON INHOMOGENEN BAUSTOFFEN

ANHANG C. STANDARDWERTE DES FEUCHTEGEHALTS UND UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR BAUSTOFFE AUS STEIN

ANHANG D. WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON RAHMENPROFILIEN (U_F -WERTE): STANDARDWERTE

D.1 Rahmenprofile aus Holz

D.2 Rahmenprofile aus Metall

D.2.1 *Begriffsbestimmung*

D.2.2 *Rahmenprofile aus Metall mit wärmetechnischer Trennung*

D.2.3 *Rahmenprofile aus Metall ohne wärmetechnische Trennung*

D.3 Rahmenprofile aus Kunststoff

ANHANG E. LÄNGENBEZOGENER WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT (Ψ -WERT) VON VERBINDUNGSBEREICHEN ZWISCHEN RAHMENPROFILIEN, VERGLASUNGEN, PANEELN UND RIEGELN

E.1 Allgemeine Bestimmungen

E.2 Verbindungsbereich zwischen Rahmenprofil und Verglasung

E.3 Verbindungsbereich zwischen Riegel und Verglasung

E.4 Verbindungsbereich zwischen Profil und Füllung

E.5 Verbindungsbereich zwischen Profil und Riegel

E.5.1 *Aluminium- und Stahlprofile*

E.5.2 *Holzprofile und Holz-Aluminiumprofile*

E.6 Bestimmung von U_F bei in eine Vorhangsfassade eingebauten Profilen

ANHANG F. WÄRMEÜBERTRAGUNG ÜBER DAS ERDREICH**F.1 Notwendige spezifische Daten***F.1.1 Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs**F.1.2 Charakteristisches Bodenplattenmaß und wirksame Dicke***F.2 Bestimmung des U-Werts und des stationären Wärmedurchgangs H_g** *F.2.1 Allgemeine Bestimmungen**F.2.2 Bodenplatten auf Erdreich**F.2.3 Aufgeständerte Bodenplatten**F.2.4 Kellerwände***ANHANG G. VEREINBARUNGEN FÜR DIE BESTIMMUNG DER U-WERTE****G.1 Einleitung****G.2 Numerische und vereinfachte Berechnungsverfahren****G.3 Vereinbarungen für Mauersteine und Hohlziegel***G.3.1 λ_U -Wert von Mauerwerk**G.3.2 λ_U -Wert von Lochziegeln oder Hohlblocksteinen***G.4 Vereinbarungen für inhomogene Schichten eines Bauteils mit Holzstruktur****G.5 Ergänzende Vereinbarungen für die Bestimmung des U-Werts***G.5.1 Ziegel- oder Schieferdächer**G.5.2 Zwischendecken**G.5.3 Böden***ANHANG H. TEMPERATURUMRECHNUNGSFAKTOR FÜR DIE EANC, BELÜFTUNGSHOHLRÄUME UND UNBEHEIZTEN KELLERRÄUME**

1. Einleitung

Seit Mitte der 1990-er Jahre hat der Europäische Normungsausschuss (CEN) eine Reihe von Normen zum Thema der Berechnung der Transmissionsverluste veröffentlicht. Diese Normen werden seit einigen Jahren in Zusammenarbeit mit der Internationalen Organisation für Normung (ISO) überarbeitet.

Während der Vorbereitung der Rechtsvorschriften für die Gesamtenergieeffizienz (GEE) von Gebäuden (in Flandern in Kraft seit dem 1. Januar 2006), hat man versucht, sich so weit wie möglich an die aktuellste Version der betreffenden Norm oder an deren Überarbeitungsentwürfe (häufig noch in Form von Arbeitspapieren der betroffenen Fachausschüsse) zu halten. Dies war möglich bis zum Sommer 2005, als die erste öffentliche Version der GEE-Software fertig gestellt und GEE-Schulungen eingeführt wurden. Zu diesem Zeitpunkt war die GEE-Reglementierung in vielen Punkten festgefahren.

Das vorliegende Dokument beschreibt ausführlich die Regeln in Zusammenhang mit der Transmissionsberechnung, die für die GEE-Reglementierung gelten. Die wallonische Regierung kann später ggf. erforderliche ergänzende Spezifikationen festlegen.

Grundlage des vorliegenden Dokuments ist der im Auftrag des ATIC¹ (Stiftung Gilbert Burnay) erstellte Bericht. Das gleiche ATIC-Dokument diente auch als Ausgangspunkt für das Verfahren der Überarbeitung der belgischen Norm NBN B62-002.

Der Text behandelt im Wesentlichen Berechnungsmethoden, die von den Referenten (und den Entwicklern) direkt angewandt werden müssen. Viele davon sind in die GEE-Software integriert. Die Bestimmung der Produktdaten hat an erster Stelle durch die Hersteller/Lieferanten zu erfolgen. Die damit verbundenen Verfahren sind in den im Rahmen der GEE-Produktdatenbank erstellten Dokumenten eingehender erläutert.

Da die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle dreidimensional sind, ist eine präzise Schätzung des Koeffizienten der Wärmeübertragung durch H_T -Übergang nur durch eine detaillierte zahlenmäßige Berechnung möglich. In der Praxis können nur die Wärmeübertragungskoeffizienten der Bauelemente aus homogenen, ebenen und parallelen Schichten leicht berechnet werden. Für sonstige Situationen ist im Prinzip eine detaillierte zahlenmäßige Berechnung notwendig. Der vorliegende Text beinhaltet die vereinfachten Methoden, die für diese spezifischen Fälle eine leichtere Berechnung ermöglichen. Es handelt sich beispielsweise um Bauelemente aus nicht homogenen Schichten (siehe 6.2), um die Berücksichtigung von mechanischen Befestigungen (siehe 7.2.3), um Bauelemente mit unterschiedlichen Stärken (siehe 7.4), Fenster und Türen (siehe 9) oder leichte Fassaden (siehe 10). Diese Methoden können stets angewendet werden, sofern die geltenden Anwendungsmethoden für jeden Fall gesondert beachtet werden.

Die Berücksichtigung der Baukosten wird in Anlage IV des vorliegenden Erlasses erläutert. Diese müssen gemäß der in Anlage IV beschriebenen Methodologie behandelt werden.

Jegliche lineare oder punktuelle Unterbrechung der Wärmeverlustfläche muss für die Bestimmung des Wärmeübertragungskoeffizienten der Bauelemente dieser Zwischenwand berücksichtigt werden. Dies ist auf 2 Arten möglich:

- entweder, sofern verfügbar, gemäß der Anwendung einer vereinfachten Berechnungsmethode, wie in diesem Dokument beschrieben;
- oder gemäß einer detaillierten zahlenmäßigen Berechnung. Diese Methode ist ebenfalls anstelle einer verfügbaren vereinfachten Methode zulässig.

¹ ATIC = Association Royale Technique de l'Industrie du Chauffage, de la Ventilation et des Branches Connexes (Königlich Technische Vereinigung der Heizungs- und Lüftungsindustrie und verwandter Branchen).

2. Anwendungsbereich

Die im vorliegenden Text angegebenen Berechnungsverfahren können auf die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Gebäudewänden (U-Wert) und des Transmissionswärmedurchgangskoeffizienten (H-Wert) angewandt werden, die selbst für die Bestimmung der Gesamtwärmedämmung (K-Grad) und des Primärenergieverbrauchs (E_w -Grad) verwendet werden.

Die Berechnungsverfahren beziehen sich auf die Ermittlung:

- des U-Werts von opaken Bauteilen mit homogener und nicht homogener Schichtung und mit Luftschichten;
- des U-Werts von transparenten Bauteilen (Verglasungen, Fenster, Türen und ihre Bestandteile);
- des Transmissionswärmedurchgangskoeffizienten (Transmission nach außen, direkt, durch angrenzende nicht beheizte Räume und über das Erdreich).

3. Normative Verweise

Bei datierten Normen gilt nur die angegebene Version, soweit der Staat nicht ausdrücklich eine andere Ersatzversion angibt. Bei nicht datierten Normen gilt die aktuellste Version, unter Berücksichtigung der für die Bestimmung der Produkteigenschaften geltenden Regeln.

NBN EN 673	Glass in buildings. Determination of thermal transmittance. Calculation method. (<i>Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Berechnungsverfahren</i>)
NBN EN 674	Glass in buildings. Determination of thermal transmittance. Guarded hot plate method. (<i>Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Verfahren mit dem Plattengerät</i>)
NBN EN 675	Glass in buildings. Determination of thermal transmittance. Heat flow meter method. (<i>Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Wärmestrommesser-Verfahren</i>)
NBN EN 1051-2	Glass in buildings. Glass blocks and glass paver units. Part 2 : evaluation of conformity. (<i>Glas im Bauwesen - Glassteine und Betongläser - Teil 2: Konformitätsbewertung/Produktnorm</i>)
NBN EN 1745	Masonry and masonry products. Methods for determining design thermal values. (<i>Mauerwerk und Mauerwerksprodukte - Verfahren zur Ermittlung von Wärmeschutzrechenwerten</i>)
NBN EN 1934	Thermal performance of buildings. Determination of thermal resistance by hot box method using heat flow meter. Masonry. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Messung des Wärmedurchlasswiderstandes; Heizkastenverfahren mit dem Wärmestrommesser – Mauerwerk</i>)
NBN EN ISO 6946:2008	Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method. (<i>Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren</i>)
ISO 8301:1991	Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus (<i>Wärmeschutz; Bestimmung des stationären Wärmedurchlasswiderstandes und verwandter Eigenschaften; Verfahren mit dem Wärmestrommeßplatten-Gerät</i>)
ISO 8302:1991	Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus (<i>Wärmeschutz; Bestimmung des stationären Wärmedurchlasswiderstandes und verwandter Eigenschaften; Verfahren mit dem Plattengerät</i>)
NBN EN ISO 8990	Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Calibrated and guarded hot box method (<i>Wärmeschutz; Bestimmung des stationären Wärmedurchlasswiderstandes und verwandter Eigenschaften; Verfahren mit dem kalibrierten und dem geregelten Heizkasten</i>)
NBN EN ISO 10077-1:2006	Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1 : General. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines</i>)
NBN EN ISO 10077-2	Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2 : General. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen</i>)
NBN EN ISO 10211:2008	Thermal bridges in building constructions - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations. (<i>Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen</i>)
NBN EN ISO 10456	Thermal insulation - Building materials and products - Determination of declared and design values. (<i>Wärmeschutz. Baustoffe und Bauprodukte.</i>)

	<i>Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte)</i>
NBN EN 12412-2	Thermal performance of windows, doors and shutters - Determination of thermal transmittance by hot box method - Part 2 : frames. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens - Teil 2: Rahmen</i>)
NBN EN ISO 12567-1	Thermal performance of windows, doors and shutters - Determination of thermal transmittance by hot box method. (Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens - Teil 1: <i>Komplette Fenster und Türen</i>)
NBN EN ISO 12567-2	Thermal performance of windows, doors and shutters - Determination of thermal transmittance by hot box method. (Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens - Teil 2: <i>Dachflächenfenster und andere auskragende Fenster</i>)
NBN EN 12664	Thermal performance of building materials - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Dry and moist products of medium and low thermal resistance. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät - Trockene und feuchte Produkte mit mittlerem und niedrigem Wärmedurchlasswiderstand</i>)
NBN EN 12667	Thermal performance of building materials - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Dry and moist products of medium and low thermal resistance. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät - Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand</i>)
NBN EN 12939	Thermal performance of building materials - Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods - Dry and moist products of medium and low thermal resistance. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät - Dicke Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswiderstand</i>)
NBN EN 12835	Shutters and blinds - Determination of air permeability. (<i>Luftdichte Abschlüsse. Prüfung der Luftdurchlässigkeit</i>)
NBN EN ISO 13370:2008	Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren</i>)
NBN EN 13125	Shutters and blinds - Additional thermal resistance - Allocation of a class of air permeability to a product. (<i>Abschlüsse - Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand - Zuordnung einer Luftdurchlässigkeitsklasse zu einem Produkt</i>)
NBN EN ISO 13789:2008	Thermal performance of buildings - Transmission heat loss coefficient - Calculation method. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren</i>)
NBN EN 13947:2007	Thermal performance of curtain walling - Calculation of thermal transmittance - Simplified method. (<i>Wärmetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten</i>)

4. Begriffsbestimmung, Einheiten und Symbole

4.1 Begriffsbestimmung

GEE-Erlass

Erlass der wallonischen Regierung vom 17. April 2008 zur Festsetzung des Berechnungsverfahrens und der Anforderungen, der Zulassungen und der Sanktionen in Sachen Energieeffizienz und Innenraumklima von Gebäuden, einschließlich eventuellen späteren Änderungen.

Keller

Benutzbarer Teil eines Bauwerks, dessen Außenwände mindestens 70% Bodenkontakt besitzen.
ANM.: Dieser Raum kann beheizt oder unbeheizt sein.

Wärmeverlustkoeffizient

Der aus einem Teil der Gebäudehülle abfließende Wärmestrom, dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Umgebungen, die durch den betreffenden Gebäudeteil thermisch gekoppelt oder verbunden sind.

Transmissionswärmedurchgangskoeffizient (H_T) [W/K]

Der Wärmestrom durch Transmission, der in stationärem Zustand zwischen einem (beheizten) Innenraum und der Außenumgebung entsteht, dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und der Außenumgebung (wobei beide Temperaturen als gleichmäßig angenommen werden).

Lüftungswärmedurchgangskoeffizient (H_V) [W/K]

Der Wärmestrom durch Lüftung zwischen dem Innenraum und der Außenumgebung, dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und der Außenumgebung.

Wärmedurchgangskoeffizient (U) [W/m²K]

Die Menge an Wärmeenergie, die im stationären Zustand über eine Flächeneinheit durch ein Bauteil durchgelassen wird, dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen den Umgebungen auf jeder Seite des betroffenen Bauteils.

Wärmeleitfähigkeit (λ_U) [W/mK]

Der Rechenwert der Wärmestromdichte in stationärem Zustand durch einen Baustoff oder ein Bauprodukt, unter bestimmten ausgewählten Innen- und Außenbedingungen, die für die Leistungen des fraglichen Baustoffs oder -produkts in Einbausituation als typisch betrachtet werden können.

Thermisch homogene Schicht

Bauteilschicht mit einer konstanten Dicke, mit gleichförmigen thermischen Eigenschaften, oder mit thermischen Eigenschaften, die als gleichförmig betrachtet werden können.

Wärmestromdichte (q) [W/m²]

Wärmestrom pro Flächeneinheit.

Typisches Bodenmaß (B') [m]

Die Bodenfläche geteilt durch den halben Bodenumfang.

Außenmaß

Auf der Gebäudeaußenseite genommenes Maß.

Innenmaß

Von einer Wand zur anderen oder vom Boden zur Decke in einem Gebäudeinnenraum genommenes Maß.

Beheizter (gekühlter) Raum

Räume oder Bereiche, die auf eine bestimmte Temperatur erwärmt (gekühlt) werden.

Emissionsfaktor (ϵ)

Das Verhältnis zwischen der von der Oberfläche bei einer bestimmten Temperatur abgestrahlten Energie im Infrarot-Bereich und der bei der gleichen Temperatur von einem schwarzen Körper abgestrahlten Energie im Infrarot-Bereich.

Wärmestrom (Φ) [W]

Je Zeiteinheit übertragene Wärmemenge.

Gebäudeteil, Bauteil

Teil eines Gebäudes, wie Wand, Boden, Dach.

Bodenplatte auf Erdreich

Auf ihrer gesamten Fläche erdanliegende Bodenplatte.

Aufgeständerte Bodenplatte

Bodenplatte, die vollständig über der Geländeoberkante liegt, so dass eine Luftschicht zwischen der Bodenplatte und dem Erdreich entsteht.

ANM.: Diese Luftschicht, auch Kriechkeller genannt, kann belüftet sein oder auch nicht, und sie ist im Allgemeinen nicht Teil des geschützten Volumens eines Gebäudes.

Produkt

Gebrauchsfertige Endform eines Baustoffs mit bestimmten Formen und Maßen, versehen mit einer Beschichtung oder einem Coating.

Baustoff

Teil eines Produkts, unabhängig von der Form und den Maßen und ohne Beschichtung oder Coating.

Wärmedurchlasswiderstand (R) [$\text{m}^2\text{K/W}$]

Umgekehrter Wert des Wärmedurchgangskoeffizienten eines Bauteils unter bestimmten ausgewählten Innen- und Außenbedingungen, die für die Leistungen des fraglichen Bauteils als typisch betrachtet werden können.

Bezugsaußentemperatur

Die Temperatur der Außenluft bei vollständig bedecktem Himmel.

Bezugsinnentemperatur

Resultierende Trockentemperatur in einem Raum.

Resultierende Trockentemperatur

Berechneter Mittelwert aus der trocken gemessenen Innenlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur aller innenraumumschließenden Wände.

(thermischer) Rechenwert

Wert einer thermischen Eigenschaft eines Baustoffs oder eines Bauprodukts unter bestimmten ausgewählten Innen- und Außentemperatur- und -feuchtigkeitsbedingungen, die für die Leistungen des fraglichen Baustoffs oder -produkts als typisch betrachtet werden können, wenn es in einen Teil der baulichen Anlage eingebaut wird.

ANM.: Ein Bauprodukt oder Baustoff kann je nach Anwendung unterschiedliche Rechenwerte haben.

(thermischer) Nennwert

Erwarteter Wert einer thermischen Eigenschaft eines Baustoffs oder eines Bauprodukts, der sich aus den unter Bezugstemperatur- und -feuchtigkeitsbedingungen gemessenen Werten ergibt, für einen bestimmten Anteil und Zuverlässigkeitsgrad und eine unter normalen Bedingungen angemessene Lebensdauer.

4.2 Symbole und Einheiten

Symbol	Einheit	Bedeutung
A	m ²	Fläche
B'	m	Charakteristisches Bodenplattenmaß
G _w	-	Korrekturwert (fließendes Grundwasser)
H	W/K	Transmissionswärmedurchgangskoeffizient
P	m	Umfang (erdanliegende Wände)
R	m ² K/W	Wärmedurchlasswiderstand einer Bauteilschicht
R _g	m ² K/W	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht in einer Wand
R _s	m ² K/W	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht zwischen Fenstern
R _{si}	m ² K/W	Innerer Wärmeübergangswiderstand
R _{se}	m ² K/W	Äußerer Wärmeübergangswiderstand
R _T	m ² K/W	Wärmedurchgangswiderstand einer Wand
U	W/m ² K	Wärmedurchgangskoeffizient
V	m ³	Rauminhalt
a	-	Korrekturterm, Reduktionsfaktor
b	m	Breite
c	J/kgK	Spezifische Wärmekapazität
d	m	Dicke (einer Bauteilschicht), Länge (einer mechanischen Befestigung)
f	-	Anteil, Faktor
h	m	Höhe
l	m	Umfang, Länge
m	kg	Gewicht
n	h ⁻¹	Luftwechselrate
w	m	Wanddicke
z	m	Tiefe
ε _n	-	Normaler Emissionsgrad einer Verglasung
λ	W/mK	Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffs
ΔR	m ² K/W	Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand eines Fensterladens
ΔU	W/m ² K	Korrekturterm für den U-Wert
ρ	kg/m ³	Dichte, Massendichte

5. Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstands (R) von Bauteilschichten

5.1 Allgemeine Grundsätze

Der allgemeine Grundsatz für die Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstands (R-Wert) von Bauteilen lautet:

- zuerst den Wärmedurchlasswiderstand jeder homogenen Schicht des Bauteils bestimmen,
- dann die einzelnen Wärmedurchlasswiderstände der Bauteile addieren, um den Wärmedurchgangswiderstand zu erhalten, einschließlich möglicher innerer und äußerer Wärmeübergangswiderstände des Bauteils.

Die Wärmedurchlasswiderstände der homogenen Bauteilschichten sind in § 5.2 und die Werte der Wärmeübergangswiderstände (R_{si} und R_{se}) sind in § 5.3 angegeben.

Luftschichten in Bauteilen (z. B. Hohlraum einer Hohlwand) gelten im Rahmen dieses Dokumentes als homogene Schichten. Die Wärmedurchlasswiderstandswerte der Luftschichten sind in § 5.4 angegeben.

Der Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteils (R_T) ist gemäß § 6.1 (Wand mit homogener Schichtung) oder gemäß § 6.2 (Wand mit einer oder mehreren inhomogenen Schichten) und der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist gemäß § 7.1 zu bestimmen.

Für die berechneten U-Werte gedämmter Bauteile sind mögliche Korrekturen vorgesehen, um den ausgewählten Einbau der jeweiligen Dämmstoffe zu berücksichtigen, wie Durchdringung durch mechanische Befestigungselemente (siehe § 7.2.3) oder Niederschläge auf Umkehrdächern (siehe § 7.2.4).

ANM.: Bei der Berechnung der Transmissionsverluste wird als Innentemperatur die resultierende Trockentemperatur und als Außentemperatur die Lufttemperatur angenommen.

5.2 Wärmedurchlasswiderstand von homogenen Bauteilschichten

Die Bestimmung des Rechenwerts der Wärmeleitfähigkeit (λ_U -Wert) oder des Wärmedurchlasswiderstands (R-Wert) von Baustoffen hat gemäß Anhang A oder B zum vorliegenden Text zu erfolgen.

Wenn die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffs bekannt ist, kann der Wärmedurchlasswiderstand wie folgt bestimmt werden:

$$R = \frac{d}{\lambda_U} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (1)$$

dabei ist:

- d [m] = Dicke des Baustoffs
- λ_U [W/mK] = Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs

5.3 Wärmeübergangswiderstände von Oberflächen

Bei ebenen Oberflächen, und wenn keine spezifischen Informationen über die Randbedingungen vorliegen, können die Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände R_{si} (innen) und R_{se} (außen) in Tabelle 1 verwendet werden. Diese Werte gelten für luftberührende Oberflächen.

	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal ⁽¹⁾	abwärts
R_{si} [m²K/W]	0,10	0,13	0,17
R_{se} [m²K/W]	0,04	0,04	0,04

(1) gilt für eine Wärmestromrichtung, die nicht mehr als $\pm 30^\circ$ von der Horizontalen abweicht.

Tabelle 1 - Wärmeübergangswiderstände R_{si} und R_{se} (in m²K/W)

ANM.: Die genauen Verfahren für Sonderfälle (R_{si} - und R_{se} -Werte für Oberflächen mit niedrigem Emissionsgrad, bei speziellen Windgeschwindigkeiten und bei unebenen Oberflächen) sind in Anhang A der Norm NBN EN ISO 6946 angegeben. Im Rahmen der GEE-Reglementierung muss üblicherweise immer mit einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s gerechnet werden, mit h_{r0} bei einer Temperatur von 10 °C, wie in dieser Norm bestimmt.

5.4 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten

5.4.1 Einleitung

Der Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht hängt ab von der Art der Luftschicht, von der Wärmestromrichtung durch die Luftschicht, von seiner Dicke, der Geometrie und der Neigung der Luftschicht, vom Emissionsgrad der sie einfassenden Oberflächen und von den Belüftungsmöglichkeiten der Luftschicht. Je nach Fall, kann der Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht entweder anhand von Versuchen oder Berechnungen exakt bestimmt werden, oder es können tabellierte Standardwerte gewählt werden.

In bestimmten Fällen wird der Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht oder des Hohlraums nicht einzeln berechnet sondern ist im U-Wert des Bauteils enthalten, in dem sich diese Luftschicht oder dieser Hohlraum befindet (dies ist der Fall bei z. B. Lochziegel, Hohlblocksteine, Verglasungen, Rahmen, ...).

ANM.: Mehr als 300 mm dicke Luftschichten sind als angrenzende unbeheizte Räume zu behandeln.

5.4.2 Normale Luftschichten in Wänden, Dächern und Böden

5.4.2.1 Bedingungen

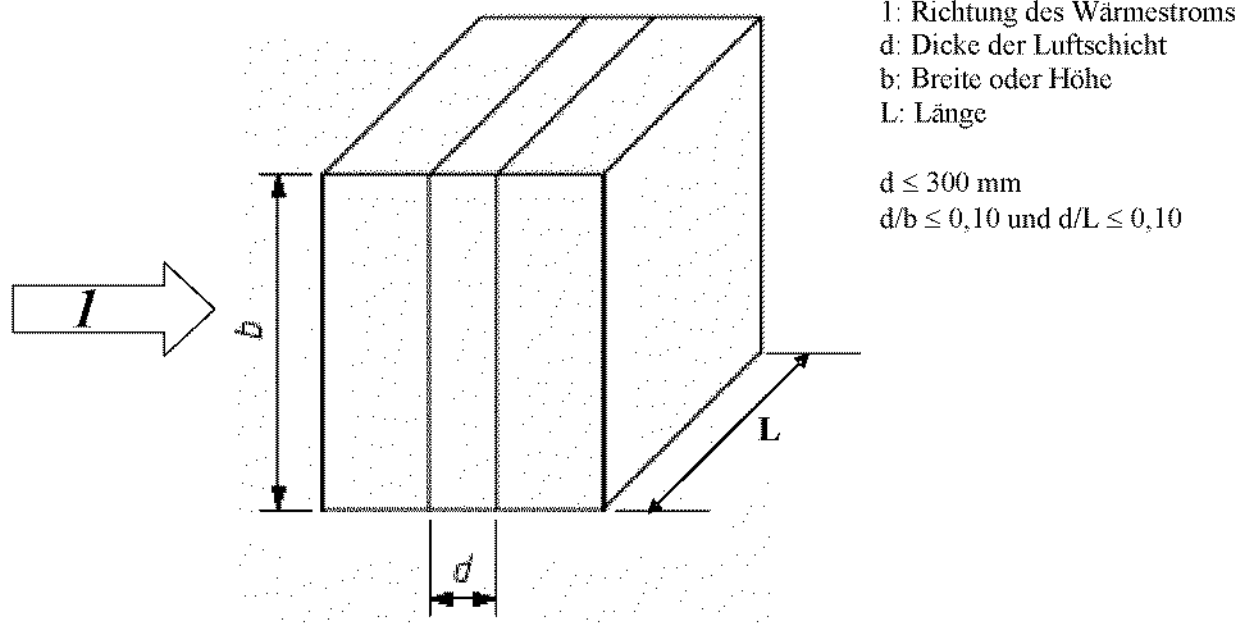


Abb. 1 – Normale Luftschicht

Die in diesem Paragraphen (5.4.2) behandelten Wärmedurchlasswiderstandswerte der Luftschichten gelten für Luftschichten, die jeweils den nachstehenden Bedingungen entsprechen (siehe Abb. 1):

- die Luftschicht muss von zwei parallelen Flächen eingefasst sein, die lotrecht zur Wärmestromrichtung verlaufen und deren Oberflächen einen hohen Emissionsgrad aufweisen (nicht reflektierend - eine Anforderung der die meisten Baustoffe entsprechen);
- die Dicke der Luftschicht (gemessen in Wärmestromrichtung) darf 300 mm nicht überschreiten;
- das Verhältnis zwischen der Dicke und der Länge (d/L) und das Verhältnis zwischen der Dicke und der Breite (d/b) der Luftschicht darf nicht größer sein als 0,1;
- ein Luftaustausch zwischen der Luftschicht und der Innenumgebung darf nicht möglich sein.

Bei Luftschichten zwischen einer oder mehreren Oberflächen mit niedrigem Emissionsgrad (reflektierend) finden Anhang B.2 und B.3 der Norm NBN EN ISO 6946 Anwendung. Zu berücksichtigen ist der einer Temperatur von 10 °C entsprechende Wert von $h_{r,0}$, und der Wert von h_a ist Tabelle B.1 dieser Norm zu entnehmen. Die Definitionen $h_{r,0}$ und h_a werden in dieser selben Norm gegeben.

Die Rechenwerte des Wärmedurchlasswiderstands von Luftschichten sind in § 5.4.2.2 (ruhende Luftschichten, Normalfall mit Oberflächen mit hohem Emissionsgrad) und in § 5.4.2.3 (idem, aber mit schwach belüfteten Luftschichten) angegeben. Das Berechnungsverfahren für stark belüftete Luftschichten ist in § 5.4.2.4 angegeben.

ANM.: Luftschichten, die nicht hermetisch von der Innenumgebung abgeschlossen sind, werden als Teil der beheizten Innenumgebung betrachtet, mit der sie durch Öffnungen, Spalte oder Fugen verbunden sind. Der Wärmedurchlasswiderstand der Bauteile zwischen diesen Luftschichten und der Innenumgebung wird daher nicht berücksichtigt.

5.4.2.2 Ruhende Luftschichten

Eine ruhende Luftschicht ist eine Luftschicht, durch die kein Luftstrom nach außen möglich ist. Bei Wänden mit einer Luftschicht mit kleinen Öffnungen zur Außenumgebung, gilt diese Luftschicht als ruhend, wenn die drei nachstehenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- keine Dämmschicht zwischen der Luftschicht und der Außenumgebung;
- die Öffnungen zur Außenumgebung in dieser Luftschicht müssen so angeordnet sein, dass ein Luftstrom durch die Luftschicht nicht möglich ist;

- die Öffnungsgröße darf 500 mm² je m Länge bei vertikalen Luftschichten und 500 mm² je m² Oberfläche bei horizontalen Luftschichten nicht überschreiten.

Die Wärmedurchlasswiderstände von normalen ruhenden Luftschichten, die durch Oberflächen mit hohem Emissionsgrad abgeschlossen sind, sind in Tabelle 2 in Abhängigkeit von der Dicke der Luftschicht und der Richtung des Wärmestroms angegeben.

Dicke d der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal ⁽¹⁾	abwärts
0 < d < 5	0,00	0,00	0,00
5 ≤ d < 7	0,11	0,11	0,11
7 ≤ d < 10	0,13	0,13	0,13
10 ≤ d < 15	0,15	0,15	0,15
15 ≤ d < 25	0,16	0,17	0,17
25 ≤ d < 50	0,16	0,18	0,19
50 ≤ d < 100	0,16	0,18	0,21
100 ≤ d < 300	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

(1) bei einem Wärmestrom, der um nicht mehr als ± 30° aus der Horizontalen abweicht

Tabelle 2 - Wärmedurchlasswiderstand (in m²K/W) von ruhenden Luftschichten, die durch Oberflächen mit hohem Emissionsgrad abgeschlossen sind (Normfall)

5.4.2.3 Schwach belüftete Luftschichten

Eine Luftschicht gilt als schwach belüftet, wenn der Luftaustausch mit der Außenumgebung begrenzt ist. Dies ist der Fall, wenn die Größe der Belüftungsöffnungen die folgenden Bedingungen erfüllt:

- > 500 mm² aber ≤ 1500 mm² je m Länge (vertikale Luftschichten);
- > 500 mm² aber ≤ 1500 mm² je m² Oberfläche (horizontale Luftschichten).

Die Belüftungswirkung ist abhängig von der Größe und der Verteilung der Belüftungsöffnungen. Der Wärmedurchlasswiderstand eines Bauteils mit einer schwach belüfteten Luftschicht kann üblicherweise wie folgt berechnet werden:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{T,v} \quad [2]$$

Dabei ist:

- A_v die Größe der Belüftungsöffnungen je horizontaler Längeneinheit des Bauteils in mm²
- $R_{T,u}$ der Wärmedurchgangswiderstand desselben Bauteils, jedoch mit einer ruhenden Luftschicht, berechnet nach [7]
- $R_{T,v}$ der Wärmedurchgangswiderstand desselben Bauteils, jedoch mit einer stark belüfteten Luftschicht, berechnet nach [7]

Alternativ kann auch die alte Methode angewandt werden. In diesem Fall betragen die Bemessungswerte des Wärmedurchlasswiderstands der schwach belüfteten Luftschichten die Hälfte der entsprechenden Werte nach Tabelle 2 (nur gültig bei Oberflächen mit hohem Emissionsgrad). Wenn der Wärmedurchgangswiderstand der Bauteilschichten (von Oberfläche zu Oberfläche) zwischen der Luftschicht und der Außenumgebung 0,15 m²K/W überschreitet, muss mit einem Höchstwert von 0,15 m²K/W gerechnet werden.

5.4.2.4 Stark belüftete Luftschichten

Eine Luftschicht gilt als stark belüftet, wenn die Öffnungen zwischen Luftschicht und Außenumgebung die folgenden Bedingungen erfüllen:

- $> 1500 \text{ mm}^2$ je m Länge (vertikale Luftschichten);
- $> 1500 \text{ mm}^2$ je m^2 Oberfläche (horizontale Luftschichten).

Der Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht und aller anderen Bauteilschichten zwischen dieser Luftschicht und der Außenumgebung wird bei der Berechnung des Wärmedurchgangswiderstands eines Bauteils mit seiner stark belüfteten Luftschicht vernachlässigt. Darüber hinaus wird der R_{se} -Wert durch den R_{si} -Wert ersetzt.

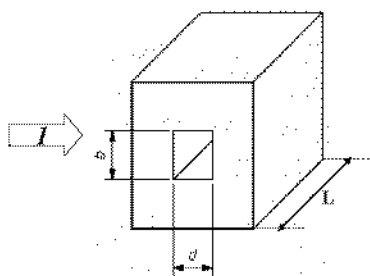
5.4.3 Sonstige Luftschichten

Luftschichten oder Hohlräume können wesentlicher Bestandteil eines Produkts sein, zum Beispiel in Doppelverglasungen oder Lochziegeln. Der Einfluss der Luftschicht oder des Hohlraums ist in den Produkteigenschaften enthalten (U-Wert oder äquivalenter λ -Wert). Aus diesem Grund werden sie hier nicht berücksichtigt.

Luftschichten in Verbund- oder Doppelfenstern werden unter Punkt 4.4.4 behandelt. Luftschichten zwischen Fenstern und Fensterläden werden unter Punkt 4.4.5.2 behandelt.

5.4.3.1 Hohlräume oder Luftspalte

Diese Art von Hohlraum kann zum Beispiel zwischen den Dachsparren auftreten.



l : Richtung des Wärmestroms
d: Dicke des Luftraums
b: Breite oder Höhe
L: Länge

$d \leq 300 \text{ mm}$
 $d/L > 0,10$ und/oder $d/b > 0,10$

Abb. 2 – Rohrförmige Hohlräume

Die Berechnung des Wärmedurchlasswiderstands kleiner, rohrförmiger, unbelüfteter Lufträume (Hohlräume, Luftspalte) ist in Anhang B.4 der Norm NBN EN ISO 6946 angegeben. Bei dieser Art von Luftraum ist das Verhältnis zwischen der Dicke und der Länge (oder Breite) größer als 0,1. Ein solcher Luftraum ist in Abb. 2 dargestellt.

5.5 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten (Lufträumen) mit einer Dicke von mehr als 300 mm

Luftschichten mit einer Dicke von mehr als 300 mm gelten als unbeheizte Nachbarräume. Im Rahmen der GEE-Reglementierung sind sie nach Anhang A und I des GEE-Erlasses zu behandeln.

6. Bestimmung des Wärmedurchgangswiderstandes (R_T) von Bauteilen

6.1 Bauteile aus homogenen Schichten

Der Wärmedurchgangswiderstand R_T (von Umgebung zu Umgebung) eines ebenen Bauteils aus thermisch homogenen Schichten, die senkrecht zum Wärmestrom verlaufen, wird wie folgt berechnet:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad [3]$$

dabei ist:

- R_{si} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: der innere Wärmeübergangswiderstand
- $R_1, R_2, \dots, R_n$ [$\text{m}^2\text{K/W}$]: der Wärmedurchlasswiderstand jeder Bauteilschicht
- R_{se} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: der äußere Wärmeübergangswiderstand

ANM. 1: Wenn R_T als Endergebnis angegeben wird, muss dieser Wert auf 2 Dezimalstellen gerundet werden.

ANM. 2: Die Gleichung [3] gilt für Außenwände. Bei Innenwänden wird R_{se} in der Gleichung [3] durch R_{si} ersetzt. Wenn der Wärmedurchgangswiderstand (von Oberfläche zu Oberfläche) berechnet werden muss, müssen beide R_s -Werte aus der Gleichung [3] gestrichen werden.

ANM. 3: Die Oberfläche eines nicht ebenen Bauteils entspricht der in ebene Bauteile umgewandelten Oberfläche mit der gleichen projizierten Fläche. Es sind die Außenmaße des nicht ebenen Bauteils zu berücksichtigen.

6.2 Bauteile aus homogenen und inhomogenen Schichten

6.2.1 Anwendung

In den nachfolgenden Paragraphen wird ein vereinfachtes Verfahren für die Berechnung des Wärmedurchlasswiderstands von Bauteilen aus thermisch homogenen und inhomogenen Schichten erläutert.

Ein genaues Ergebnis kann unter Zuhilfenahme eines numerischen Verfahrens nach der Norm NBN EN ISO 10211 erzielt werden (siehe zusätzliche Erläuterung in Anhang G.2).

Die linearen und punktuellen Unterbrechungen, die einer Zwischenwand der Wärmeverlustfläche angehören und auf der Fläche verteilt sind, müssen zwingend bei der Berechnung des Gesamtwärmewiderstandes R_T der Zwischenwand der Wärmeverlustfläche berücksichtigt werden, und dies entweder über die vereinfachte Berechnungsmethode oder über die zahlenmäßige Methode gemäß NBN EN ISO 10211.

Das vereinfachte Verfahren kann in den nachstehenden Fällen nicht angewendet werden:

- wenn das Verhältnis zwischen dem oberen und dem unteren Widerstandswert (siehe unten) größer ist als 1,5,
- wenn Metall durch die Dämmschicht verläuft.

Wenn Metallbefestigungen vorhanden sind, kann das Verfahren zunächst so angewandt werden, als gäbe es keine Metallbefestigung, und das erzielte Ergebnis muss dann nach § 3.2 korrigiert werden.

6.2.2 Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteils (Kombinationsverfahren)

Der Wärmedurchgangswiderstand R_T eines Bauteils aus thermisch homogenen und inhomogenen Schichten, die senkrecht zum Wärmestrom verlaufen, wird anhand des arithmetischen Mittelwerts des oberen und unteren Grenzwerts des Wärmedurchlasswiderstands bestimmt:

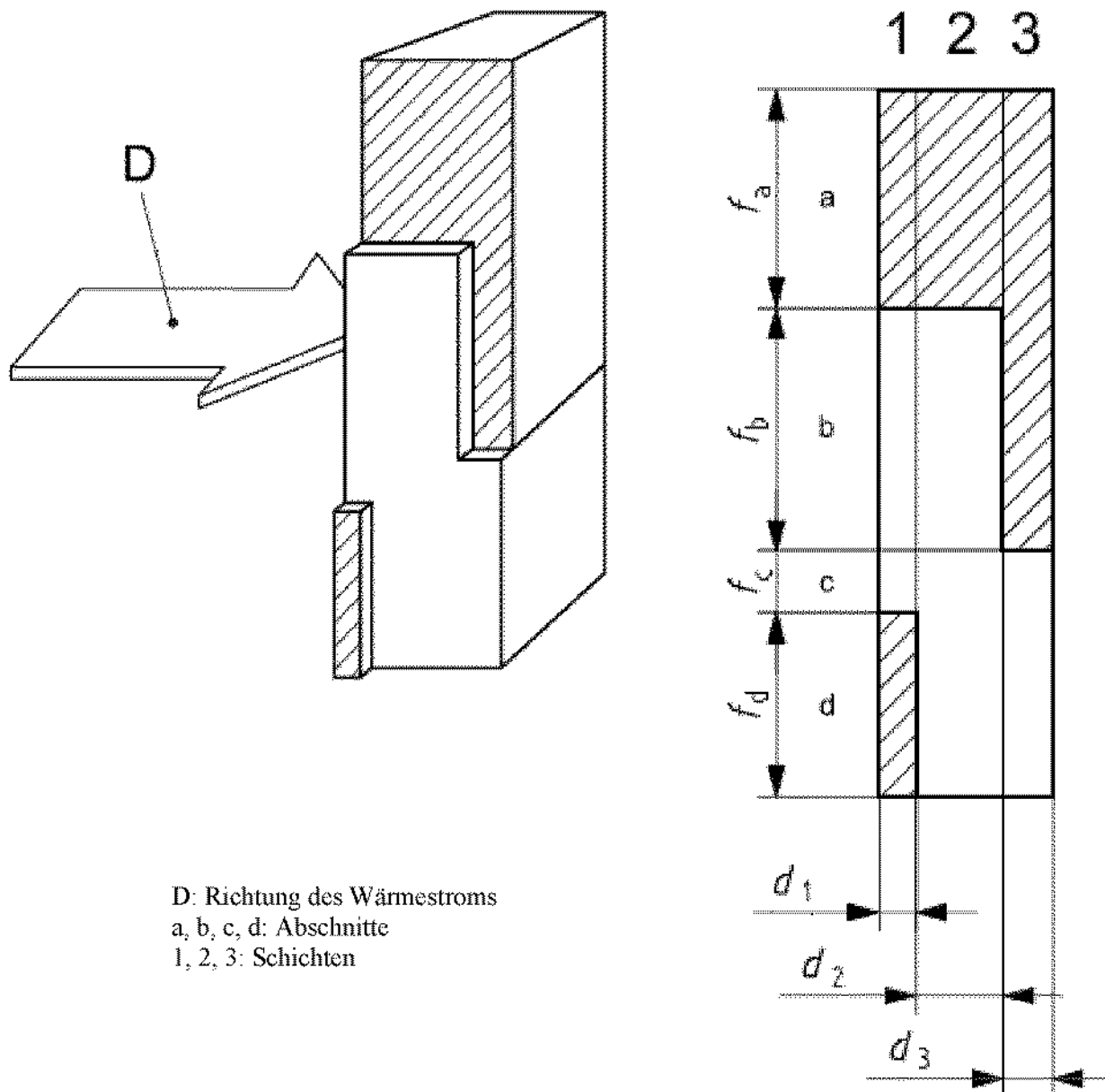
$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad [4]$$

dabei ist:

- R_T' [$\text{m}^2\text{K/W}$]: der obere Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands, berechnet nach Gleichung [5]
- R_T'' [$\text{m}^2\text{K/W}$]: der untere Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands, berechnet nach Gleichung [7]

Die Berechnung des oberen und unteren Grenzwerts muss durch Aufteilung des Bauteiles in Abschnitte und Schichten ausgeführt werden (siehe Abb. 3):

- Aufteilung des Bauteils in Abschnitte (a , b , c und d) mit den entsprechenden Flächen (A_a , A_b , A_c und A_d) und in Schichten (1 , 2 und 3) mit den entsprechenden Dicken (d_1 , d_2 et d_3);
- die Abschnitte (a , b , c , d) senkrecht zu den Oberflächen des Bauteiles bilden die Teilflächen (f_a , f_b , f_c bzw. f_d) der Gesamtfläche;
- die Schichten (1 , 2 , 3) parallel zu den Bauteiloberflächen haben die Dicke d_1 , d_2 bzw. d_3 ;
- die thermisch homogenen Teile (a_1 , ..., d_3) haben jeweils eine Wärmeleitfähigkeit (λ_{a1} , ..., λ_{d3}), eine Dicke (d_1 , ..., d_3), eine Teilfläche (f_a , ..., f_d) und einen Wärmedurchlasswiderstand (R_{a1} , ..., R_{d3});
- die Teilfläche eines Abschnitts ist sein Anteil an der Gesamtfläche. Folglich ist $f_a + f_b + \dots + f_d = 1$.



D: Richtung des Wärmestroms
 a, b, c, d: Abschnitte
 1, 2, 3: Schichten

Abb. 3 – Abschnitte und Schichten eines thermisch inhomogenen Bauteils

6.2.3 Grenzwerte

Für die Berechnung des **oberen Grenzwerts** des Wärmedurchlasswiderstands wird angenommen, dass der eindimensionale Wärmestrom senkrecht zu den Oberflächen des Bauteils verläuft. Der obere Grenzwert ist wie folgt zu berechnen:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [5]$$

dabei ist:

- $R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Td}$ [$\text{m}^2\text{K/W}$]: die Wärmedurchgangswiderstände (von Umgebung zu Umgebung) jedes Abschnitts, berechnet nach Gleichung [3]
- $f_a, f_b, \dots, f_d$ [-]: die Teilflächen (Anteile) jedes Abschnitts.

Für die Bestimmung des **unteren Grenzwerts** des Wärmedurchlasswiderstands wird angenommen, dass alle zu den Oberflächen des Bauteils parallelen Flächen isotherme Flächen sind.

Für jede thermisch inhomogene Bauteilschicht (1, 2, 3, ...) ist ein äquivalenter Wärmedurchlasswiderstand R_j wie folgt zu bestimmen:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} + \frac{f_d}{R_{dj}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [6]$$

Dann ist der untere Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands wie folgt zu bestimmen:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad [7]$$

ANM.: Im Rahmen der GEE-Reglementierung ist es auch zulässig, nur den unteren Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands zu berücksichtigen.

6.2.4 Fehlermarge

Ein Verfahren zur Berechnung des maximalen relativen Fehlers bei der Bestimmung des U-Werts ist in § 6.2.5 der Norm NBN EN ISO 6946 angegeben.

7. Wärmedurchgangskoeffizient (U) von opaken Bauteilen

7.1 Allgemeiner Ausdruck

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) eines opaken Bauteils wird wie folgt ausgedrückt:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [8]$$

Die bei der Berechnung des U-Werts angenommenen Eigenschaften sind zur Information zu übermitteln oder verfügbar zu halten.

ANM.: Wenn der U-Wert als Endergebnis angegeben wird, muss er auf 2 Dezimalstellen gerundet werden.

7.2 Korrektur des U-Werts

7.2.1 Allgemeine Bestimmungen

Der nach Gleichung [8] ermittelte U-Wert muss im Prinzip korrigiert werden, um folgende Einflüsse zu berücksichtigen:

- Luftspalte oder Hohlräume in den Dämmschichten,
- mechanische Befestigungselemente, die die Dämmschichten durchdringen;
- Niederschlag auf Umkehrdächern.

Der korrigierte U-Wert (U_c) ergibt sich nach:

$$U_c = U + \Delta U \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [9]$$

Der Korrekturterm ΔU ergibt sich nach:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [10]$$

dabei ist:

- ΔU_g [W/m²K]: die Korrektur für Luftspalte und Hohlräume
- ΔU_f [W/m²K]: die Korrektur für mechanische Befestigungselemente
- ΔU_r [W/m²K]: die Korrektur für Umkehrdächer

7.2.2 Korrektur des U-Werts für Luftspalte und Hohlräume in oder zwischen den Dämmschichten

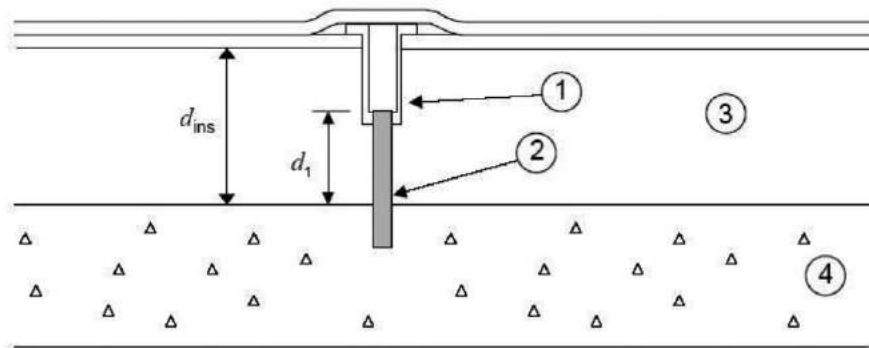
Wenn Luftschichten, Luftspalte oder Hohlräume in Richtung des oder senkrecht zum Wärmestrom verlaufen, kann sich dies in bestimmten Fällen sehr negativ auf den tatsächlichen Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht auswirken. Die Norm NBN EN ISO 6946 (Anhang D.2) unterscheidet eine Reihe von Mängelkategorien und legt Zuschläge fest.

Da sich nur schwer eindeutig bestimmen lässt, welche Kategorie für ein Gebäude, für einen Gebäudeteil, ... gilt, wurde beschlossen, diesen Effekt im Rahmen der GEE-Reglementierung nicht zur berücksichtigen. Daher gilt:

$$\Delta U_g = 0 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [11]$$

7.2.3 Korrektur für mechanische Befestigungselemente, die die Dämmschicht durchdringen

Wenn mechanische Befestigungselemente (z. B.: Mauerhaken, Dachbefestigungselemente, ...) eine Dämmschicht durchdringen, kann die Auswirkung dieser Befestigungselemente anhand des numerischen Verfahrens nach der Norm NBN EN ISO 10211 immer genau berechnet werden. Dieses genaue Berechnungsverfahren ist immer dann anzuwenden, wenn beide Enden des mechanischen Befestigungselements mit einer Metallplatte in thermischem Kontakt stehen.



1: Kunststoffkappe – 2: eingelassenes Befestigungselement – 3: Dämmschicht – 4: Dachplatte

Abb. 4 – Eingelassenes mechanisches Befestigungselement

In den anderen Fällen kann das folgende Verfahren der Überslagsberechnung angewandt werden. Die Auswirkung des mechanischen Befestigungselements wird dabei mit dem wie folgt berechneten Korrekturterm ΔU_f bestimmt:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_1} \left[\frac{R_1}{R_{T,h}} \right]^2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [12]$$

dabei ist:

- d_1 [m]: Länge des Befestigungselements, wie folgt bestimmt:
 - bei Befestigungselementen, die die Dämmschicht vollständig durchdringen (im rechten oder schrägen Winkel) ist die Länge gleich der Dicke der Dämmschicht (d_{ins}): $d_1 = d_{ins}$
 - bei eingelassenen Befestigungselementen entspricht die Länge dem Teil des Befestigungselements, der die Dämmschicht durchdringt (siehe Abb. 4)
- λ_f [W/mK]: Wärmeleitfähigkeit des mechanischen Befestigungselements (siehe ANM.)
- n_f [m⁻²]: Anzahl der mechanischen Befestigungselemente je m²
- A_f [m²]: Querschnitt eines mechanischen Befestigungselements
- λ_{ins} [W/mK]: Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht
- α [-]: Korrekturfaktor, wie folgt bestimmt:
 - $\alpha = 0,8$, wenn das mechanische Befestigungselement die Dämmschicht vollständig durchdringt
 - $\alpha = 0,8 \times d_1/d_{ins}$, wenn das Befestigungselement in die Dämmschicht eingelassen ist (siehe Abb. 4)
- R_1 [m²K/W]: Wärmedurchlasswiderstand (des Teils) der Dämmschicht, der/die von dem mechanischen Befestigungselement durchdrungen wird ($R_1 = d_1/\lambda_{ins}$)
- $R_{T,h}$ [m²K/W]: Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils, ohne Berücksichtigung irgendeiner Wärmebrücke, berechnet nach 2.1.

ANM.: Bei Mauerhaken darf der Korrekturterm ΔU_f in den nachstehenden Fällen nicht angewandt werden:

- Mauerhaken in ungedämmten Luftspalten;
- Mauerhaken mit einer Wärmeleitfähigkeit (λ_f) von weniger als 1 W/m.K (z. B. Kunststoff).

Standardwerte für Mauerhaken (bei Hohlsteinmauern):

Für Mauerhaken können immer die nachstehenden Standardwerte angesetzt werden:

- Anzahl der Mauerhaken pro m²: $n_f = 5 \text{ m}^{-2}$
- Querschnitt eines Mauerhakens: $A_f = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ ($\varnothing 4 \text{ mm}$)
- Wärmeleitfähigkeit des Mauerhakenwerkstoffs: $\lambda_f = 50 \text{ W/m.K}$ (Stahl)
- Länge des Mauerhakens = Dicke der Dämmschicht: $d_1 = d_{\text{ins}}$

7.2.4 Korrekturverfahren für Umkehrdächer

7.2.4.1 Allgemeine Bestimmungen

Bei Umkehrdächern mit einer Dämmschicht auf der wasserabweisenden Dachhaut ist ein Korrekturterm ΔU_r zu berechnen, um die Auswirkung von Regenwasser zu berücksichtigen, das zwischen die Dämmschicht und die Dachabdichtung strömt. Dieses Korrekturverfahren ist im Prinzip nur zur Berechnung des Wärmedurchgangs anzuwenden, nicht für die Ermittlung des Kühlbedarfs. Im Rahmen der GEE-Reglementierung besteht immer (auch für Überhitzungen und die Ermittlung des Kühlbedarfs) die Möglichkeit der Berechnung mit dem Korrekturwert. Das nachstehende Verfahren gilt nur für Dämmschichten aus extrudiertem Polystyrolschaum (XPS).

7.2.4.2 Korrektur für strömendes Wasser zwischen Dämmschicht und Dachabdichtung

Der Korrekturterm ΔU_r , der anzuwenden ist, um den zusätzlichen Wärmeverlust zu berücksichtigen, der durch Regenwasser verursacht wird, das durch die Dämmschicht auf das Umkehrdach strömt, wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \left[\frac{R_i}{R_r} \right]^2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [13]$$

dabei ist:

- p [mm/Tag]: Durchschnittliche Niederschlagsmenge während der Heizperiode
- f [-]: Entwässerungsfaktor, der den Anteil an Regen, der die Dachabdichtung erreicht, angibt
- x [W.Tag/m².K.mm]: Faktor für den gestiegenen Wärmeverlust infolge von Regenwasser, das auf die Dachabdichtung strömt
- R_i [m²K/W]: Korrekturwert des Wärmedurchlasswiderstands der Dämmschicht aus XPS (R_{XPS}), um eine Feuchtezunahme durch Diffusion zu berücksichtigen
- R_r [m²K/W]: Wärmedurchgangswiderstand des Daches, ohne Berücksichtigung irgendeiner Korrektur

Der Korrekturterm ΔU_r ist auf 2 Dezimalstellen zu runden. Werte unter 0,01 W/m²K sind zu vernachlässigen.

Standardwerte für Umkehrdächer:

Für Umkehrdächer mit XPS wurden die folgenden Parameter festgelegt:

- Niederschlagsmenge: $p = 2,0 \text{ mm/Tag}$
- $f \cdot x$ = Korrekturfaktor für den Wärmeverlust durch Niederschlag [W.Tag/m².K.mm]
 = 0,04 bei Platten mit geraden Rändern und offener Beschwerung wie Kies, Ziegel oder einer werkseitig aufgetragenen Deckschicht
 = 0,03 bei Platten mit Rillen und offener Beschwerung (wie Kies, Ziegel) oder einer werkseitig aufgetragenen Deckschicht
 = 0,02 bei begrünten Dächern oder Dachgärten (in Erwartung präziser Zahlen)
- R_i = korrigierter Wärmedurchlasswiderstand der XPS-Platten
 = $R_{\text{XPS}}/1,023$ (bei offener Beschwerung wie Kies, Ziegel oder einer werkseitig aufgetragenen Deckschicht)
 = $R_{\text{XPS}}/1,069$ (bei gerüntem Dach oder Dachgarten)

dabei wird R_{XPS} nach § 5.2 berechnet.

7.3 Korrektur des R-Werts bei einer Dämmung aus PUR-Ortschaum

Da eine genaue Dicke schwer zu bestimmen ist, ist der Wärmedurchlasswiderstand R_{PUR} einer Dämmschicht aus PUR-Ortschaum wie folgt zu berechnen:

$$R_{PUR} = a \cdot \left(\frac{d_{PUR}}{\lambda_{ui,PUR}} \right) \quad [m^2K/W] \quad [14]$$

dabei ist:

- R_{PUR} [m^2K/W]: der korrigierte Wärmedurchlasswiderstand der Dämmung aus in situ versprühtem PUR-Ortschaum
- d_{PUR} [m]: die Dicke der Dämmschicht aus PUR-Ortschaum
- $\lambda_{ui,PUR}$ [$W/m.K$]: die Wärmeleitfähigkeit (Rechenwert) der in situ versprühten PUR-Dämmung, bestimmt nach Anhang A
- a [-]: ein Korrekturterm von:
 - $a = 0,925$ (Anwendung für Fußboden);
 - $a = 0,85$ (für sonstige Anwendungen).

7.4 U-Wert eines keilförmigen Bauteils

7.4.1 Allgemeines Verfahren

Bei Bauteilen mit unregelmäßigen Formen und/oder keilförmigen Schichten (Abb. 5) verändert sich der Wärmedurchgangswiderstand über die Fläche des Bauteils, weshalb für das gesamte Bauteil ein mittlerer U-Wert bestimmt werden muss. Ein vereinfachtes Bestimmungsverfahren besteht darin den Widerstand der keilförmigen Schicht zu vernachlässigen (siehe § 3.4.4).

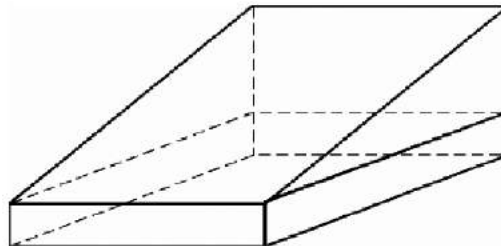
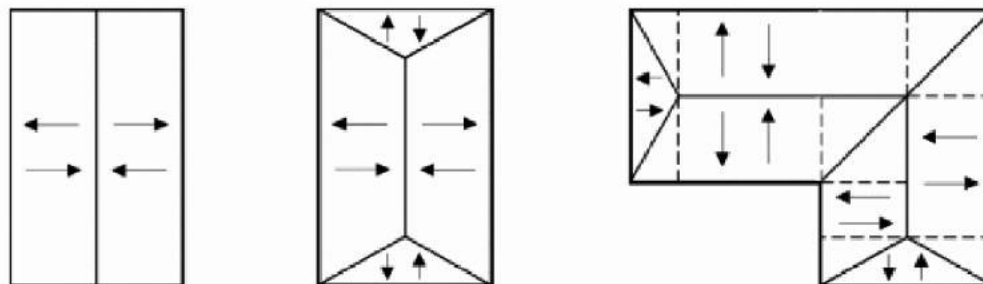


Abb. 5 – Bauteil mit einer geneigten Schicht

Der mittlere U-Wert solcher Bauteile ist wie folgt zu ermitteln:

- Zunächst ist das Bauteil in Teilstücke der drei gebräuchlich Formen und Neigungen nach § 3.4.2 zu zerlegen; wie Dächer in Teilstücke zerlegt werden können, zeigt Abb. 6;
- dann ist für jedes Teilstück (entsprechend einer gebräuchlichen Form und mit einer eigenen Fläche) ein U-Wert anhand der in § 3.4.3 angegebenen Formeln zu ermitteln;
- schließlich ist der U-Wert für das gesamte Bauteil aus den flächenanteilmäßig gewichteten U-Werten aller betroffenen Teilstücke zu ermitteln.

ANM.: Dieses Verfahren gilt für Bauteilschichten mit einer Neigung von nicht mehr als 5 %; andernfalls ist eine numerische Berechnung durchzuführen.



→ ↑ ← ↓ : Neigungsrichtung (alle Richtungen sind möglich)

----- : Unterteilung eines Daches in Teilstücke mit rechteckiger oder dreieckiger Grundfläche

Abb. 6 – Beispiele für die Unterteilung von Dächern in Teilstücke

7.4.2 Zerlegung in gebräuchliche Formen

Bauteile mit keilförmigen Teilen oder Schichten können in drei gebräuchliche Formen zerlegt werden, je nach Form der Projektion am Boden und Neigungsrichtung:

- ein Bauteil mit rechteckiger Fläche, bestehend aus einem Teil mit einer oder mehreren ebenen Bauteilschichten (mit einem Wärmedurchgangswiderstand R_0) und einem Teil mit einer keilförmigen Schicht (mit einer Dicke zwischen 0 und höchstens d_1);

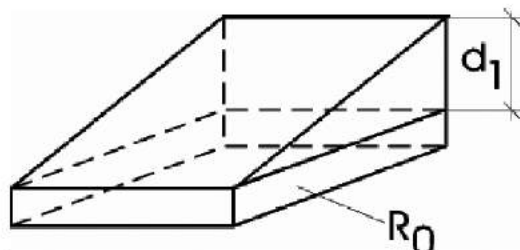
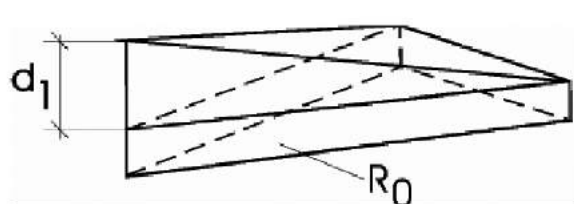
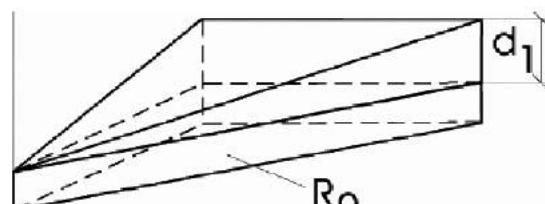


Abb. 7 – Rechteckiges Bauteil, bestehend aus einem keilförmigen Teil und einem (verbleibenden) ebenen Teil

- ein Bauteil mit dreieckiger Fläche, bestehend aus einem Teil mit einer oder mehreren ebenen Bauteilschichten (mit einem Wärmedurchgangswiderstand R_0) und einem Teil mit einer keilförmigen Schicht, deren dickste Stelle (d_1) (Abb. 8 - links) oder deren dünnste Stelle (0) (Abb. 8 - rechts) am Scheitelpunkt liegt.



(dickste Stelle am Scheitelpunkt)



(dünnste Stelle am Scheitelpunkt)

Abb. 8 – Bauteile mit dreieckiger Fläche, bestehend aus einem keilförmigen Teil und einem (verbleibenden) ebenen Teil

- dreieckiges Bauelement, bestehend aus einem Teil mit einer oder mehreren ebenen Bauschichten (mit einem Gesamtwärmewiderstand von R_0) und einem Teil aus einer geneigten Bauschicht, deren Spitzen jeweils über eine unterschiedliche Stärke verfügen (Stärke 0, Stärke d_1 für die mittlere Schicht und Stärke d_2 für die dickste Schicht) (Abb. 9).

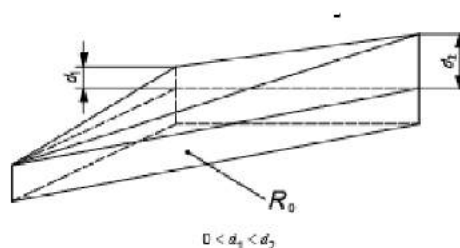


Abbildung 9 – Dreieckige Bauelemente, bestehend aus einem geneigten Teil (mit unterschiedlichen Stärken an jeder Spitze) und einem (verbleibenden) ebenen Teil

7.4.3 Bestimmung des U-Werts für jede gebräuchliche Form

Der U-Wert kann für jede der drei vorgenannten gebräuchlichen Formen anhand der folgenden Formeln berechnet werden:

- Bauteile mit rechteckiger Fläche:

$$U = \frac{1}{R_i} \cdot \ln \left[1 + \frac{R_1}{R_0} \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [15]$$

- Bauteile mit dreieckiger Fläche:

- dickste Stelle am Scheitelpunkt:

$$U = \frac{2}{R_1} \cdot \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_1} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - 1 \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [16]$$

- dünnste Stelle am Scheitelpunkt:

$$U = \frac{2}{R_1} \cdot \left[1 - \frac{R_0}{R_1} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [17]$$

dabei ist: R_1 [$\text{m}^2\text{K/W}$]: maximaler Wärmedurchlasswiderstand der keilförmigen Schicht (Dicke = 0 auf einer Seite mit einem Winkel), $= d_1/\lambda_1$, mit d_1 [m] = maximale Dicke des keilförmigen Teils der Bauteilschicht (siehe Abb. 7 und Abb. 8) und λ_1 [W/mK] = Wärmeleitfähigkeit dieser Schicht;

R_0 [$\text{m}^2\text{K/W}$]: Wärmedurchgangswiderstand des gesamten Bauteils, berechnet von Umgebung zu Umgebung (einschließlich R_{si} und R_{se}), jedoch ohne den Wärmedurchlasswiderstand des keilförmigen Teils der Schicht (R_1).

- für dreieckige Bauelemente mit unterschiedlichen Stärken an jeder Spitze:

$$U = 2 \cdot \left[\frac{R_0 \cdot R_1 \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - R_0 \cdot R_2 \cdot \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) + R_1 \cdot R_2 \cdot \ln \left(\frac{R_0 + R_2}{R_0 + R_1} \right)}{R_1 \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)} \right] [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [18]$$

wobei: R_1 ($\text{m}^2\text{K/W}$): der Wärmewiderstand des geneigten Teils der Bauschicht am Spitzenwinkel mit einer mittleren Stärke von d_1 [m], gleich $R_1 = d_1/\lambda_e$, in der λ_e [W/m.K] die Wärmeleitfähigkeit dieser Schicht darstellt;

R_2 ($\text{m}^2\text{K/W}$): der maximale Wärmewiderstand des geneigten Teils der Bauschicht mit einer maximalen Stärke d_2 [m], gleich $R_2 = d_2/\lambda_t$, in der λ_t [W/m.K] die Wärmeleitfähigkeit dieser Schicht darstellt;

R_0 ($\text{m}^2\text{K/W}$): der Gesamtwärmewiderstand des gesamten Elements, das von einer Umgebung zur anderen berechnet wird (einschl. R_{si} und R_{se}), wobei der Wärmewiderstand des geneigten Teils der Bauschicht (R_1 und/oder R_2) ausgeschlossen wird.

7.4.4 Vereinfachte Bestimmung

Bei der vereinfachten Bestimmung des U-Werts von keilförmigen Bauteilen wird der Wärmedurchlasswiderstand R_1 des keilförmigen Teils der keilförmigen Bauteilschicht vernachlässigt und nur der Term R_0 berücksichtigt.

8. Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern und Türen

8.1 Geometrische Merkmale von Fenstern und Türen

8.1.1 Fläche der Fenster- und Türeinteile

Die Fläche der Verglasung A_g oder die Fläche der opaken Füllung A_p eines Fensters oder einer Tür ist die kleinste sichtbare Fläche, von beiden Seiten betrachtet, wie in Abb. 10 dargestellt.

Die Fläche A_g der Verglasungen, die Fläche A_p der opaken Füllungen, die Fläche A_f der Fensterprofile und die Fläche A_r der Lüftungsgitter werden als sichtbare Fläche angesehen, die auf die Fläche² der Verglasungen oder opaken Füllungen projiziert werden.

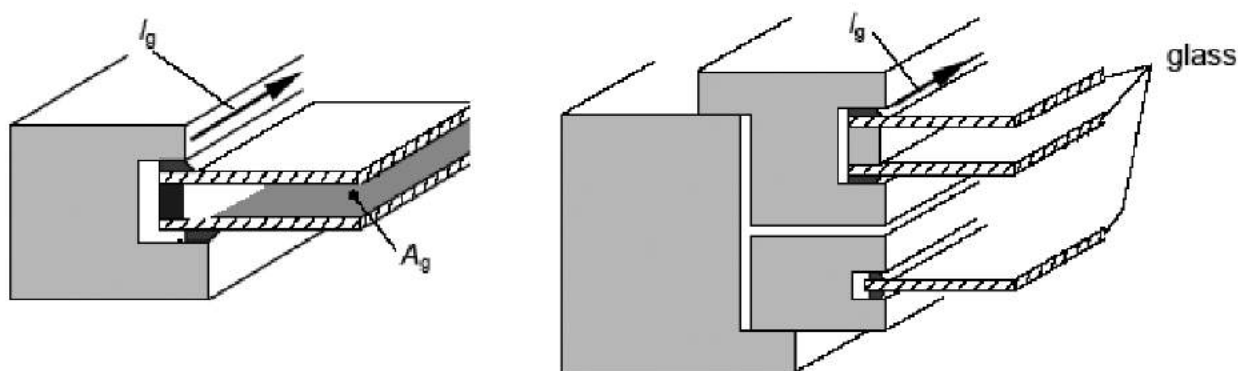


Abb. 10 – Darstellung der Fläche und des Umfangs der Verglasung

Falls die projizierten Flächen der Innen- und Außenseite unterschiedlich sind, muss die Grenze zwischen den verschiedenen Bauteilen gemäß folgender konventioneller Regeln bestimmt werden:

- die Grenze zwischen einem Fensterprofil und einem beliebigen anderen Bauteil muss so ausgewählt werden, dass die projizierte Fläche des Fensterprofils so groß wie möglich ist;
- die Grenze zwischen einem Lüftungsgitter und einer opaken Füllung oder einer Scheibe muss so ausgewählt werden, dass die projizierte Fläche des Lüftungsgitters so groß wie möglich ist;
- die Grenze zwischen einer opaken Füllung und einer Scheibe muss so ausgewählt werden, dass die projizierte Fläche der opaken Füllung so groß wie möglich ist.

Die auf diese Weise bestimmten Grenzen limitieren die konventionellen Flächen jedes Bauteils, wie in Abbildung 11 gezeigt.

Hinweis: Diese Regeln haben zur Folge, dass die Summe der individuellen Flächen jedes Bauteils der Gesamtfläche des Fensters entspricht.

² In (seltenen) Fällen muss die Projektion bei gewölbten Verglasungen oder opaken Füllungen auf der gewölbten Außenfläche der Scheibe oder Füllung stattfinden. Bei Bedarf wird die Projektionsfläche auf die tangentialen Räder ausgeweitet.

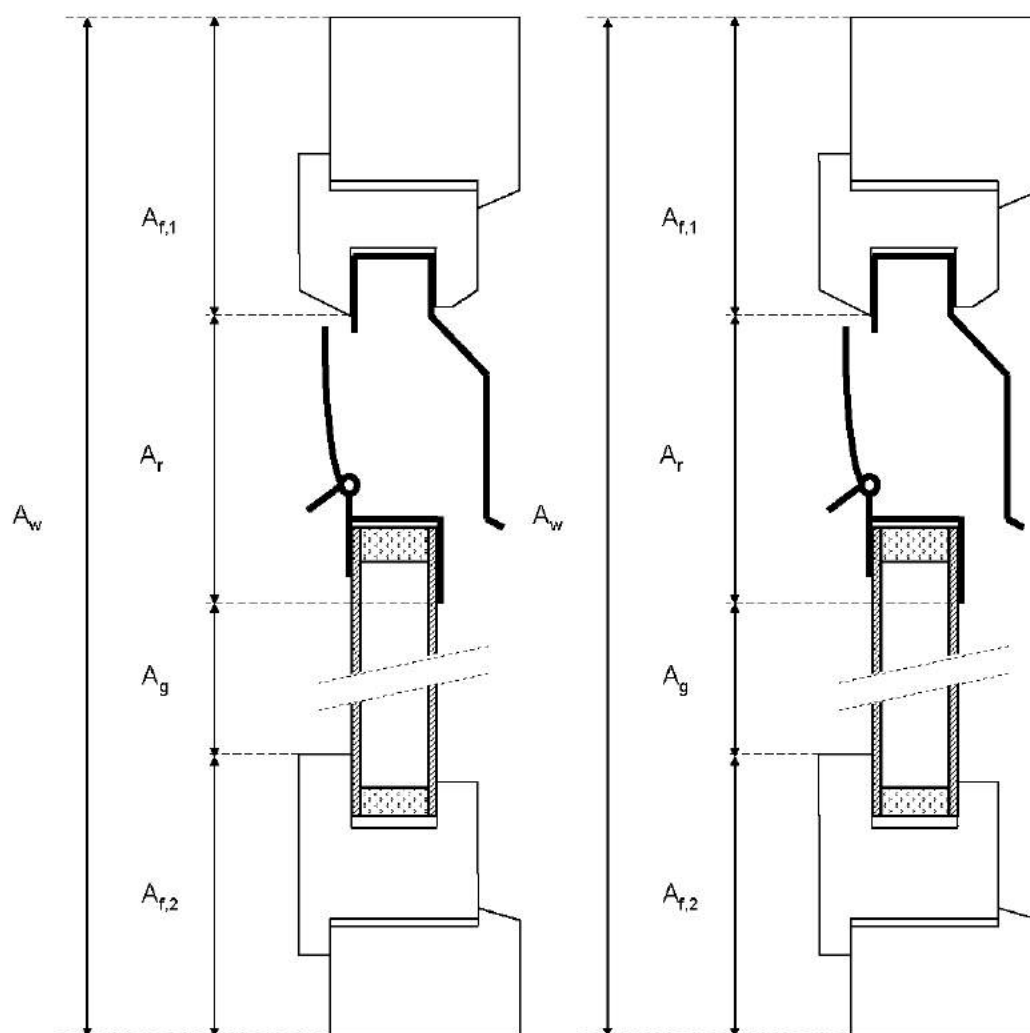


Abbildung 11 – Veranschaulichung der Bestimmung der Flächen der verschiedenen Bauteile

8.1.2 Sichtbarer Umfang der Verglasung

Der Gesamtumfang der Verglasung (l_g) oder des Paneels (l_p) ist die Summe der sichtbaren Umfänge der Glasscheiben (oder des Paneels) des Fensters oder der Tür. Wenn die Umfänge auf der Innen- und der Außenseite der Verglasung oder des Paneels unterschiedlich sind, ist der größere der beiden Werte anzuwenden (siehe Abb. 10).

8.1.3 Flächen der Rahmen

Die Definition der Flächen der Rahmen ist unten angegeben (siehe Abb. 12):

- $A_{r,i}$ [m^2]: Projektionsfläche des Rahmens auf der Innenseite (gleich Fläche der Projektion des Rahmens auf der Innenseite, einschließlich ggf. Flügelrahmen, parallel zur Verglasung);
- $A_{r,e}$ [m^2]: Projektionsfläche des Rahmens auf der Außenseite (gleich Fläche der Projektion des Rahmens auf der Außenseite, einschließlich ggf. Flügelrahmen, parallel zur Verglasung);
- A_r [m^2]: Fläche des Rahmens, bestimmt gemäß den in 4.1.1 beschriebenen Konventionen;
- $A_{d,i}$ [m^2]: abgewinkelte Fläche des Rahmens auf der Innenseite (gleich Fläche des Rahmens einschließlich ggf. Flügelrahmen, in Berührung mit der Innenluft – siehe Abb. 13);
- $A_{d,e}$ [m^2]: abgewinkelte Fläche des Rahmens auf der Außenseite (gleich Fläche des Rahmens einschließlich ggf. Flügelrahmen, in Berührung mit der Außenluft – siehe Abb. 13).

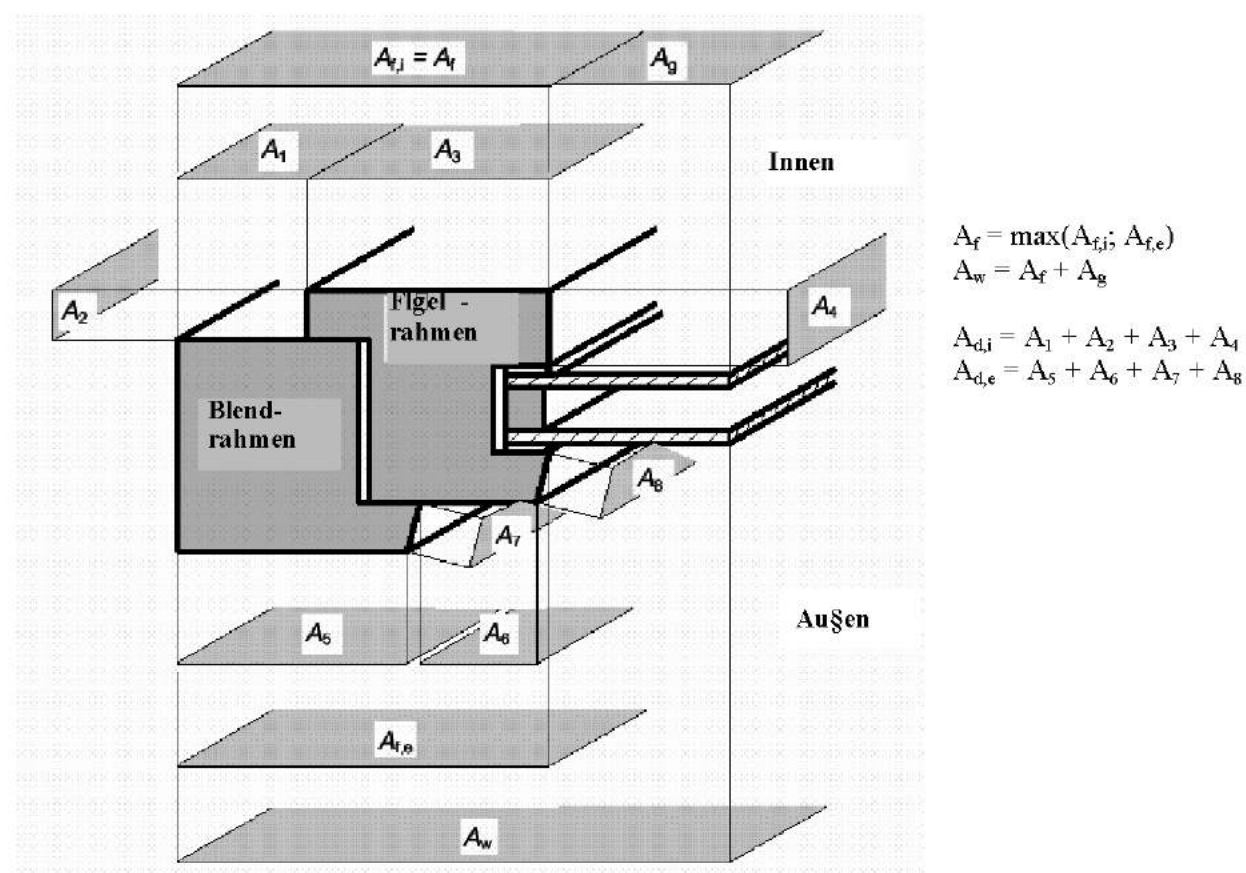


Abb. 12 – Darstellung der verschiedenen Flächen

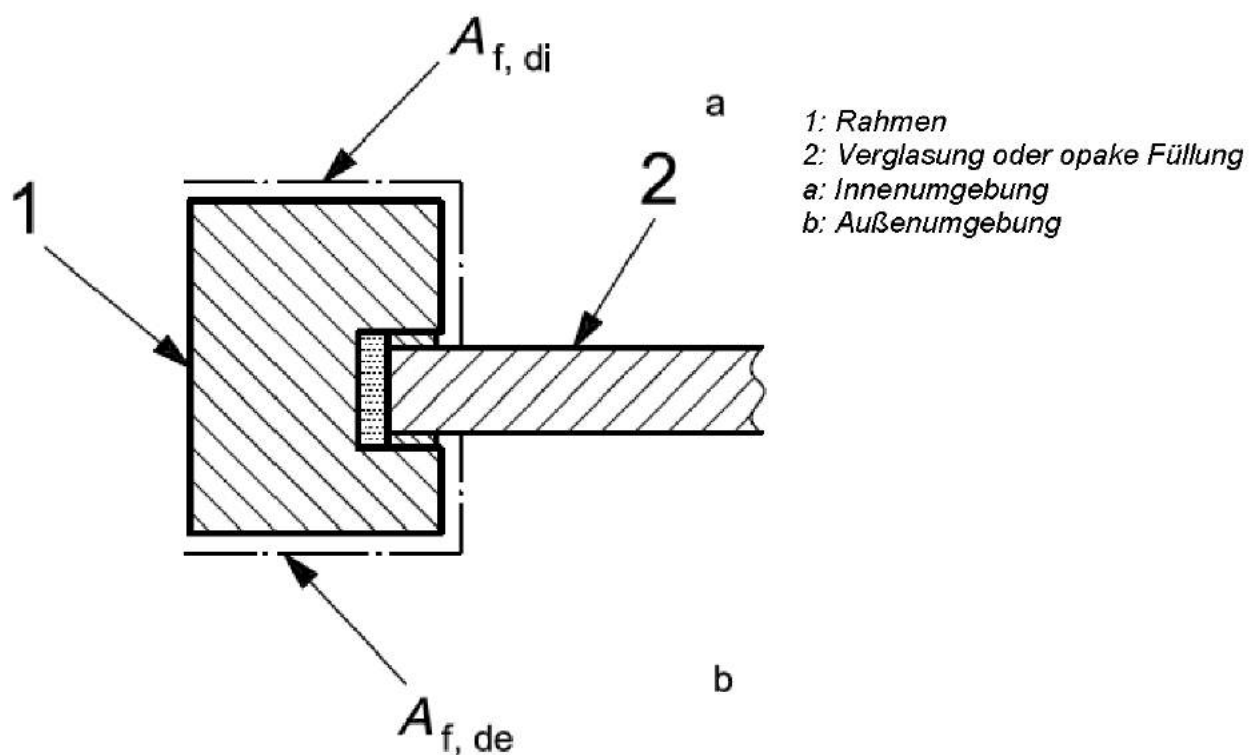


Abb. 13 – Abgewinkelte Flächen der Rahmen

8.1.4 Fläche des Fensters oder der Tür

Die Fläche eines Fensters (oder einer Tür) A_w (A_D) ist die Summe aus der Fläche A_r des Rahmens und der Fläche A_g der Verglasung (und/oder der Fläche des Paneels A_p und /oder der Fläche A_f der Belüftungsgitter) (siehe Abb. 12). Die Fläche des Rahmens A_r umfasst sowohl die Fläche des Blendrahmens als auch die Fläche des Flügelrahmens.

ANM.: Bei der Bestimmung des Transmissionswärmedurchgangskoeffizienten H_T sind auch die Wärmeverluste durch Transmission durch die Türen und Fenster auf der Grundlage der Flächen der Fensteröffnungen zu berechnen (siehe § 12.2.2.1).

8.2 Allgemeines Verfahren für die Bestimmung des U-Werts von Fenstern und Türen

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Fensters (U_w) oder einer Tür (U_D) ist für die Situation vor dem Einbau zu bestimmen ("nacktes" Fenster oder "nackte" Tür), nach einem der nachstehenden Verfahren:

- entweder anhand von Versuchen nach NBN EN ISO 12567-1 (oder NBN EN ISO 12567-2 für Dachfenster). Die Versuche sind an genau demselben Fenster (oder genau derselben Tür) mit den gleichen Maßen und den gleichen Bestandteilen durchzuführen.
- oder durch Berechnung, wie nachstehend beschrieben.

Falls die Profilkonstruktionen von Fenster und Lüftungsgitter in ein und demselben Element integriert sind, wird dieses einzigartige Bauteil als Lüftungsgitter angesehen.

8.3 Normalfall: U-Wert von Einfachfenstern

Einfachfenster³ oder gewöhnliche Türen bestehen aus einem Blendrahmen mit einer Verglasung und/oder einem oder mehreren Blendrahmen und einem oder mehreren Flügelrahmen, worin die Verglasung sitzt (siehe Abb. 14).

Es können mehrere Verglasungen Teil desselben Fensters (Tür) sein oder in demselben Blendrahmen sitzen. Opake Füllungen und Vorrichtungen für die Luftzufuhr können ebenfalls Teil eines Fensters oder einer Tür sein.

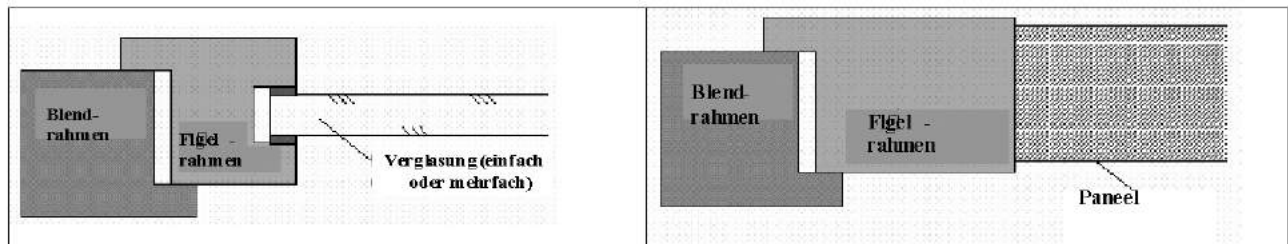


Abb. 14 – Darstellung eines Einfachfensters/einer Einfachtür

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Fensters (U_w) oder einer Tür (U_D) mit bekannten Abmessungen und verglasten Teilen und/oder opaken Füllungen und / oder des Belüftungsgitter ist im Allgemeinen nach folgender Formel zu bestimmen:

$$U_w(\text{ou } U_D) = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + l_g \Psi_g + l_p \Psi_p}{A_g + A_f + A_p} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [19]$$

³ "Einfach" ist hier im Gegensatz zu "Doppelfenster" und "Verbundfenster" zu verstehen (siehe nachfolgende Paragraphen).

dabei ist:

- U_g [W/m²K]: U-Wert der Verglasung, bestimmt nach § 5.1
- U_f [W/m²K]: U-Wert des Rahmens, bestimmt nach § 5.2
- U_p [W/m²K]: U-Wert der opaken Füllung, bestimmt nach § 5.3
- U_r [W/m²K]: U-Wert der Belüftungsgitter, berechnet nach § 5.4
- Ψ_g [W/mK]: längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient unter Berücksichtigung der kombinierten Effekte von Verglasung, Abstandhalter und Rahmen (siehe Abb. 15), bestimmt nach § 5.5
- Ψ_p [W/mK]: längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient unter Berücksichtigung der kombinierten Effekte von Füllung, Abstandhalter und Rahmen, bestimmt nach § 5.5

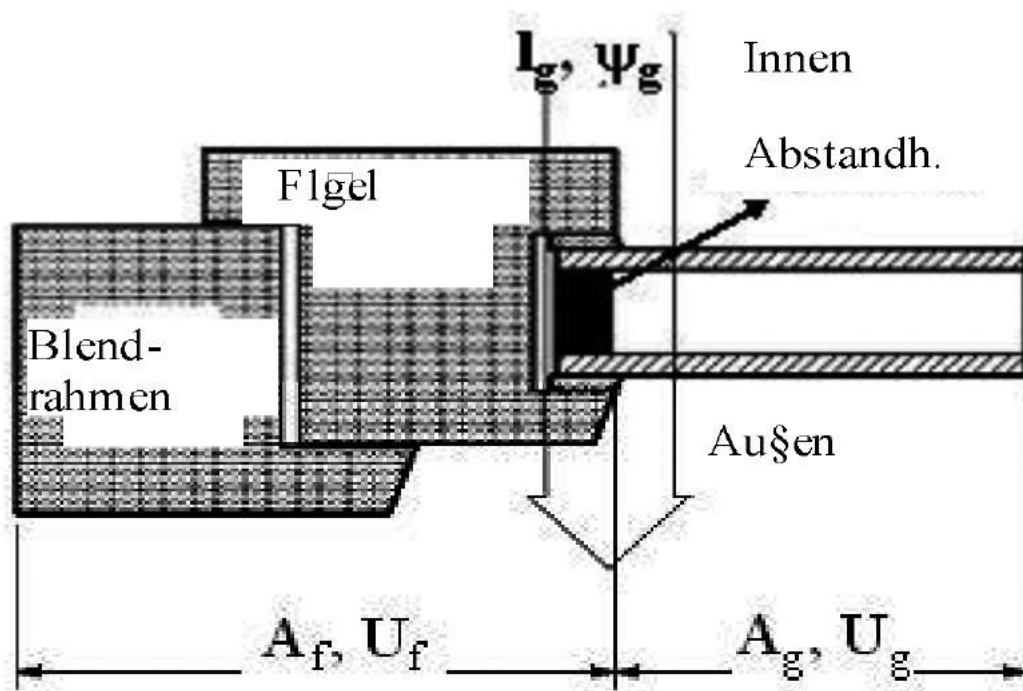


Abb. 15 – Effekt von Verglasung, Abstandhalter und Rahmen

- ANM. 1: Bei einer Einfachverglasung fällt der Term (l_g, Ψ_g) der Gleichung [19] weg, da es keinen Effekt des Abstandhalters gibt.
- ANM. 2: Die Gleichung [19] kann auch für Fenster aus mehreren Arten von Verglasungen, Rahmen oder Paneelen (mit einem eigenen U-Wert und einer eigenen Fläche) angewandt werden. Die den einbezogenen Komponenten entsprechenden Terme sind in diesem Fall im Zähler und im Nenner als Summen zu lesen. (z. B.: $\sum A_f U_f, \sum A_g$).
Wenn der Einfachheit halber für die Bestimmung von U_w (oder U_D) der einbezogenen Komponenten nur ein U-Wert angewandt wird, muss der ungünstigste (höchste) Wert verwendet werden. Der entsprechende Ψ -Wert muss dann auf der Grundlage dieses U-Werts bestimmt werden.
- ANM. 3: Unter Einhaltung der Bedingungen nach § 4.5 kann eine vereinfachte Bestimmung des U-Werts von Fenstern und Türen erfolgen.

8.4 Sonderfälle

8.4.1 Doppelfenster

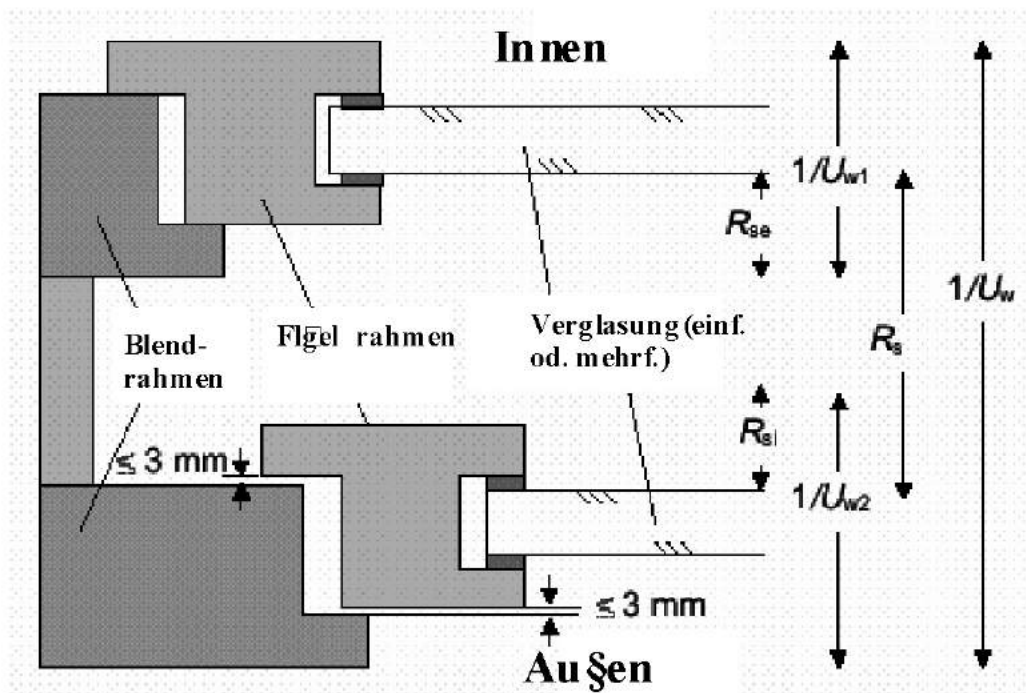


Abb. 16 – Darstellung eines Doppelfensters

Der Wert U_w eines Doppelfensters, d. h. eines Systems, bei dem zwei getrennte Fenster parallel zueinander in eine Öffnung eingesetzt werden (siehe Abb. 16), ist wie folgt zu bestimmen:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{w2}} - R_{si}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [20]$$

dabei ist:

- U_{w1} und U_{w2} [$\text{W/m}^2\text{K}$]: U-Wert des Innen- bzw. des Außenfensters, bestimmt nach Gleichung [19]
- R_{si} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: innerer Wärmeübergangswiderstand des Außenfensters, nach § 4.4.3 (oder siehe Abb. 1)
- R_{se} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: äußerer Wärmeübergangswiderstand des Innenfensters, nach § 4.4.3 (oder siehe Abb. 1)
- R_s [$\text{m}^2\text{K/W}$]: Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht zwischen beiden Fenstern, bestimmt nach § 4.4.4

ANM.: Das Verfahren ist nicht anwendbar, wenn die Luftschicht zwischen den beiden Fenstern von außen stark belüftet wird, wegen zu großer Luftspalte (undichte Stellen) an den Verbindungsstellen des Außenfensters. Die Luftspalte dürfen nicht größer sein als 3 mm (siehe Abb. 16), andernfalls ist das Berechnungsverfahren für stark belüftete Luftschichten anzuwenden (siehe § 5.4.2.4).

8.4.2 Verbundfenster

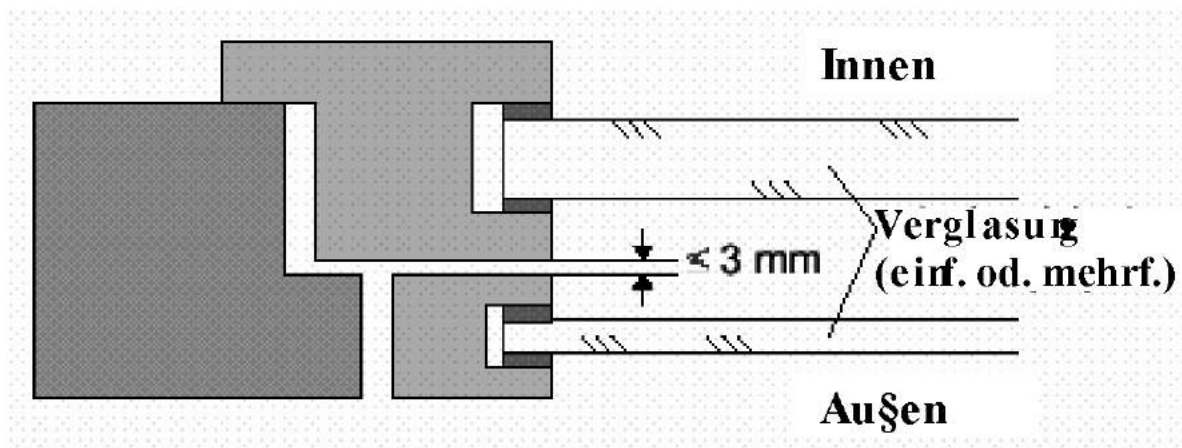


Abb. 17 – Darstellung eines Verbundfensters

Der Wert U_w eines Verbundfensters, bestehend aus einem Blendrahmen und zwei getrennten, parallelen Flügeln (mit Verglasung) (siehe Abb. 17), kann anhand der Gleichung [19] bestimmt werden, jedoch ist der kombinierte Wert U_g beider Verglasungen wie folgt zu bestimmen:

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{g2}} - R_{si}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [21]$$

dabei ist:

- U_{g1} und U_{g2} [$\text{W/m}^2\text{K}$]: U-Wert der Innen- bzw. der Außenverglasung, bestimmt nach § 5.1
- R_{si} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: innerer Wärmeübergangswiderstand des Außenfensters, bestimmt nach § 4.4.3 (oder siehe Tabelle 1)
- R_{se} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: äußerer Wärmeübergangswiderstand des Innenfensters, bestimmt nach § 4.4.3 (oder siehe Tabelle 1)
- R_s [$\text{m}^2\text{K/W}$]: Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht zwischen beiden Verglasungen, bestimmt nach § 4.4.4

ANM.: Wenn der Luftspalt zwischen den beiden Profilen der Flügelrahmen größer ist als 3 mm und keine Maßnahme ergriffen wurde, um eine exzessive Belüftung von außen zwischen den beiden Verglasungen zu verhindern, kann dieses Verfahren nicht angewandt werden. In diesem Fall muss das Berechnungsverfahren für eine stark belüftete Luftschicht angewandt werden (siehe § 5.4.2.4).

8.4.3 Wärmedurchgangswiderstände

Bei den üblichen Emissionsfaktoren ($\epsilon_n \geq 0,8$) auf Ebene der Innen- und Außenflächen von Fenstern, Türen oder Verglasungen, sind die Werte des inneren (R_{si}) und äußeren Wärmedurchgangswiderstands (R_{se}) Tabelle 1 zu entnehmen. Bei Verglasungen mit niedrigem Emissionsgrad der Innenfläche kann ein Wert R_{si} anhand des Berechnungsverfahrens nach der Norm NBN EN 673 bestimmt werden.

8.4.4 Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten in Doppelfenstern und in Verbundfenstern

Der Wärmedurchlasswiderstand R_s von ruhenden Luftschichten in Doppelfenstern (siehe § 4.4.1) und in Verbundfenstern (siehe § 4.4.2) ist gemäß der Norm NBN EN ISO 10077-1 (Anhang C) zu berechnen.

8.4.5 U-Wert von Fenstern mit geschlossenen Fensterläden

8.4.5.1 Allgemeine Bestimmungen

Geschlossene Fensterläden auf der Außenseite eines Fensters bilden einen zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand (ΔR), der der Summe aus dem Wärmedurchlasswiderstand des Fensterladens selbst (R_{sh}) und der Luftschicht zwischen Fensterladen und Fenster (R_s) entspricht (siehe Abb. 18).

Der Wärmedurchgangswiderstand U_{ws} der Kombination Fenster/geschlossener Fensterladen ist:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [22]$$

dabei ist:

- U_w [$\text{W/m}^2\text{K}$]: U-Wert des Fensters, berechnet nach Gleichung [19]
- ΔR [$\text{m}^2\text{K/W}$]: zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand, bestimmt nach § 4.4.5.2.

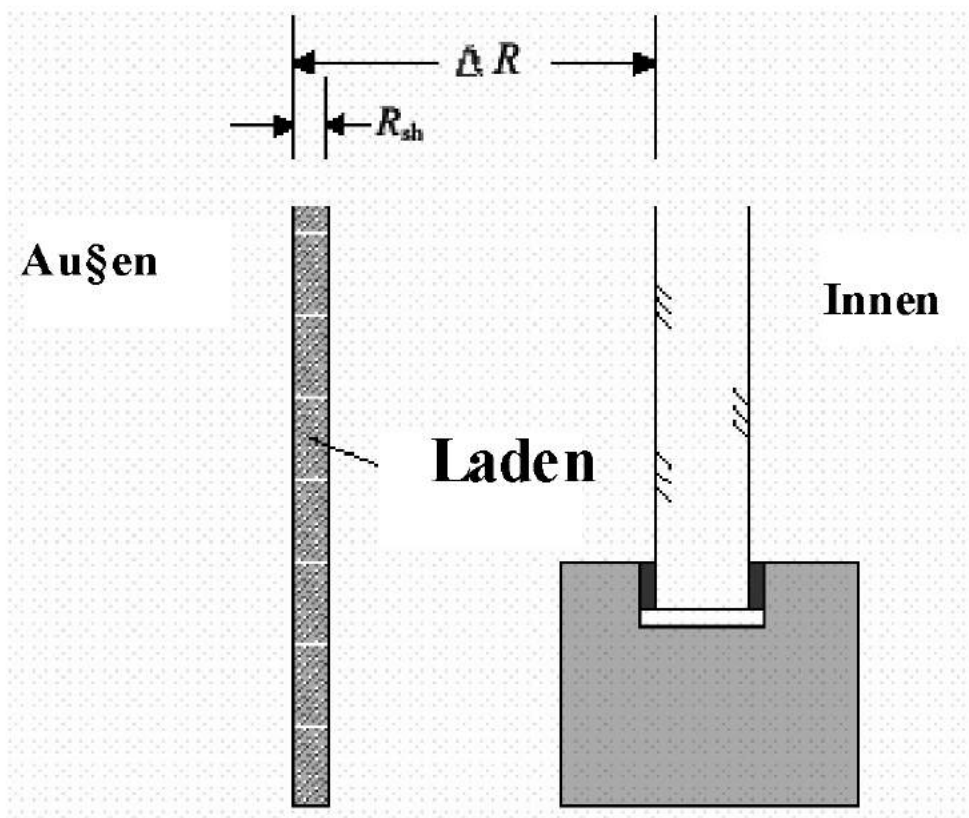


Abb. 18 – Fenster mit geschlossenem Fensterladen

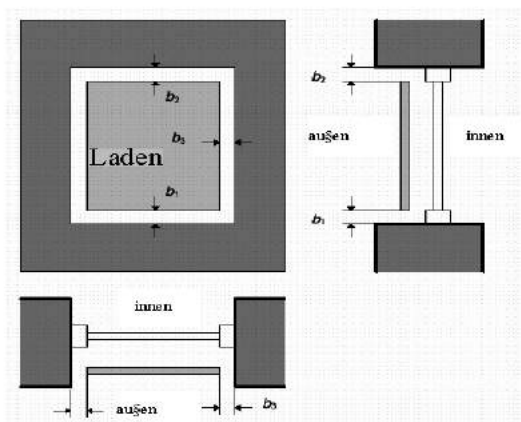
Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand wird bei der Berechnung des K- und des E-Grads gemäß den Regeln nach Anhang I, § 7.7.2 des GEE-Erlasses angesetzt. Bei der Bewertung der Anforderung U_{max} gemäß Anhang III des GEE-Erlasses wird der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand nicht berücksichtigt.

8.4.5.2 Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand bei geschlossenen Fensterläden

Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand ΔR , der bei der Bewertung des Effekts von geschlossenen Fensterläden berücksichtigt werden muss, ist in Abhängigkeit von der Luftdurchlässigkeit der verwendeten Fensterläden zu bestimmen.

Zu diesem Zweck wurden nach den Kriterien in Tabelle 3 und den Definitionen in Abb. 19 fünf Luftdurchlässigkeitsklassen festgelegt.

ANM.: Die entsprechenden Luftdurchlässigkeitsklassen und ΔR -Werte für Sonnenschutzvorrichtungen, Jalousien, Fensterläden, Storen, ... aus Stoff oder Lamellen oder aus sonstigen weichen oder flexiblen Materialien, die auf der Fensterinnen- oder -außenseite angebracht oder in eine Mehrfachverglasung eingesetzt werden können, sind in der Norm NBN EN 13125 angegeben. Diese Norm enthält auch die Berechnungsverfahren für Storen, die mit einer Schicht mit niedrigem Emissionsgrad beschichtet sind.



Die Kriterien in Zusammenhang mit der Luftdurchlässigkeit werden durch b_{sh} ausgedrückt, definiert als effektiver Gesamtpalt zwischen den Rändern des Fensterladens und den Rändern der Fensteröffnung:

$$b_{sh} = b_1 + b_2 + b_3 \text{ [mm]}$$

In diesem Fall sind b_1 , b_2 und b_3 der Mittelwert der Fensteröffnungen unterhalb, oberhalb und an der Seite des Fensterladens (siehe Abb. 19). Der Gesamtpalt des Fensterladens (b_3) wird nur einmal gezählt, da die Spalte oben und unten einen größeren Einfluss haben.

Abb. 19 – Eigenschaften von Luftöffnungen rund um geschlossene Fensterläden

Klasse	Luftdurchlässigkeit des geschlossenen Fensterladens	b_{sh} [mm]	ΔR [m ² K/W] ⁽¹⁾
1	Sehr hohe Luftdurchlässigkeit	$35 < b_{sh}$	0,08
2	Hohe Luftdurchlässigkeit (der Fensterladen selbst ist luftdicht)	$15 < b_{sh} \leq 35$	$0,25 \cdot R_{sh} + 0,09$
3	Mittlere Luftdurchlässigkeit (der Fensterladen selbst ist luftdicht)	$8 < b_{sh} \leq 15$	$0,55 \cdot R_{sh} + 0,11$
4	Geringe Luftdurchlässigkeit (der Fensterladen selbst ist luftdicht)	$b_{sh} \leq 8$	$0,80 \cdot R_{sh} + 0,14$
5	Sehr geringe Luftdurchlässigkeit (der Fensterladen selbst ist luftdicht)	$b_{sh} \leq 3$ und $b_1 + b_3 = 0$ oder $b_2 + b_3 = 0$ ⁽²⁾ ₍₃₎	$0,95 \cdot R_{sh} + 0,17$

- (1) Die ΔR -Werte gelten bei $R_{sh} < 0,3$ m²K/W (R_{sh} ist der Wärmedurchlasswiderstand des Fensterladens selbst, bestimmt nach Kapitel 6, wenn anwendbar, nach Norm NBN EN ISO 10211 bei einem Fensterladen mit inhomogener Zusammensetzung, oder nach NBN EN ISO 10077-2 bei einem Profilelement). Bei unbekannten Fensterläden ist der Wärmedurchlasswiderstand zu vernachlässigen: $R_{sh} = 0$ m²K/W.
- (2) Dieser Fall setzt die Existenz von Dichtungen rund um mindestens drei Seiten des Fensterladens und eine Spalte von höchstens 3 mm auf der verbleibenden Seite voraus.
- (3) Die Klasse 5 (sehr geringe Luftdurchlässigkeit) kann auch angenommen werden, wenn eine Messung des Luftdurchgangs durch den geschlossenen Fensterladen einen Luftdurchgang von nicht mehr 10 m³/h.m² ergibt (mit einer Druckdifferenz von 10 Pa – Versuch nach NBN EN 12835). Die zusätzlichen Bedingungen für die Klasse 5 sind in der Norm NBN EN 13125 nach Fensterladentyp angegeben.

Tabelle 3 – Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht und des geschlossenen Fensterladens

8.5 Vereinfachte Bestimmung des U-Werts von Fenstern

Bei einem Fensterkomplex mit demselben Typ Verglasung, Rahmen, opake Füllung und Lüftungsgitter in einem Gebäude, kann ein einziger mittlerer U_w -Wert ($U_{w,T}$) angenommen werden. Dieser Wert berücksichtigt ein festes Verhältnis zwischen der Fläche der Verglasung und der Fläche des Rahmens sowie einen festen Umfang der Scheibe oder der Übergangsbereiche.

Dieser $U_{w,T}$ -Wert ist, in Abhängigkeit von dem Verhältnis des U-Werts der Verglasung zu dem des Rahmens, anhand der Gleichung [23] oder [24] zu bestimmen:

	Teil Verglasung und Rahmen	Teil Lüftungsgitter	Teil Füllung	
$U_g \leq U_r$	$U_{w,T} = 0,7 \cdot U_g + 0,3 \cdot U_r + 3 \cdot \Psi_g$	$+ \Sigma A_r \cdot (U_r - U_g) / \Sigma A_{w,d}$	$+ \Sigma A_p \cdot (U_p - U_g) / \Sigma A_{w,d}$	[W/m ² K] [23]
$U_g > U_r$	$U_{w,T} = 0,8 \cdot U_g + 0,2 \cdot U_r + 3 \cdot \Psi_g$	$+ \Sigma A_r \cdot (U_r - U_r) / \Sigma A_{w,d}$	$+ \Sigma A_p \cdot (U_p - U_r) / \Sigma A_{w,d}$	[W/m ² K] [24]

dabei ist:

- U_g [W/m²K]: Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung (siehe § 5.1)
- U_r [W/m²K]: Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens (siehe § 5.2)
- Ψ_g [W/m.K]: linearer Wärmedurchgangskoeffizient (siehe § 5.5)
- U_r [W/m²K]: Wärmedurchgangskoeffizient des Lüftungsgitters (siehe § 5.4)
- ΣA_r [m²]: Gesamtfläche der vorhandenen Lüftungsgitter
- U_p [W/m²K]: Wärmedurchgangskoeffizient des Panels (siehe § 5.3)
- ΣA_p [m²]: Gesamtfläche der vorhandenen Füllungen
- $\Sigma A_{w,d}$ [m²]: Gesamtfläche der Fenster (bestimmt auf der Grundlage der Flächen der Fensteröffnungen)

ANM. 1: Es können mehrere Fensterkomplexe in dem gleichen Gebäude bestimmt werden. Wenn für einen der ausgewählten Komplexe zur Bestimmung von $U_{w,T}$ o. g. ein vereinfachtes Verfahren angewandt werden muss, dann muss diese Verfahren systematisch auch für alle anderen Fensterkomplexe angewandt werden.

ANM. 2: Wenn bestimmte Komponenten bei der Bestimmung von $U_{w,T}$ leichte Maßabweichungen aufweisen (zum Beispiel unterschiedliche Breite der Rahmen), kann für diese Komponenten der Einfachheit halber nur ein U-Wert angesetzt werden, sofern der ungünstigste (höchste) Wert berücksichtigt wird. Der entsprechende ψ -Wert ist dann auf der Grundlage des U-Werts zu bestimmen.

8.6 Standardwerte für opake Türen

Bei Türen mit einfachen geometrischen Eigenschaften, die aus einem Werkstoff mit einem Wärmeleitfähigkeitsverhältnis (λ -Werte) von nicht mehr als 1:5 bestehen (ausgenommen Nägel und Schrauben), ist der U_p -Wert (des Türblatts) nach Gleichung [8] zu bestimmen, wobei der entsprechende R_T -Wert nach Gleichung [3] oder Gleichung [4] zu bestimmen ist.

Bei opaken Türen kann die Bestimmung immer mit dem Standardwert in Tabelle 4 erfolgen.

	Ungedämmte Türen		Gedämmte Türen ⁽¹⁾	
	aus Metall	sonstige Werkstoffe	aus Metall	sonstige Werkstoffe
U_D [W/m ² K]	6,0	4,0	5,0	3,0

(1) mindestens 70 % der Gesamtfläche der Tür sind mit einer Dämmung versehen, mit $R_{min} = 0,4$ m²K/W

Tabelle 4 – Standardwert für U_D bei opaken Türen

9. Wärmedurchgangskoeffizient von Fenster- und Türkomponenten

9.1 Wärmedurchgangskoeffizient von Verglasungen

Der auf den Mittenbereich einer Verglasung bezogene Wärmedurchgangskoeffizient (U_g) ist nach der Norm NBN EN 673, NBN EN 674 oder NBN EN 675 zu bestimmen.

9.2 Wärmedurchgangskoeffizient von Rahmen

Falls der Wert U_f eines bestimmten Fensterprofils nicht verfügbar ist, der maximale Wert U_f der Familie, der das Profil angehört, jedoch bekannt ist, kann für dieses Profil der maximale Wert U_f verwendet werden.

9.2.1 Allgemeine Bestimmung

Der Wärmedurchgangskoeffizient von Rahmen (U_f) kann bestimmt werden anhand:

- von Versuchen nach NBN EN 12412-2;
- von numerischen Berechnungen nach NBN EN ISO 10077-2;
- der vereinfachten Werte nach den Tabellen in Anhang D.

9.2.2 Bestimmung des Werts U_f von Dachfensterrahmen

Bei Dachfenstern ist der Rahmen-U-Wert (U_f) wie folgt zu bestimmen:

- durch Versuch nach NBN EN 12412-2;
- durch numerische Berechnung nach NBN EN ISO 10077-2;
- anhand der vereinfachten Werte nach den Tabellen in Anhang D, sofern die nachstehende Umrechnungsbedingung angewandt wird.

Bei Dachfenstern können die in den Tabellen in Anhang D angegebenen Rechenwerte für U_f nicht direkt übernommen werden, weil diese Tabellen nur für vertikal eingebaute Rahmen gelten (mit $R_{si} = 0,13$). Bei horizontal oder geneigt (in einem Winkel von 0 bis 60°) eingebauten Dachfenstern ist $R_{si} = 0,10$ (nach Tabelle 1) und es kann vereinfacht die folgende Korrektur angewandt werden:

$$U_{f,r} = \frac{1}{\frac{1}{U_f} - 0,03} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [25]$$

dabei ist:

- $U_{f,r}$ [W/m²K]: korrigierter Dachfensterrahmen-U-Wert U_f
- U_f [W/m²K]: vereinfachter Rahmen-U-Wert U_f , bestimmt anhand der Werte in den Tabellen in Anhang D

ANM.: Die nach Gleichung [25] bestimmten $U_{f,r}$ -Werte liegen um 5 bis 18 % über den U_f -Werten eines vertikal eingebauten Rahmens.

9.3 Wärmedurchgangskoeffizient von opaken Füllungen (U_p)

Wenn die opaken Füllungen aus parallelen Schichten bestehen (z. B. Platten aus Glas, Kunststoff oder Metall, zwischen denen sich ein Dämmstoff befindet), dann ist der auf den Mittenbereich des Paneels bezogene Wärmedurchgangskoeffizient (U_p) nach Kapitel 2 und 3 zu berechnen.

Bei komplexeren Geometrien ist der Wärmedurchgangskoeffizient nach der Norm NBN EN ISO 10211 zu bestimmen.

9.4 Wärmedurchgangskoeffizient von Lüftungsgittern (U_l)

In ein Fenster oder rund um einen Rahmen (d. h. darüber, darunter oder daneben) eingebaute Lüftungsgitter sind bei der Bestimmung des Fenster-U-Werts U_w in wärmetechnischer und baulicher Hinsicht als Teil des Fensters gemäß 4.3 und 4.5 zu betrachten.

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines (schließbaren) Lüftungsgitters (U_f) ist wie folgt zu bestimmen:

- durch Versuch bei geschlossenem Lüftungsgitter nach NBN EN 12412-2;
- durch Berechnung nach NBN EN ISO 10077-2. Bei der Bestimmung des U-Wertes, wird das Belüftungsgitter durch Übereinkunft in geschlossener Position betrachtet.

Standardwert ist:

$$U_f = 6,0 \text{ W/m}^2\text{K (alle Lüftungsgitter)}$$

Die dem U_f -Wert entsprechende Fläche des Lüftungsgitters (A_f) ist zu bestimmen als die sichtbare Projektionsfläche eines rund um das Fenster eingebauten Lüftungsgitters. Wie oben angegeben, ist die Fläche des Lüftungsgitters A_f Teil der Gesamtfläche des Fensters A_w , auch wenn das Lüftungsgitter rund um das Fenster eingebaut ist.

9.5 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (Ψ -Wert)

Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Ψ -Werte) der Verbindungen zwischen Rahmen, Pfosten, Verglasungen, Füllungen und Lüftungsgittern können anhand einer numerischen Berechnung nach der Norm NBN EN ISO 10077-2 oder anhand eines Versuchs nach der Norm NBN EN 12412-2 präzise bestimmt werden.

Für den Verbindungsbereich zwischen Verglasung und Rahmen können, wenn keine genauen Eigenschaften bekannt sind, für die Ψ -Werte die Standardwerte in den Tabellen in Anhang E verwendet werden.

Bei opaken Füllungen, die an den Paneelrändern durch einen weniger dämmenden Abstandhalter thermisch verbunden sind, muss der Ψ -Wert genau so berechnet werden, wie bei einer Verglasung. Andernfalls kann Ψ_p als $= 0$ angenommen werden.

10. Wärmedurchgangskoeffizient von Vorhangfassaden

10.1 Allgemeine Bestimmungen

Eine Vorhangfassade, auch vorgehängte Wand genannt, ist eine Verbindung aus Verglasungen, Rahmen und opaken Füllungen, die in einen getrennten Rahmen eingebaut sind, so dass sie ein Fassadenelement bilden. Ein Beispiel für eine solche Struktur ist in Abb. 20 dargestellt.

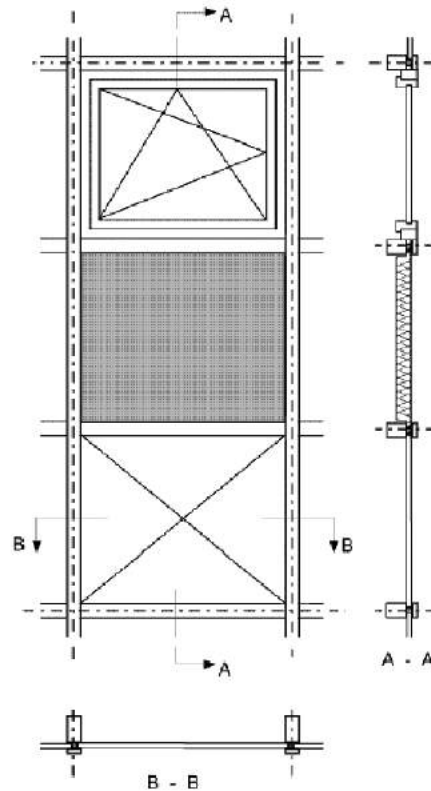


Abb. 20 – Element einer Vorhangfassade (vorgehängte Wand)

Wegen der möglichen Verwendung einer Vielzahl von Werkstoffen, die auf unterschiedliche Weise miteinander verbunden sein können, ist das Risiko des Bestehens von Wärmebrücken in Vorhangfassaden sehr groß. Bei der Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten dieser Fassaden, ist daher auch der Einfluss von Wärmebrücken zu berücksichtigen, die nicht nur in den Verbindungsbereichen zwischen Verglasungen, Füllungen und Rahmen entstehen sondern auch in den Verbindungsbereichen zwischen den Fassadenelementen untereinander. Die Berechnungsverfahren sind in den nachstehenden Kapiteln erläutert.

10.2 Konstruktive Eigenschaften von Vorhangfassaden

10.2.1 Komponenten und Randbedingungen

Die Komponenten eines Vorhangfassadenelements sind in Abb. 21 schematisch dargestellt.

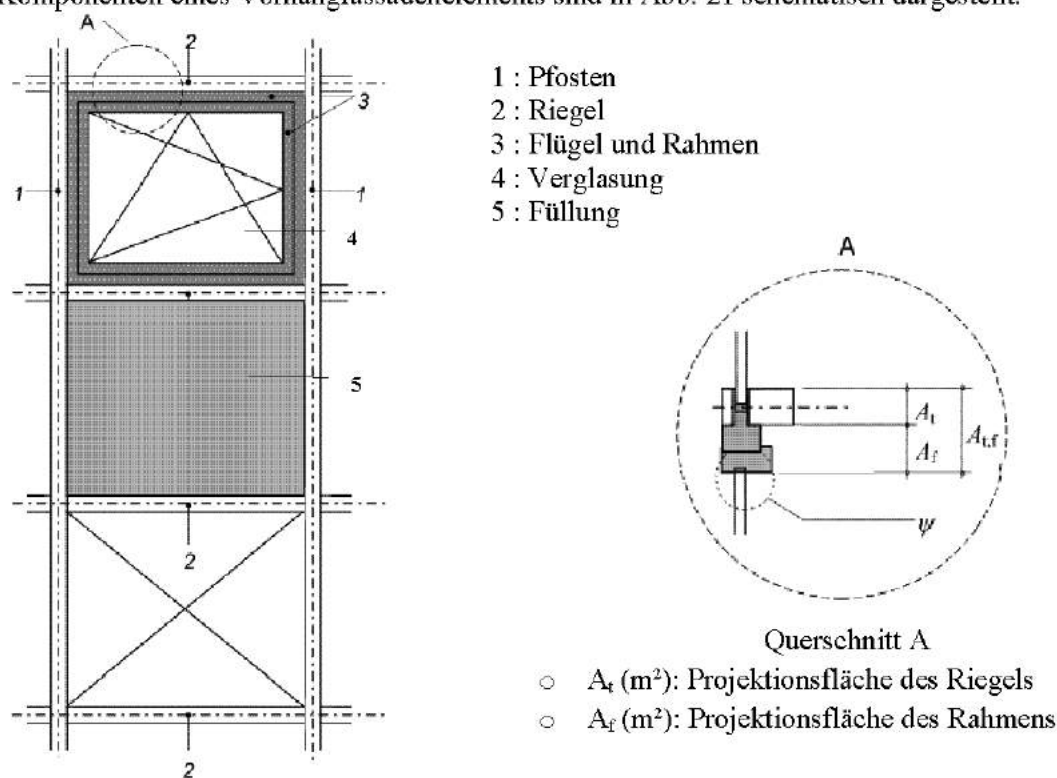


Abb. 21 – Komponenten einer Vorhangfassade

Die Abgrenzung der Trennlinien zwischen den verschiedenen Elementen einer Vorhangfassade hängt vom Typ dieser Fassade ab, wie in Abb. 22 dargestellt.

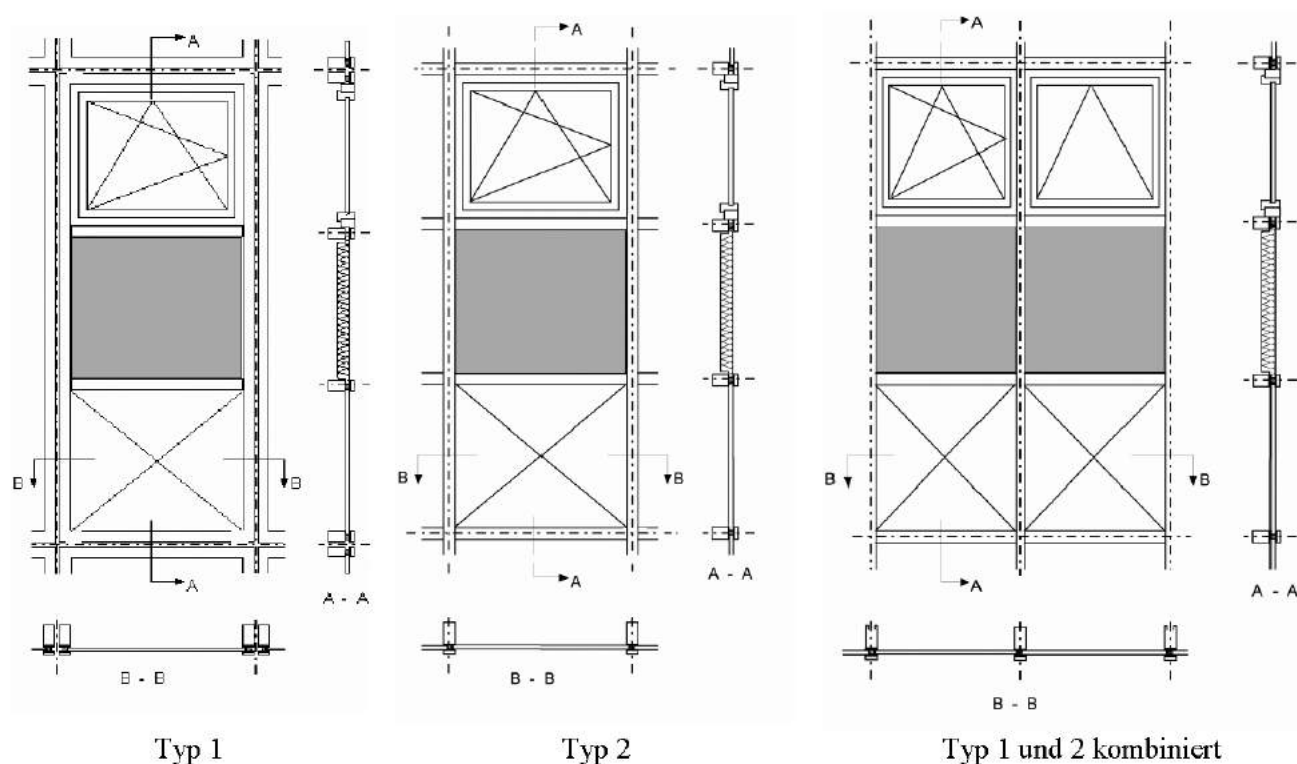


Abb. 22 – Abgrenzung der Flächen von Vorhangfassadenelementen

10.2.2 Bestimmung von Flächen und Umfang

Für jedes Element einer Vorhangfassade, sind die für die Berechnung erforderlichen Flächen aller Komponenten (Verglasung, Flügel, Rahmen, Paneel, Riegel und Pfosten) als die Projektionsflächen zu bestimmen, wie in Abb. 23 schematisch dargestellt. Diese Flächen können unterschiedlich sein, je nachdem, ob sie von der Außen- oder von der Innenseite bestimmt werden. Aus diesem Grund gelten die folgenden Vereinbarungen:

- Bei Verglasungen und opaken Füllungen muss die kleinere der von beiden Seiten gesehenen Flächen verwendet werden.
- Bei allen anderen Komponenten (Rahmen, Pfosten und Riegel) muss für die Berechnung die größere der von beiden Seiten gesehenen Flächen verwendet werden.

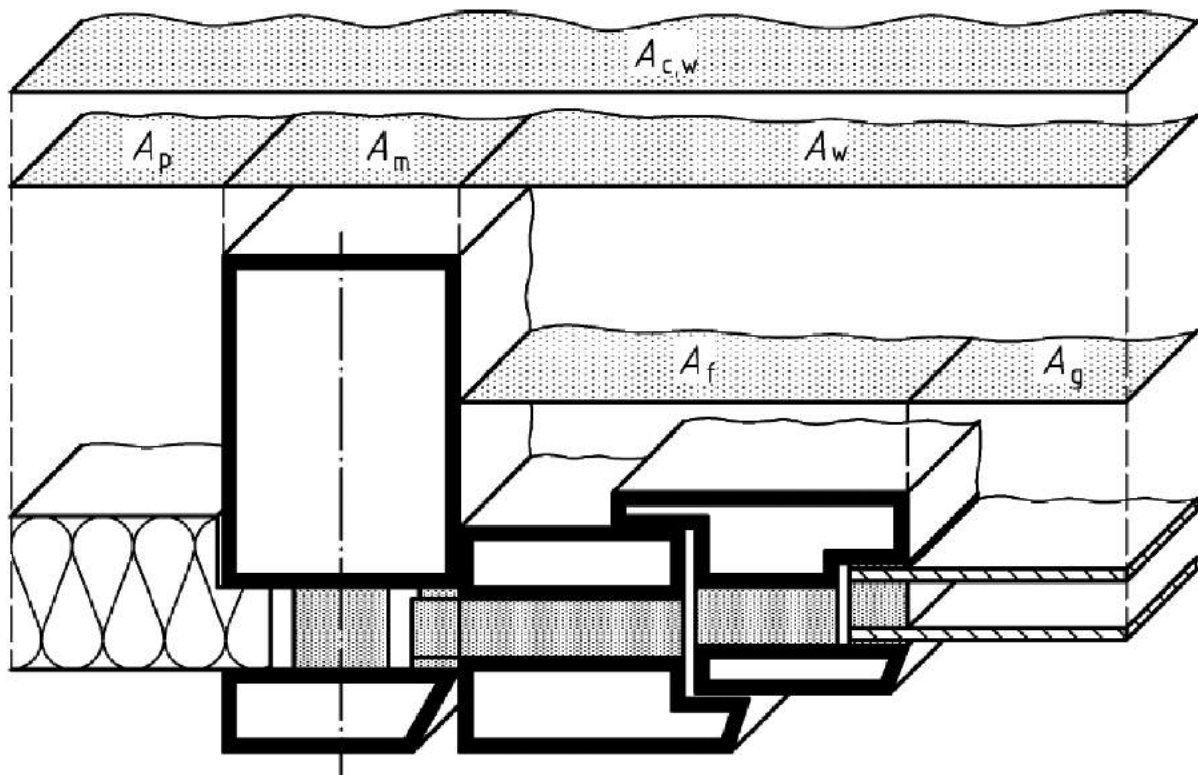


Abb. 23 – Darstellung der Projektionsflächen einer Vorhangfassade

Wenn der Umfang einer Verglasung l_g oder einer opaken Füllung l_p auf jeder Seite unterschiedlich ist, dann ist der Umfang definiert durch die Schnittstelle zwischen der Fläche (siehe oben) der Verglasung und dem Rahmen (siehe Abb. 24).

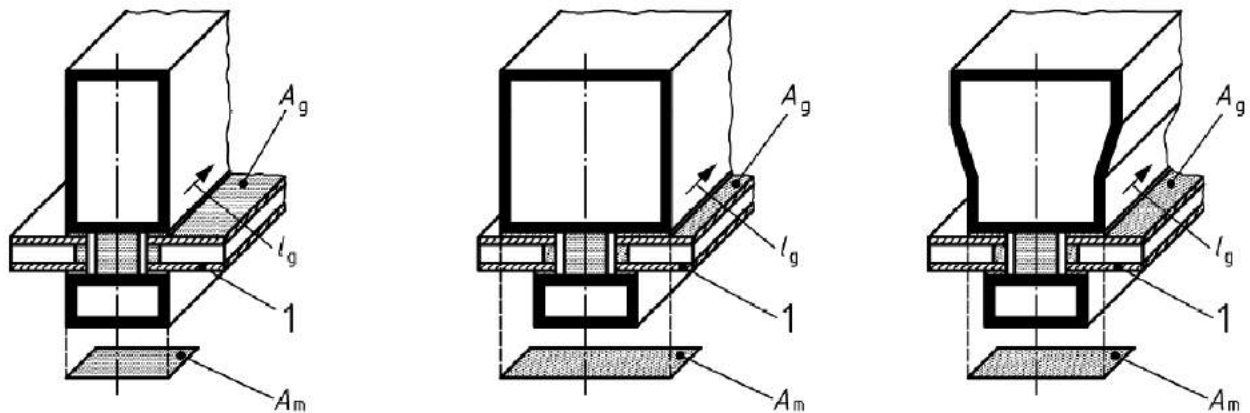


Abb. 24 – Schematische Darstellung der Fläche und des Umfangs der Verglasung (1: Glas)

10.2.3 Regeln für die Modellierung

Bei der Modellierung oder der Unterteilung einer Vorhangfassade sind die Schnittebenen so auszuwählen, dass sie die Fassadenteile mit einem eigenen U-Wert abgrenzen. In diesem Fall setzt sich der U-Wert der kompletten Vorhangfassade (U_{cw}) aus den flächenanteilmäßig gewichteten U-Werten aller Fassadenteile zusammen. Die thermischen Eigenschaften jedes Fassadenteils können präzise bestimmt werden durch Messung oder numerische Berechnung, oder vereinfacht anhand von tabellierten Werten oder Graphiken.

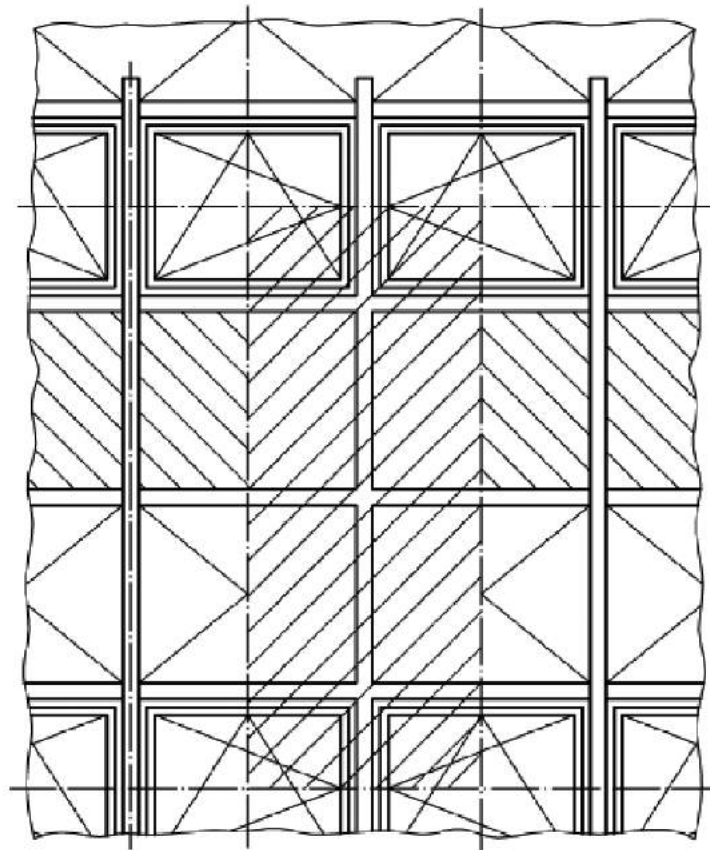


Abb. 25 – Modellierung eines kompletten Vorhangfassadenelements

Vorhangfassadenelemente sind im Allgemeinen ein komplexer Verbund, dessen Mittelteile häufig durch Komponenten mit hoher Wärmeleitfähigkeit miteinander verbunden sind. Auf diese Weise können große Wärmebrücken entstehen, die den Wärmeverlust erheblich erhöhen können. Bei der Modellierung der

Fassadenelemente sind die Schnittebenen und die Randbedingungen daher sorgfältig auszuwählen. Abb. 25 zeigt z. B., dass die Schnittebenen des Modells auf den Symmetrieebenen (Mitte der Verglasung, ...) oder an den Stellen liegen, an denen die Randeffekte mit möglicher Auswirkung auf den Wärmestrom am geringsten sind oder vernachlässigt werden können.

10.3 Genaue Bestimmung des U_{cw} -Werts eines Vorhangfassadenelements

10.3.1 Prinzip des numerischen Berechnungsverfahrens

Die präzise Bestimmung des U_{cw} -Werts kann erfolgen:

- entweder anhand von Versuchen nach der Norm NBN EN ISO 12567-1;
- oder durch genaue numerische Berechnungen nach NBN EN ISO 10211 und NBN EN ISO 10077-2, wobei sich U_{cw} aus den gewichteten U-Werten der einzelnen Teilkomponenten des Fassadenelements zusammensetzt, unter Berücksichtigung aller Randeffekte (Wärmebrücken), die in den Verbindungselementen zwischen den Teilkomponenten entstehen:
 - auf den Mittenbereich der Verglasung bezogener U-Wert (U_g), wie vom Hersteller angegeben und nach Norm NBN EN 673, NBN EN 674 oder NBN EN 675 bestimmt;
 - auf den Mittenbereich der opaken Füllungen bezogener U-Wert (U_p), zu bestimmen gemäß Kapitel 6 und 7;
 - Wärmestrom in den Verbindungselementen zwischen den Komponenten, einschließlich der Randeffekte in Zusammenhang mit Wärmebrücken, bestimmt gemäß den in § 6.3.2 erläuterten Regeln.

ANM.: Die präzise Berechnungsmethode kann uneingeschränkt für alle Vorhangfassadentypen angewandt werden.

10.3.2 Bestimmung des Wärmeverluststroms durch Verbindungselemente

10.3.2.1 Allgemeine Bestimmungen

Die Verbindungen zwischen Teilkomponenten (Verglasungen, opake Füllungen) führen zu zusätzlichen Wärmeverlusten durch Randeffekte (Wärmebrücken). Diese zusätzlichen Wärmeverluste sind zu bestimmen:

- entweder anhand von Versuchen nach der Norm NBN EN ISO 12567-1;
- oder durch numerische 2D- und/oder 3D-Berechnungen nach der Norm NBN EN ISO 10077-2 und/oder NBN EN ISO 10211.

Bei Anwendung des numerischen Berechnungsverfahrens, kann der Gesamtwärmestrom durch die Verbindungselemente (Φ_{TJ}), unter Berücksichtigung der Randeffekte, auf zweierlei Arten bestimmt werden:

- entweder das Verbindungselement zwischen Verglasung und opaker Füllung wird als ein getrenntes Fassadenelement betrachtet (mit eigener Fläche und U-Wert); in diesem Fall ist anhand des Berechnungsverfahrens nach § 6.3.2.2 ein flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient U_{TJ} zu bestimmen;
- oder das Verbindungselement zwischen Verglasung und Füllung wird als eine lineare Wärmebrücke betrachtet (mit eigener Länge und Ψ -Wert); in diesem Fall ist anhand des Berechnungsverfahrens nach § 6.3.2.3 der lineare Wärmedurchgangskoeffizient Ψ_{TJ} zu bestimmen.

Die Bestimmung von U_{cw} schließlich, hat nach den Formeln in § 6.3.3 zu erfolgen.

10.3.2.2 Bestimmung von U_{TJ} (Verbindung betrachtet als Fassadenelement)

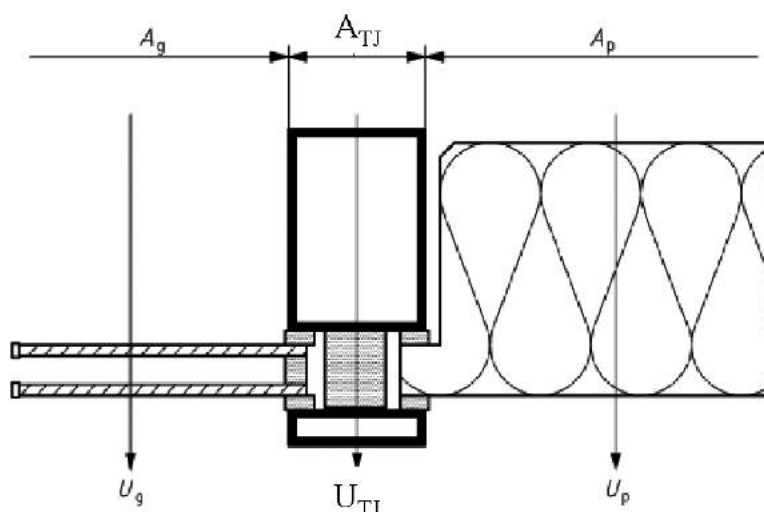


Abb. 26 – Als ein Fassadenelement betrachtete Verbindung mit eigener Fläche

In diesem Fall findet das Berechnungsmodell nach Abb. 26 Anwendung. Die Flächen (A_g und A_p) und die auf den Mittenbereich bezogenen U-Werte (U_g und U_p) der Verglasungen und der Paneele sind bekannt. Die Verbindung zwischen Verglasung und Füllung wird als ein Fassadenelement mit einer bekannten eigenen Fläche (A_{TJ}) und einem unbekannten eigenen U-Wert (U_{TJ} , zu ermitteln) betrachtet. Auf der Grundlage des Gesamtwärmeverluststroms (Φ_{tot}) durch das komplette Modell (numerisch berechnet), ergibt sich U_{TJ} aus:

$$U_{TJ} = \frac{\Phi_{tot} - ((U_g \cdot A_g + U_p \cdot A_p) \cdot \Delta T)}{A_{TJ} \cdot \Delta T} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [26]$$

Dabei ist: ΔT [K]: Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenumgebung

- ANM. 1: U_{TJ} bestimmt den Wärmestrom durch die Verbindung, unter Berücksichtigung alle Randeﬀekte (Wechselwirkung zwischen Rahmen und Verglasung oder opaker Füllung) des betreffenden Modells. Dieser Wert U_{TJ} ist demzufolge nicht gleich dem Rahmen-U-Wert U_g , der sich nur auf den Wärmestrom durch das Verbindungsprofil bezieht, ohne Berücksichtigung der Randeﬀekte.
- ANM. 2: Bei der numerischen Berechnung ist die Fläche A_{TJ} als die größte der Projektionsflächen aller Verbindungselemente zwischen der Verglasung und der opaken Füllung zu bestimmen, wie in Abb. 27 dargestellt.

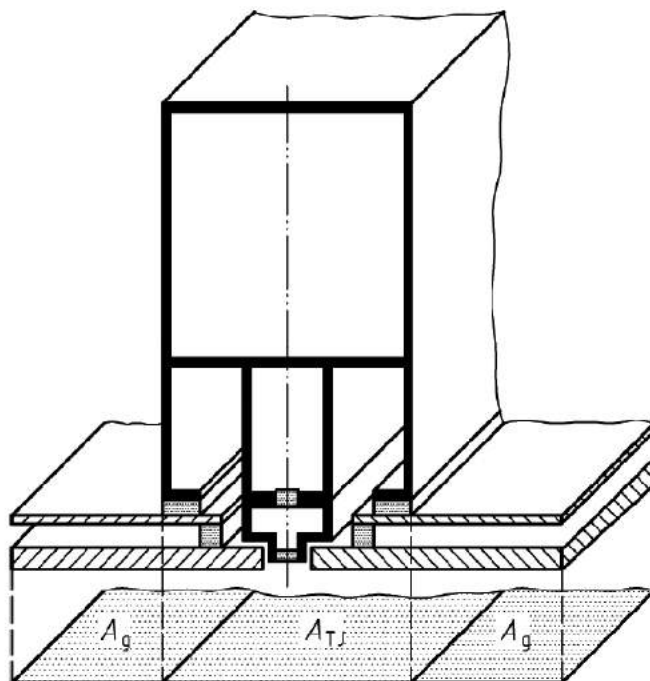


Abb. 27 – Bestimmung von A_{TJ} im Fall einer Strukturverglasung

10.3.2.3 Bestimmung von Ψ_{TJ} (Verbindung betrachtet als eine lineare Wärmebrücke)

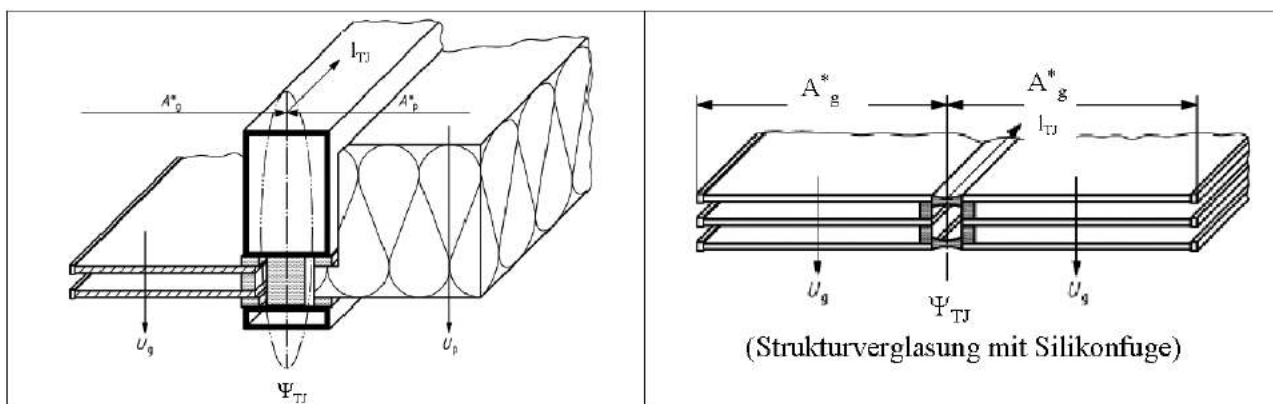


Abb. 28 – Als lineare Wärmebrücke betrachtete Verbindungen

In diesem Fall findet das Berechnungsmodell nach Abb. 28 Anwendung. Die äquivalenten Flächen (A_g^* und/oder A_p^*) und die auf den Mittenbereich bezogenen U-Werte (U_g und/oder U_p) der Verglasungen und/oder Paneele sind bekannt. Die Verbindungen zwischen den Verglasungen und/oder Paneelen werden als lineare Wärmebrücken mit einer bekannten eigenen Länge (l_{TJ} , bestimmt als Länge der thermischen Verbindung zwischen dem Paneel und/oder der Verglasung) und einem eigenen Ψ -Wert (Ψ_{TJ} , zu bestimmen) betrachtet. Anhand des numerisch berechneten Gesamtwärmestroms (Φ_{tot}), ist Ψ_{TJ} wie folgt zu berechnen:

$$\Psi_{TJ} = \frac{\Phi_{tot} - ((U_g \cdot A_g^* + U_p \cdot A_p^*) \cdot \Delta T)}{l_{TJ} \cdot \Delta T} \quad [\text{W/mK}] \quad [27]$$

10.3.3 Bestimmung von U_{cw}

Der endgültige U_{cw} -Wert setzt sich aus den flächenanteilmäßig gewichteten U-Werten der einzelnen Komponenten zusammen.

Wenn die Verbindung zwischen den Komponenten als ein getrenntes Fassadenelement betrachtet wird, ergibt sich U_{cw} aus:

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_{TJ} \cdot U_{TJ}}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{TJ}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [28]$$

Wenn die Verbindung zwischen den Fassadenkomponenten als eine Wärmebrücke betrachtet wird, ergibt sich U_{cw} aus:

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g^* \cdot U_g + \sum A_p^* \cdot U_p + \sum l_{TJ} \cdot \Psi_{TJ}}{A_{cw}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [29]$$

10.4 Berechnung des U_{cw} -Werts (Komponentenmethode)

10.4.1 Prinzip der Komponentenmethode

Bei der Komponentenmethode wird der U_{cw} -Wert eines Vorhangfassadenelements aus den flächenanteilmäßig gewichteten U-Werten aller Teilkomponenten des Fassadenelements (Verglasung, Füllung, Rahmen und Riegel) ermittelt; die Randeﬀekte der Verbindungen zwischen diesen Bauteilen kommen als Wärmebrücken hinzu, d. h. sie werden aus dem Produkt einer Länge und eines längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (Ψ -Wert) ermittelt.

10.4.2 Allgemeine Bestimmung des U_{cw} -Werts

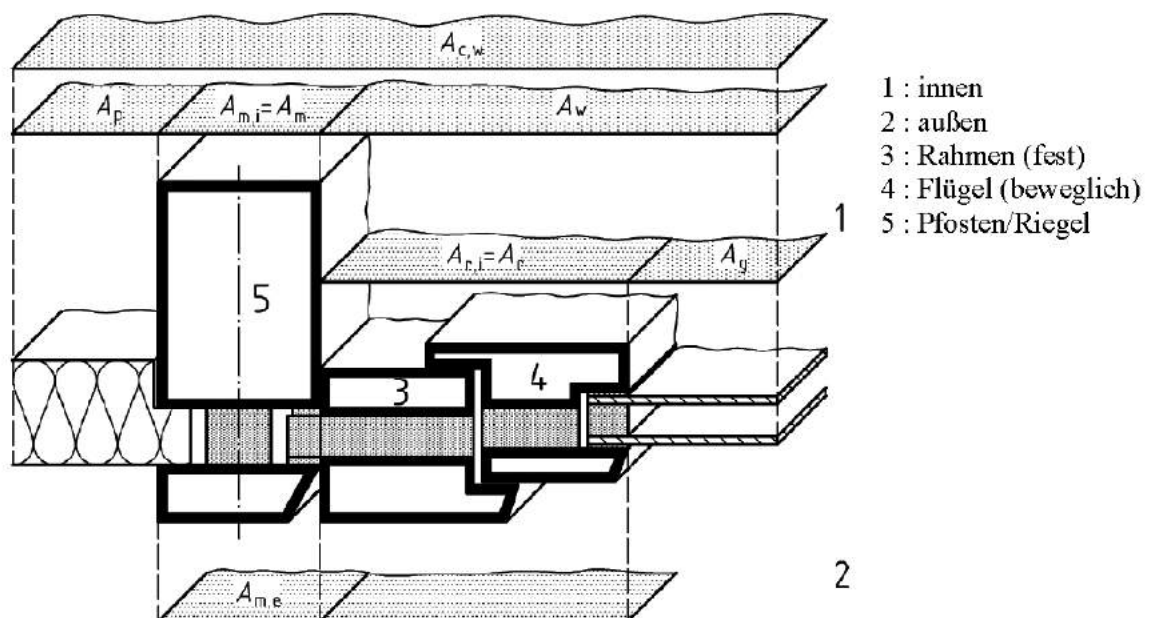


Abb. 29 – Unterteilung eines Fassadenelements in Teilkomponenten mit eigenen Flächen und eigenen U-Werten

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Vorhangfassadenelements (U_{cw}) ist wie folgt zu bestimmen:

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum A_{m(t)} U_{m(t)} + \sum l_g \cdot \Psi_{f,g} + \sum l_p \cdot \Psi_{f,p} + \sum l_{m(t),g} \cdot \Psi_{m(t),g} + \sum l_{m(t),f} \cdot \Psi_{m(t),f}}{A_{cw}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [30]$$

dabei ist:

U_g, U_p [W/m ² K]:	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung bzw. der opaken Füllung, bestimmt nach § 6.4.3
U_f, U_m, U_t [W/m ² K]:	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens, des Pfostens bzw. des Riegels, bestimmt nach § 6.4.4
A_g, A_p, A_f, A_m, A_t [m ²]:	Projektionsfläche der Verglasung, der opaken Füllung, der Rahmen, der Pfosten bzw. der Riegel, bestimmt nach § 6.2.2
A_{cw} [m ²]:	Gesamtfläche des Vorhangfassadenelements, zusammengesetzt aus der Summe der Teilflächen der Komponenten: $A_{cw} = A_g + A_p + A_f + A_m + A_t$;
$\Psi_{f,g}$ [W/mK]:	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) an der Verbindung zwischen Verglasung und Rahmen resultieren, bestimmt nach § 6.4.5
$\Psi_{f,p}$ [W/mK]:	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) an der Verbindung zwischen Füllungen und Rahmen oder Pfosten resultieren, bestimmt nach § 6.4.5;
$\Psi_{m,f}, \Psi_{t,f}$ [W/mK]:	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) zwischen den Rahmen (Blendrahmen) und den Pfosten und/oder Riegeln resultieren, bestimmt nach § 6.4.5
$\Psi_{m,g}, \Psi_{t,g}$ [W/mK]:	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) zwischen den Verglasungen und den Pfosten und/oder Riegeln resultieren, bestimmt nach § 6.4.5
$l_g, l_p, l_{m,f}, l_{t,f}, l_{m,g}, l_{t,g}$ [m]:	Umfänge der linearen Wärmebrücken der jeweiligen Verbindungsbereiche zwischen Verglasungen, opaken Füllungen, Rahmen, Pfosten und Riegeln.

10.4.3 U-Wert von Verglasung und Paneele

10.4.3.1 Verglasung

Siehe § 5.1

10.4.3.2 Opake Füllung

Siehe § 5.3

10.4.4 U-Wert von Rahmen, Pfosten und Riegeln

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Rahmen (U_f) ist entsprechend den Prinzipien in § 5.2 zu bestimmen.

Der Wärmedurchgangskoeffizient von Riegeln (U_t) und Pfosten (U_m) ist wie folgt zu bestimmen:

- Bestimmung durch Versuch nach NBN EN 12412-2;
- numerisches Berechnungsverfahren nach NBN EN ISO 10077-2.

ANM.: Bei der numerischen Berechnung nach NBN EN ISO 10077-2 werden die Randeffekte von metallischen Verbindungen (Schrauben) in Riegeln und Pfosten nicht berücksichtigt. Punktuelle Wärmebrücken (χ -Werte), die durch diese Verbindungen entstehen, können anhand einer numerischen 3D-Berechnung nach der Norm NBN EN ISO 10211 oder durch einen vergleichenden Versuch (erster Versuch mit Metallschraube, zweiter Versuch mit Kunststoffschraube) nach der Norm NBN EN 12412-2 genau bestimmt werden. In Anhang C der Norm NBN EN 13947 ist ein spezielles Berechnungsverfahren für Profilsysteme angegeben, das die Beurteilung des Schraubeneffekts erlaubt, anhand eines zweidimensionalen numerischen Verfahrens mit Modellierung und passenden Randeffekten. Der Effekt dieser Verbindungen kann vereinfacht bestimmt werden, indem zu dem Rahmen-U-Wert

(U_{m0} oder U_{t0} , numerisch berechnet nach Norm NBN EN ISO 10077-2, ohne Berücksichtigung des Schraubeneffekts) ein Korrekturfaktor ΔU addiert wird:

$$U_{m(t)} = U_{m(t)0} + \Delta U \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [31]$$

Für Schrauben aus rostfreiem Stahl ist ein Standardwert für diesen Korrekturfaktor ΔU in Tabelle 5 angegeben, sofern die dort angegebenen Bedingungen erfüllt sind.

Durchmesser des rostfreien Verbindungselements (Schraube)	Zwischenabstand zwischen Verbindungen	ΔU (W/m ² K)
$\leq 6 \text{ mm}$	200 – 300 mm	0,3

Tabelle 5 – ΔU -Werte für Riegel und Pfosten

10.4.5 Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Verglasungen, Rahmen, Pfosten und Riegel)

Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Verbindungsbereiche (Abstandhalter) zwischen Verglasungen und Rahmen ($\Psi_{f,g}$), oder zwischen Paneelen und Rahmen ($\Psi_{f,p}$), können bestimmt werden durch:

- numerische Berechnung nach NBN EN ISO 10077-2 (genaue Berechnung),
- die in Tabelle E.2 und E.4 in Anhang E angegebenen Standardwerte.

Die Wechselwirkung oder der zusätzliche Wärmeverlust durch die Verbindungsbereiche zwischen einer Verglasung oder einer opaken Füllung und den Pfosten und Riegeln, wie in Abb. 30 dargestellt, kann anhand von spezifischen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ($\psi_{m,f}$ und $\psi_{t,f}$ oder $\psi_{m,g}$ und $\psi_{t,g}$) beurteilt werden. Dieser Wert kann bestimmt werden durch:

- numerische Berechnung nach NBN EN ISO 10077-2 (genaue Berechnung),
- die in Tabelle E.3, E.5 und E.6 in Anhang E angegebenen Standardwerte.

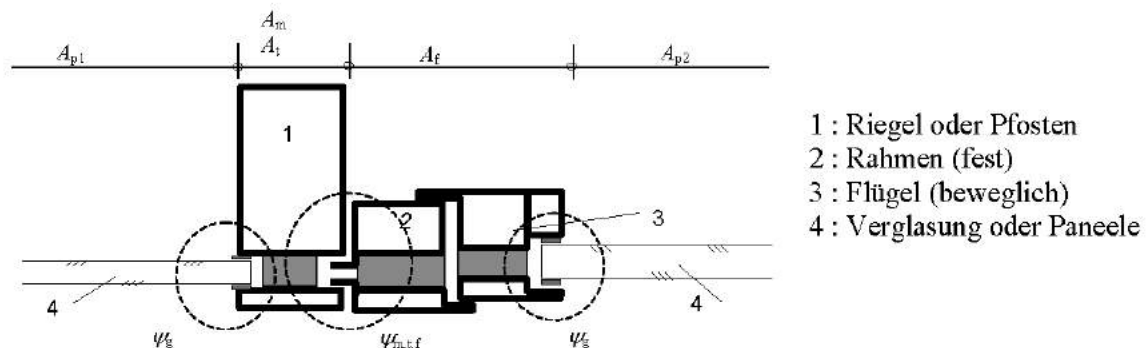


Abb. 30 – Verbindungsbereich zwischen einem Vorhangfassadenelement und einem Pfosten oder Riegel

10.5 Bestimmung des U_{cw} -Werts einer Vorhangfassade aus unterschiedlichen Elementen

Der Gesamtwrmedurchgangskoeffizient ($U_{cw,tot}$) einer Vorhangfassade aus unterschiedlichen Elementen unterschiedlicher Form und Größe, kann wie folgt bestimmt werden:

$$U_{cw,tot} = \frac{\sum (U_{cw,i} \cdot A_{cw,i})}{\sum A_{cw,i}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [32]$$

dabei ist:

- $U_{cw,i}$: U-Werte der unterschiedlichen Elemente [W/m²K]
- $A_{cw,i}$: Flächen der unterschiedlichen Elemente [m²]

11. Wärmedurchgangskoeffizient sonstiger durchsichtiger Wände

11.1 Glasbausteine

11.1.1 Allgemeines Verfahren

Bei der Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten einer Wand aus Glasbausteinen ist das komplette Bauteil zu betrachten. Ggf. ist auch der Effekt von Fugen (wie bei Mauerwerk, siehe Anhang G.3.1), Rahmen (wie bei Fenstern) oder sonstigen Bauteilen zu berücksichtigen.

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Glasbausteins selbst, ist anhand eines der nachstehenden Verfahren zu bestimmen:

- Versuche nach NBN EN ISO 12567-1;
- numerische Berechnungen nach NBN EN ISO 10211 und/oder NBN EN 673;
- vereinfachte Berechnungen nach der Norm NBN EN 1051-2.

Die Bestimmung kann auch immer mit dem Standardwert erfolgen, der 5,7 W/m²K beträgt.

12. Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch Gebäude⁴

12.1 Gesamttransmissionswärmedurchgangskoeffizient

Der Gesamttransmissionswärmedurchgangskoeffizient (H_T) ist wie folgt zu bestimmen:

$$H_T = H_D + H_g + H_U \quad [\text{W/K}] \quad [33]$$

dabei ist:

- H_D [W/K]: Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch die Gebäudehülle direkt zur Außenumgebung, bestimmt nach § 9
- H_g [W/K]: Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich, unbeheizte Keller und erdanliegende Kriechkeller, bestimmt nach § 11
- H_U [W/K]: Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch angrenzende unbeheizte Räume zur Außenumgebung, bestimmt nach § 10

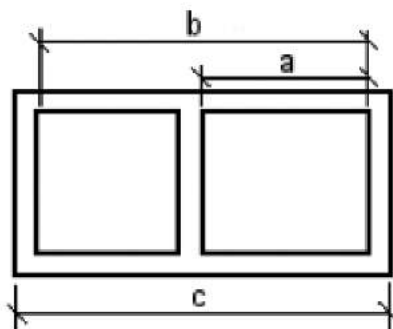
12.2 Allgemeine Vereinbarungen

12.2.1 Grenzen der Gebäudeteile

Der Gebäudeteil (geschütztes Volumen, unbeheizter Nachbarraum, Berechnungszone, ...) für den der Wärmedurchgangskoeffizient bestimmt werden soll, ist unmissverständlich festzulegen.

12.2.2 Bestimmung der Flächen

12.2.2.1 Berechnung von Außenwandflächen



Zeichenerklärung:

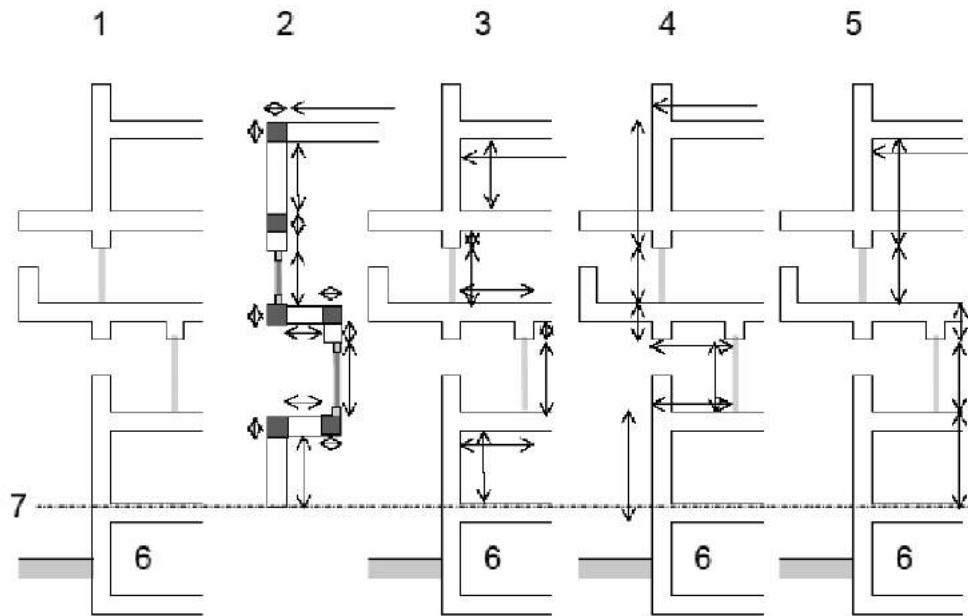
- a Innenmaß
- b komplettes Innenmaß
- c Außenmaß

Abb. 31 – Flächenberechnungssystem

Für die Berechnung der Flächen von Bauteilen einer Gebäudehülle (d. h. Bauteile, die das geschützte Volumen eines Gebäudes von der Außenumgebung, dem Erdreich und unbeheizten Nachbarräumen trennen) sind die Außenmaße zu verwenden (Maß c in Abb. 22 dargestellt in Abb. 23), so dass die komplette Gebäudehülle als eine geschlossene umhüllende Fläche betrachtet werden kann. Bei Fenstern und Türen sind die Maße der Öffnungen (von außen gesehen) als Maße zu verwenden.

Dieses Verfahren ist systematisch bei allen Berechnungen anzuwenden, die die thermischen Leistungen der betroffenen Gebäude betreffen (Wärmeverlust, Energiebedarf, ...).

⁴ Unter "Gebäude" ist auch "Gebäudeteil" zu verstehen, wenn die vorstehende Berechnung Anwendung findet.



1: Realität – 2: Bauteile – 3: Innenmaße – 4: Außenmaße – 5: komplette Innenmaße – 6: nicht beheizter Raum – 7: Abgrenzung des Wärmeverlusts durch das Erdreich

Abb. 32 – Messsystem

12.2.2.2 Berechnung der Wandflächen in einem geschützten Volumen oder zwischen 2 geschützten Volumen

Die Flächen aller Wände in einem geschützten Volumen oder zwischen 2 geschützten Volumen sind anhand der Innenmaße (Maß a in Abb. 31) zu bestimmen.

12.2.2.3 Berechnung der Flächen von nicht ebenen Bauteilen

Bei gewölbten Bauteilen (gebogene Dächer, gebogene Mauern, ...) ist die tatsächliche Fläche (= Istfläche) zu berücksichtigen, soweit keine sonstigen besonderen Bedingungen Anwendung finden.

12.2.3 Bestimmung der Volumen

Das Volumen eines Gebäudes oder eines Gebäudeteils ist anhand der Außenmaße zu bestimmen, unter Einbeziehung des Volumens der Innenwände. Trennwände zwischen zwei geschützten Volumen sind jedem dieser geschützten Volumen hälftig zuzurechnen.

13. Transmissionswärmedurchgangskoeffizient direkt zur Außenumgebung (H_D)

Der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustfläche und der Bauknoten zur Außenumgebung (H_D) wird wie folgt bestimmt:

$$\begin{aligned} H_D &= H_D^{\text{constructions}} + H_D^{\text{junctions}} \\ &= \sum_i U_i A_i + H_D^{\text{junctions}} \quad [\text{W/K}] \quad [34] \end{aligned}$$

mit:

- $H_D^{\text{constructions}}$ (W/K): der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustfläche, die mit der Außenumgebung in Berührung kommt;
- A_i (m²): die Fläche der Zwischenwand i, bestimmt über die Außenabmessungen;
- U_i (W/m²K): der Wert U der Zwischenwand i;
- $H_D^{\text{junctions}}$ (W/K): der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Bauknoten, die mit der Außenumgebung in Berührung kommen (siehe § 12).

Zur Berechnung von $H_D^{\text{constructions}}$ müssen sämtliche Zwischenwände i der Wärmeverlustfläche addiert werden, die mit der Außenumgebung in Berührung kommen.

14. Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über unbeheizte Nachbarräume (H_U)

Der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustrfläche und die Bauknoten, die an unbeheizte Nachbarräume (H_U) angrenzen, wird wie folgt bestimmt:

$$H_U = H_{U, \text{constructions}} + H_{U, \text{junctions}} \quad [\text{W/K}] \quad [35]$$

mit:

- $H_{U, \text{constructions}}$ (W/K): der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustrfläche mit Kontakt mit unbeheizten Nachbarräumen;
- $H_{U, \text{junctions}}$ (W/K): der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Bauknoten mit Kontakt mit unbeheizten Nachbarräumen (siehe § 16).

Das in diesem Paragraphen beschriebene Berechnungsverfahren für $H_{U, \text{constructions}}$ gilt für oberirdische Räume. Für Kriechkeller und unbeheizte Keller, siehe Kapitel 15.

$H_{U, \text{constructions}}$ kann präzise bestimmt werden, indem man ein thermisches Gleichgewicht zwischen den Wärmeverlusten zwischen beheizten und angrenzenden nicht beheizten Räumen einerseits und zwischen angrenzenden nicht beheizten Räumen und der Außenumgebung andererseits herstellt. (Unter unbeheizten Räumen versteht man jene, deren Luftschicht mehr als 0,3 m beträgt).

Die Verluste über die Bauknoten, die sich zwischen den beheizten und unbeheizten Räumen befinden, können in Bezug auf das thermische Gleichgewicht außer Acht gelassen werden.

$H_{U, \text{constructions}}$ wird wie folgt bestimmt:

$$H_{U, \text{constructions}} = H_{T, \text{iu}}^{\text{constructions}} \cdot b \quad [\text{W/K}] \quad [36]; \text{ dabei ist:}$$

- $b = \frac{H_{ue}}{H_{T, \text{iu}}^{\text{constructions}} + H_{ue}}$ (-) [37]: der Reduzierkoeffizient des unbeheizten Raumes.
- $H_{T, \text{iu}}^{\text{constructions}}$ [W/K]: Transmissionswärmedurchgangskoeffizient zwischen beheizten und nicht beheizten Räumen (direkt);
- H_{ue} [W/K]: Transmissionswärmedurchgangskoeffizient zwischen dem angrenzenden nicht beheizten Raum und der Außenumgebung, der wie folgt bestimmt wird:

$$H_{ue} = H_{T, \text{ue}} + H_{V, \text{ue}} \quad [\text{W/K}] \quad [38]$$

dabei ist: $H_{T, \text{iu}}$ [W/K]: Transmissionswärmedurchgangskoeffizient
 $H_{V, \text{iu}}$ [W/K]: Lüftungswärmedurchgangskoeffizient, bestimmt nach:

$$H_{V, \text{iu}} = \rho \cdot c \cdot V_{\text{iu}} \quad [\text{W/K}] \quad [39]$$

Der Lüftungsdurchsatz durch angrenzende unbeheizte Räume zur Außenumgebung, ist wie folgt zu bestimmen:

$$V_{ue} = n_{ue} \cdot V_u \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad [40]$$

dabei ist:

- V_u [m³]: Volumen des angrenzenden unbeheizten Raums
- n_{ue} [h⁻¹]: Standardluftwechselrate des unbeheizten Raums, zu bestimmen anhand der am besten passenden Situation nach Tabelle 6.

Typ	Beschreibung der Luftdichtheit von unbeheizten Räumen	$n_{ue} (h^{-1})$
1	Keine Türen oder Fenster, luftdichte Verbindungen zwischen Bauteilen, keine Lüftungsöffnungen	0,1
2	Luftdichte Verbindungen zwischen Bauteilen, keine Lüftungsöffnungen	0,5
3	Luftdichte Verbindungen zwischen Bauteilen, kleine Lüftungsöffnungen sind vorgesehen	1
4	Keine Luftdichtheit aufgrund undichter Stellen oder ständiger Lüftungsöffnungen	3
5	Keine Luftdichtheit aufgrund vieler undichter Stellen oder großer oder zahlreicher Lüftungsöffnungen	10

Tabelle 6 – Standardluftwechselrate durch angrenzende unbeheizte Räume zur Außenumgebung

- ANM. 1: Das Produkt ($\rho \cdot c$) ist üblicherweise gleich: $\rho \cdot c = 0,34 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{K}$
- ANM. 2: Der Wärmedurchgang über das Erdreich ist in H_{iu} oder H_{ue} nicht enthalten und ist gesondert in dem Term H_g der Gleichung [33] zu bestimmen.

Für die Beurteilung der Anforderung U_{max} nach Anhang III des vorliegenden Erlasses ist der kombinierte Wert $b \cdot U_i$ zu berücksichtigen, wobei der Wert b für winterliche Bedingungen gilt.

15. Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich, unbeheizte Keller und Leerräume (H_g)

15.1 Allgemeine Bestimmungen

Der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich, über unbeheizte Keller und Leerräume, Zwischenwände der Wärmeverlustfläche und Bauknoten der Wärmeverlustfläche (H_g) wird wie folgt bestimmt:

$$H_g = H_g^{\text{constructions}} + H_g^{\text{junctions}} \quad [\text{W/K}] \quad [41]$$

mit:

- $H_g^{\text{constructions}}$ (W/K): Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustfläche mit Kontakt zum Erdreich sowie unbeheizten Kellern und Leerräumen;
- $H_g^{\text{junctions}}$ (W/K): Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Bauknoten mit Kontakt zum Erdreich, unbeheizten Kellern und Leerräumen (siehe § 16).

Die Wärmeverluste durch Transmission über das Erdreich hängen von verschiedenen Faktoren ab:

- dreidimensionale Gebäudegeometrie, Verbindung zwischen Fundamenten und Erdreich,
- Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs (abhängig von der Bodenbeschaffenheit und dem Feuchtegehalt),
- mögliches Eindringen von Wasser in das Erdreich,
- usw.

Im Rahmen der Reglementierung zur Energieeffizienz ist immer von stationären Wärmeverlusten auszugehen. Die europäischen Normen bieten eine Reihe von Berechnungsverfahren zur Bestimmung von H_g . Sie sind in Anhang F beschrieben. Um den Wert $H_g^{\text{constructions}}$ bestimmen zu können, müssen die linearen Transmissionswärmedurchgangskoeffizienten ψ berechnet werden, indem davon ausgegangen wird, dass die Außenwärmedämmung und die Verbindung von Mauer und Fußboden der Anlage F gleich Null ist. Der Einfluss der Außendämmung und der Verbindungen muss in Bezug auf den Wert $H_g^{\text{junctions}}$ berücksichtigt werden.

Ergänzend zu Anlage F sind eine Reihe vereinfachter Verfahren zur Bestimmung von $H_g^{\text{constructions}}$ in § 15.2 beschrieben.

15.2 Vereinfachtes Verfahren für die Bestimmung der Wärmeverluste über das Erdreich

15.2.1 Erdanliegende Böden

Der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich zur Außenumgebung ($H_g^{\text{constructions}}$) kann, bei erdanliegenden Böden, wie folgt bestimmt werden:

$$H_g = \sum_{i=1}^n U_{eq,f,i} \cdot A_i \cdot a_i \quad [\text{W/K}] \quad [42]$$

dabei ist:

- $U_{eq,f,i}$ [W/m²K]: äquivalenter U-Wert des Bodenteils i, bestimmt nach:

$$U_{eq,f,i} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_{f,i}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [43]$$

dabei ist: R_{si} [m²K/W]: innerer Wärmeübergangswiderstand (= 0,17)

$\sum R_{f,i}$ [m²K/W]: Wärmedurchgangswiderstand aller Bauteilschichten des Bodenteils, bestimmt nach Kapitel 2 (von der Innenfläche bis zur erdanliegenden Fläche, also ohne Wärmeübergangswiderstand der Oberflächen)

- A_i [m²]: Fläche des Bodenteils i (nach den Außenmaßen bestimmt)
- a_i [-]: Temperaturreduktionsfaktor für den Bodenteil i, bestimmt nach:

$$a_i = \frac{1}{U_{eq,f,i} + 1} \quad [-] \quad [44]$$

Bei der Bestimmung von $H_g^{\text{constructions}}$ müssen alle unterschiedlich zusammengesetzten und erdanliegenden Bodenteile i addiert werden.

Bei der Beurteilung der Anforderung $U_{\max}$ nach Anhang III des vorliegenden Erlasses ist der kombinierte Wert $a_i \cdot U_{eq,f,i}$ zu berücksichtigen.

15.2.2 Bauteile in Kontakt mit Kriechkellern und unbeheizten Kellern (Böden, Wände, Türen, ...)

Der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch unbeheizte Keller und Kriechkeller zur Außenumgebung ($H_g^{\text{constructions}}$) kann, bei über diesen Räumen liegenden Böden, vereinfacht anhand eines Temperaturreduktionsfaktors (b_U) bestimmt werden:

$$H_g = \sum_{i=1}^n U_{eq,f,i} \cdot A_i \cdot b_{U,i} \quad [\text{W/K}] \quad [45]$$

dabei ist:

- $U_{eq,f,i}$ [$\text{W/m}^2\text{K}$]: äquivalenter U-Wert des Bodenteils i , bestimmt nach:

$$U_{eq,f,i} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_{f,i} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad [46]$$

dabei ist: R_{si} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: innerer Wärmeübergangswiderstand ($= 0,17$)

$\sum R_{f,i}$ [$\text{m}^2\text{K/W}$]: Wärmedurchgangswiderstand aller Bauteilschichten des Bodenteils i , bestimmt nach Kapitel 6 (von der Innenfläche bis zur an den Kriechkeller oder Keller anliegenden Fläche, also ohne Wärmeübergangswiderstand der Oberflächen)

- A_i [m^2]: Fläche des Bodenteils i (nach den Außenmaßen bestimmt)
- $b_{U,i}$ [-]: Temperaturumrechnungsfaktor für den Bodenteil i , bestimmt nach Tabelle 7

Unbeheizter Keller oder Hohlraum	b_U (-)
Kellerraum (mindestens 70 % der Außenwände erdanlegend)	
ohne Fenster oder Außentür	0,5
mit Fenster oder Außentür	0,8
Kriechkeller ⁽¹⁾	
stark belüftet ($n_{ue} \geq 1 \text{ h}^{-1}$)	1,0
nicht oder schwach belüftet ($n_{ue} < 1 \text{ h}^{-1}$)	0,8

(1) Standardwerte der Luftwechselrate (n_{ue}) nach Tabelle 6

Tabelle 7 – Standardwerte des Temperaturreduktionsfaktors b_U

Bei der Beurteilung der Anforderung $U_{\max}$ nach Anhang III des vorliegenden Erlasses ist der kombinierte Wert $b_{U,i} \cdot U_{eq,f,i}$ zu berücksichtigen.

15.2.3 Wände unter der Erde

Die vereinfachte Methode folgt dem Verfahren für "Kellerwände" in Anhang F.2.4, wobei der Einfachheit halber von einem Standardwert $R_f = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ ausgegangen werden kann.

16. Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über Bauknoten ($H_T^{\text{junctions}}$)

Die Transmissionswärmedurchgangskoeffizienten über Bauknoten ($H_D^{\text{junctions}}$, $H_g^{\text{junctions}}$ und $H_U^{\text{junctions}}$) sind in $H_T^{\text{junctions}}$ vereint:

$$H_T^{\text{junctions}} = H_D^{\text{junctions}} + H_g^{\text{junctions}} + H_U^{\text{junctions}} \quad [\text{W/K}] \quad [47]$$

Dies bedeutet, dass der Transmissionsgesamtwärmedurchgangskoeffizient H_T ebenfalls wie folgt formuliert werden kann:

$$\begin{aligned} H_T^{\text{junctions}} &= (H_D^{\text{construction}} + H_g^{\text{constructions}} + H_U^{\text{constructions}}) + H_T^{\text{junctions}} \\ &= H_T^{\text{constructions}} + H_T^{\text{junctions}} \end{aligned} \quad [\text{W/K}] \quad [48]$$

Der Wert $H_T^{\text{junctions}}$ muss gemäß der Anlage IV des vorliegenden Erlasses bestimmt werden.

17. Gesamtwärmedämmgrad (K-Grad)

In diesem Paragraphen kann der Begriff "Gebäude" sowohl das "Gebäude in seiner Gesamtheit" als auch "einen Gebäudeteil" bezeichnen. Ein Gebäudeteil kann z. B. sein: ein Anbau, ein Teilwiederaufbau, eine Gewerbehalle, für die ein eigener K-Grad gilt, ...

17.1 Kompaktheit eines Gebäudes

Die Kompaktheit eines Gebäudes wird als Verhältnis des Volumens zur gesamten Wärmeverlustfläche angegeben:

$$C = \frac{V}{A_T} \quad [m] \quad [49]$$

dabei ist:

- $V [m^3]$: Volumen des Gebäudes nach den Außenmaßen, bestimmt nach § 8.2.3
- $A_T [m^2]$: Wärmeverlustfläche des Gebäudes nach den Außenmaßen, bestimmt nach § 8.2.2

17.2 Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient eines Gebäudes

Der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient U_m eines Gebäudes ist das Verhältnis zwischen dem Gesamtwärmedurchgangskoeffizienten und der Wärmeverlustfläche:

$$U_m = \frac{H_T}{A_T} \quad [W/m^2K] \quad [50]$$

dabei ist:

- $H_T [W/K]$: Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes, bestimmt nach § 8.1
- $A_T [m^2]$: Gesamtwärmeverlustfläche des Gebäudes nach den Außenmaßen, bestimmt nach § 8.2.2

Bei H_T ist der winterlichen Bedingungen entsprechende Wert zu berücksichtigen.

17.3 Gesamtwärmedämmgrad (K-Grad)

Der Gesamtwärmedämmgrad eines Gebäudes ist das Verhältnis zwischen dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten und einem Bezugswert, multipliziert mit 100:

$$K = 100 \frac{U_m}{U_{m,ref}} \quad [51]$$

dabei ist:

- $U_m [W/m^2K]$: mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes, bestimmt nach § 13.2
- $U_{m,ref} [W/m^2K]$: Bezugswert des mittleren Wärmedurchgangskoeffizient, wie nachstehend festgelegt.

Der nach [51] bestimmte Wert ist auf eine volle Zahl zu runden, und wenn der Teil hinter dem Komma des bestimmten Werts genau einem Halben entspricht, ist aufzurunden. In dem Bericht ist dem so ermittelten Komplex der Buchstabe K voranzustellen.

Der Bezugswert für den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{m,ref}$ ist wie folgt zu bestimmen:

Bei $C \leq 1 m$:	$U_{m,ref} = 1$	$[W/m^2K]$	[52]
Bei $1 m < C < 4 m$:	$U_{m,ref} = (C + 2)/3$	$[W/m^2K]$	[53]
Bei $4 m \leq C$:	$U_{m,ref} = 2$	$[W/m^2K]$	[54]

C ist hier die Kompaktheit [m], definiert in § 13.1.

ANHANG A - Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert) und des Wärmewiderstandes (R-Wert) von Baustoffen

A.1 Allgemeine Bestimmungen

Die Prinzipien des vorliegenden Absatzes sind für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und des Wärmewiderstandes gültig. Um das Lesen des Textes zu erleichtern, beschränkt sich die Formulierung des vorliegenden Absatzes auf die Wärmeleitfähigkeit. Zur Bestimmung des Wärmewiderstandes reicht es aus, allgemein „Wärmewiderstand“ anstelle von „Wärmeleitfähigkeit“ und „R“ anstelle von „ λ “ zu lesen.

Als Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit ist der Wert zu verwenden, der sowohl die Temperatur als auch den in dem Baustoff erwarteten Feuchtegehalt berücksichtigt. Es sind also, in Abhängigkeit von den Innen- und Außenbedingungen, die folgenden Rechenwerte definiert:

- Der λ_{U_i} -Wert entspricht den Innenbedingungen und muss für Baustoffe von Innen- oder Außenwänden verwendet werden, sofern diese nicht durch Regenwasser feucht oder durch Kondenswasser von innen oder oberflächlich und permanent, durch auf der Oberfläche stehendes Wasser oder durch aufsteigende Feuchtigkeit durchfeuchtet werden können. Der λ_{U_i} -Wert kann nicht für Baustoffe verwendet werden, die wasserdampfdicht eingebaut werden und feuchthaltig sein können (z. B. Baufeuchtigkeit oder Regenwasser).
- Der λ_{U_e} -Wert entspricht den Außenbedingungen und muss für alle Baustoffe von Außenwänden verwendet werden, die durch Regenwasser, Kondenswasser von innen, durch Oberflächenwasser oder durch aufsteigende Feuchtigkeit durchfeuchtet werden können. Der λ_{U_e} -Wert muss auch für Baustoffe verwendet werden, die wasserdampfdicht eingebaut werden, und die während den Bauarbeiten feucht geworden sind.

Bei Dämmstoffen und Produkten, bei denen der λ -Wert eine wichtige Eigenschaft ist, sind die λ_U -Rechenwerte wie folgt zu bestimmen. Anfänglich wird ein λ -Wert gemäß den nachstehend aufgeführten Bedingungen bestimmt. Anschließend wird anhand dieser Wertgrundlage der Rechenwert λ_U bestimmt.

Schritt 1:

Der Wert der in diesem Text als λ_{STEP1} bezeichneten Wärmeleitfähigkeit wird unter Anwendung folgender Bedingungen und gemäß den Prinzipien bestimmt, wie durch die Norm NBN EN ISO 10456 definiert:

- unter gegebenen Temperatur- und Feuchtigkeits-Referenzbedingungen und gemäß den Messverfahren nach Norm NBN EN 1934, NBN EN ISO 8990, NBN EN 12664, NBN EN 12667 oder NBN EN 12939 (ISO 8301, ISO 8302) gemessene Werte; die Temperatur ist in diesem Text auf 10° C festgelegt.
- angegeben durch ein Fraktile mit einem in diesen Texten definierten Vertrauensgrad von 90/90 (anders ausgedrückt, mit einer Zuverlässigkeit von 90 % haben 90 % der Produktion einen λ -Wert $\leq$ der Wert λ_{STEP1});
- entsprechend einer angemessenen Lebensdauer unter normalen Bedingungen muss die mögliche Alterung des Baustoffes somit in Betracht gezogen werden, wie durch die Produktnorm, die ETAG (European Technical Approval Guideline, gemäß der Richtlinie 89/106/EWG) oder das EAD (European Assessment Document, gemäß der Verordnung (EU) Nr. 305/2011) des entsprechenden Produktes definiert, sofern einer dieser Baustoffe verarbeitet wurde. In allen anderen Fällen kann die anwendbare Alterungsmethode von Seiten der Behörden bestimmt werden.

ANMERKUNG:

Der nachstehend definierte Wert λ_{STEP1} entspricht ebenfalls, mit Ausnahme einiger spezifischer Fälle (z. B. Mauerwerkelemente), dem genannten Wert λ_D im Rahmen der CE-Kennzeichnung, sofern dieser existiert.

Schritt 2:

Der Rechnungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_U wird gemäß der durch die Norm NBN EN ISO 10456 beschriebenen Methodologie definiert. Dieser wird auf Grundlage des Wertes λ_{STEP1} gemäß den nachstehend genannten Bedingungen wie folgt berechnet:

$$\lambda_U = \lambda_{STEP1} * e^{f_u(u_2-u_1)} \text{ oder } \lambda_U = \lambda_{STEP1} * e^{f_\psi(\psi_2-\psi_1)}$$

Wobei:

- f_u (kg/kg) oder f_ψ (m^3/m^3): Umrechnungsfaktor für die Feuchtigkeit;
- u_1 (kg/kg) oder ψ_1 (m^3/m^3): der Feuchtegehalt der ersten Voraussetzungen (Schritt 1);
- u_2 (kg/kg) oder ψ_2 (m^3/m^3): der Feuchtegehalt der zweiten Voraussetzungen (Schritt 2).

Für die Voraussetzungen von Schritt 2 wird wie folgt unterschieden:

- $\lambda_{\text{U,i}}$ = Innenanwendung: entspricht einem Feuchtigkeitsgehalt $u_{23,50}$ (= Ausgleichsfeuchte bei einer Temperatur von 23°C und einer relativen Feuchtigkeit von 50%);
- $\lambda_{\text{U,e}}$ = Außenanwendung: entspricht einem Feuchtigkeitsgehalt von 75% des kritischen Sättigungsgrades bei 20°C.

Die Werte des Feuchtigkeitsgehalts (u , in kg/kg, oder ψ , in m^3/m^3) und die Umrechnungsfaktoren für die Feuchtigkeit (f_u und f_ψ) werden gemäß der Methodologie der Norm NBN EN ISO 10456 bestimmt:

- entweder werden die Daten reeller Produkte genutzt, die gemäß der Norm bestimmt werden;
- oder es werden die Standardwerte genutzt: aus der Norm (NBN EN ISO 10456) oder (für einige Steinbaustoffe) aus Anlage C des vorliegenden Textes.

Der Rechnungswert λ_{U} der Mauerwerkelemente muss gemäß den Verfügungen der Norm NBN EN 1745 bestimmt werden, wobei sämtliche zuvor aufgeführten Voraussetzungen beachtet werden müssen.

Die Standardwerte der Wärmeleitfähigkeit für diverse Baustoffe sind in den Tabellen des Absatzes A.2 angegeben.

ANMERKUNG 1:

Bei Dämmprodukten, die aus denselben Materialien bestehen, wie jene, die in der Tabelle A.14a aufgeführt sind, führt die Anwendung der oben genannten Regeln zu dem Ergebnis, dass der Wert $\lambda_{\text{U,i}}$ (für eine Innenanwendung) mit dem im Rahmen der CE-Kennzeichnung genannten Wert λ_{D} identisch ist.

ANMERKUNG 2:

Bei Mauerwerkelementen (Ziegel, Betonblocksteine etc.) werden die Standardwerte für die Wärmeleitfähigkeit λ_{U} in den Tabellen A.3 bis A.8 und für den Wärmewiderstand R_{U} in der Tabelle B.1 (2 ersten Kategorien) aufgeführt. Für das komplette Mauerwerk (Bausteine mit Mörtelfugen) muss ebenfalls der Einfluss der Fugen berücksichtigt werden, der nicht unbedeutend ist, insbesondere wenn Leichtbausteine verwendet werden (siehe Anlage G.3.1).

ANMERKUNG 3:

Die Tabellen A.3 bis A.8 können ebenso auf Vollblocksteine wie auf Lochsteine Anwendung finden. Im Fall von Lochsteinen wird die Dichte in Bezug auf Vollblocksteine (oder Vollziegel) bestimmt und berücksichtigt somit die Lochungen (siehe Beispiele in Anlage G.3.2.).

A.2 Tabellen mit den Standardwerten für die Wärmeleitfähigkeit von homogenen oder gleichgestellten Baustoffen

Die Tabellen in dem vorliegenden Paragraphen enthalten die Standardwerte, die für die Wärmetransmissionsberechnungen im Rahmen der GEE-Reglementierung immer verwendet werden können. Sie können jedoch nicht mehr für die Berechnung der Dämmung von technischen Anlagen genutzt werden.

In nachstehender Tabelle ist die Dichte in einer Spalte vor jener der Wärmeleitfähigkeit aufgeführt und stellt eine Voraussetzung dar, die erfüllt werden muss, damit der Standardwert der Wärmeleitfähigkeit Gültigkeit erhält. Wenn die Dichte in einer Spalte aufgeführt ist, die sich hinter jener der Wärmeleitfähigkeit befindet, stellt sie eine nützliche Information zur Bestimmung der thermisch wirksamen Masse der Bauelemente dar.

Metalle

Tabelle A.1 - Metalle

Werkstoff	λ_{U1} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)	Dichte ρ (kg/m ³)
Blei	35	35	130	11 300
Kupfer	380	380	380	8 900
Gelbes Messing	120	120	380	8400
Stahl	50	50	450	7 800
Edelstahl ⁽¹⁾	17	17	460	7 900
Aluminium	160	160	880	2 800
Gusseisen	50	50	450	7 500
Zink	110	110	380	7 200
Bronze	65	65	380	8700

(1) Austenitstahl oder ferritischer Stahl

Naturstein

Tabelle A.2 – Naturstein

Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)

Werkstoff	λ_{U1} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	Dichte ρ (kg/m ³)
Schwere Steine (Granit, Gneis, Basalt, Prophyll)	3.50	3.50	$2\,700 \leq \rho \leq 3\,000$
"Granitstein" (Blaustein), Kalkstein	2.91	3.50	2 700
Marmor	2.91	3.50	2 800
Schiefer	2.20	2.20	$2\,000 \leq \rho \leq 2\,800$
Hartstein	2.21	2.68	2 550
Festgestein	1.74	2.09	2 350
SiO ₂ -reiche Kalksteine	2.30	2.30	2 600
Halbfestgestein (Bruchstein)	1.40	1.69	2 200

Mauersteine

Tabelle A.3 – Tonziegel <i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		
Dichte $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	λ_{U1} W/(m.K)	λ_{U6} W/(m.K)
$\rho \leq 700$	0.22	0.43
$700 < \rho \leq 800$	0.25	0.49
$800 < \rho \leq 900$	0.28	0.56
$900 < \rho \leq 1000$	0.32	0.63
$1000 < \rho \leq 1100$	0.35	0.70
$1100 < \rho \leq 1200$	0.39	0.77
$1200 < \rho \leq 1300$	0.42	0.84
$1300 < \rho \leq 1400$	0.47	0.93
$1400 < \rho \leq 1500$	0.51	1.00
$1500 < \rho \leq 1600$	0.55	1.09
$1600 < \rho \leq 1700$	0.60	1.19
$1700 < \rho \leq 1800$	0.65	1.28
$1800 < \rho \leq 1900$	0.71	1.40
$1900 < \rho \leq 2000$	0.76	1.49
$2000 < \rho \leq 2100$	0.81	1.61

Tabelle A.4 – Kalksandsteine/-blocksteine <i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		
Dichte $\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	λ_{U1} W/(m.K)	λ_{U6} W/(m.K)
$\rho \leq 900$	0.36	0.78
$900 < \rho \leq 1000$	0.37	0.81
$1000 < \rho \leq 1100$	0.40	0.87
$1100 < \rho \leq 1200$	0.45	0.97
$1200 < \rho \leq 1300$	0.51	1.11
$1300 < \rho \leq 1400$	0.57	1.24
$1400 < \rho \leq 1500$	0.66	1.43
$1500 < \rho \leq 1600$	0.76	1.65
$1600 < \rho \leq 1700$	0.87	1.89
$1700 < \rho \leq 1800$	1.00	2.19
$1800 < \rho \leq 1900$	1.14	2.49
$1900 < \rho \leq 2000$	1.30	2.84
$2000 < \rho \leq 2100$	1.49	3.25
$2100 < \rho \leq 2200$	1.70	3.71

Tabelle A.5 – Betonblocksteine mit gebräuchlichen Zuschlagstoffen

Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)

Dichte ρ (kg/m ³)	$\lambda_{\text{U,i}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{U,e}}$ W/(m.K)
$\rho \leq 1600$	1.07	1.39
$1600 < \rho \leq 1700$	1.13	1.47
$1700 < \rho \leq 1800$	1.23	1.59
$1800 < \rho \leq 1900$	1.33	1.72
$1900 < \rho \leq 2000$	1.45	1.88
$2000 < \rho \leq 2100$	1.58	2.05
$2100 < \rho \leq 2200$	1.73	2.24
$2200 < \rho \leq 2300$	1.90	2.46
$2300 < \rho \leq 2400$	2.09	2.71

Tabelle A.6 – Beton-Blähtonsteine

Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)

Dichte ρ (kg/m ³)	$\lambda_{\text{U,i}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{U,e}}$ W/(m.K)
$\rho \leq 400$	0.14	(1)
$400 < \rho \leq 500$	0.18	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.21	0.28
$600 < \rho \leq 700$	0.25	0.33
$700 < \rho \leq 800$	0.30	0.39
$800 < \rho \leq 900$	0.33	0.44
$900 < \rho \leq 1000$	0.38	0.50
$1000 < \rho \leq 1100$	0.43	0.57
$1100 < \rho \leq 1200$	0.49	0.65
$1200 < \rho \leq 1300$	0.55	0.73
$1300 < \rho \leq 1400$	0.61	0.80
$1400 < \rho \leq 1500$	0.67	0.88
$1500 < \rho \leq 1600$	0.75	0.99
$1600 < \rho \leq 1700$	0.83	1.10
(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.		

**Tabelle A.7 – Betonblocksteine mit sonstigen
Leichtzuschlägen**

Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)

Dichte ρ (kg/m³)	$\lambda_{U,i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U,e}$ W/(m.K)
$\rho \leq 500$	0.30	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.33	0.43
$600 < \rho \leq 700$	0.37	0.47
$700 < \rho \leq 800$	0.41	0.52
$800 < \rho \leq 900$	0.46	0.58
$900 < \rho \leq 1000$	0.51	0.65
$1000 < \rho \leq 1100$	0.57	0.73
$1100 < \rho \leq 1200$	0.64	0.82
$1200 < \rho \leq 1300$	0.72	0.91
$1300 < \rho \leq 1400$	0.82	1.04
$1400 < \rho \leq 1500$	0.92	1.17
$1500 < \rho \leq 1600$	1.03	1.31
$1600 < \rho \leq 1800$	1.34	1.70

(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.

Tabelle A.8 – Gasbeton-Blocksteine

Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)

Dichte ρ (kg/m³)	$\lambda_{U,i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U,e}$ W/(m.K)
$\rho \leq 300$	0.10	(1)
$300 < \rho \leq 400$	0.13	(1)
$400 < \rho \leq 500$	0.16	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.20	0.32
$600 < \rho \leq 700$	0.22	0.36
$700 < \rho \leq 800$	0.26	0.42
$800 < \rho \leq 900$	0.29	0.48
$900 < \rho \leq 1000$	0.32	0.52

(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.

Fugenlose Steinbauteile (Vollwände, Böden,...)

Tabelle A.9 – Normaler Schwerbeton

Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)

Normaler Schwerbeton	$\lambda_{U,i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U,e}$ W/(m.K)	Dichte ρ (kg/m ³)
Bewehrt	1.70	2.20	2 400
Unbewehrt	1.30	1.70	2 200

Tabelle A.10 – Leichtbetonvoll- oder bodenplatte⁽²⁾ oder Estrich (Beton-Blähton, Porenbeton, Schlackenbeton, Vermiculitbeton, Korkbeton, Perlitbeton, Polystyrolbeton usw.)

Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)

Wenn in Tabelle A.3 bis A.8 λ -Werte für diese Produkte angegeben sind, sind diese zu verwenden. In diesem Fall gelten die nachstehenden Werte nicht.

Dichte ρ (kg/m ³)	$\lambda_{U,i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U,e}$ W/(m.K)
$\rho < 350$	0.12	(1)
$350 \leq \rho < 400$	0.14	(1)
$400 \leq \rho < 450$	0.15	(1)
$450 \leq \rho < 500$	0.16	(1)
$500 \leq \rho < 550$	0.17	(1)
$550 \leq \rho < 600$	0.18	(1)
$600 \leq \rho < 650$	0.20	0.31
$650 \leq \rho < 700$	0.21	0.34
$700 \leq \rho < 750$	0.22	0.36
$750 \leq \rho < 800$	0.23	0.38
$800 \leq \rho < 850$	0.24	0.40
$850 \leq \rho < 900$	0.25	0.43
$900 \leq \rho < 950$	0.27	0.45
$950 \leq \rho < 1\,000$	0.29	0.47
$1\,000 \leq \rho < 1\,100$	0.32	0.52
$1\,100 \leq \rho < 1\,200$	0.37	0.58
$1\,200 \leq \rho < 1\,500$	0.60	0.90
$1\,500 \leq \rho < 1\,600$	0.85	1.20
$1\,600 \leq \rho$	1.30	1.70

(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.

(2) Wenn die Bodenplatten oder Platten mit einer Bewehrung versehen sind, die parallel zum Wärmestrom verläuft (z. B. Bügel, Bewehrungsmatten), ist der Wärmedurchgang bei der Bestimmung des U-Werts nach der Norm NBN EN 10211 zu berücksichtigen.

Gips, Mörtel und Verputz

Tabelle A.11 – Gips mit oder ohne Leichtzuschläge

Die spezifische Wärme c entspricht 1000 J/(kg.K)

Dichte ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)
$\rho \leq 800$	0.22	(1)
$800 < \rho \leq 1\,100$	0.35	(1)
$1\,100 < \rho$	0.52	(1)

(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.

Tabelle A.12 – Mörtel und Putz

Die spezifische Wärme c entspricht 1000 J/(kg.K)

Mörtel und Putz	λ_{Ui} W/(m.K)	λ_{Ue} W/(m.K)	Dichte ρ (kg/m ³)
Zementmörtel	0.93	1.50	1 900
Kalkmörtel	0.70	1.20	1 600
Gipsputz	0.52	(1)	1 300

(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft, unter anderem mit der Gefahr der Durchfeuchtung durch Regen, auszusetzen.

Holz und Holzderivate

Tabelle A.13 – Holz und Holzderivate

Werkstoff	Dichte ρ [kg/m ³]	λ_{Ui} [W/m.K]	λ_{Ue} [W/m.K]	Spezifische Wärme c [J/kg.K]
Bauholz aus Laubharthölzern und Nadelhölzern	$\rho \leq 600$	0.13	0.15	1880
	$\rho > 600$	0.18	0.20	
Sperrholzplatte	$\rho < 400$	0.09	0.11	1880
	$400 \leq \rho < 600$	0.13	0.15	
	$600 \leq \rho < 850$	0.17	0.20	
	$\rho \geq 850$	0.24	0.28	
Spanplatte	$\rho < 450$	0.10	(1)	1880
	$450 \leq \rho < 750$	0.14	(1)	
	$\rho \geq 750$	0.18	(1)	
Zementholzfaserplatte	$\rho \leq 1200$	0.23	(1)	1470
OSB-Platte (oriented strand board)	$\rho \leq 650$	0.13	(1)	1880
Holzfaserplatte (einschließlich MDF)	$\rho < 375$	0.07	(1)	1880
	$375 \leq \rho < 500$	0.10	(1)	
	$500 \leq \rho < 700$	0.14	(1)	
	$\rho \geq 700$	0.18	(1)	

(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.

Wärmedämmstoffe

Tabelle A.14a – Fabrikgefertigte Wärmedämmstoffe

Dämmstoff	λ_{U_i} W/(m.K)	λ_{U_e} W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)
Kork (ICB) - Platten	0.050	(1)	1 560
Mineralwolle (MW) – Platten oder Rollen	0.050	(1)	1 030
Polystyrolschaumstoff (EPS) - Platten	0.050	(1)	1 450
Extrudiertes Polyethylen (PEF) - Platten	0.050	(1)	1 450
Phenolschaum – beschichtet (PF) – beschichtete Platten	0.045 ⁽²⁾	(1)	1 400
Polyurethan – beschichtet (PUR/PIR) – beschichtete Platten	0.035	(1)	1 400
Extrudiertes Polystyrol (XPS) – Platten	0.045	(1)	1 450
Schaumglas (CG) - Platten	0.055	(1)	1 000
Expandiertes Perlit (EPB) - Platten	0.060	(1)	900
Expandiertes Vermiculit - Platten	0.090	(1)	900
Zelluloseplatten, fabrikgefertigt, mit $50 \leq \rho \leq 150 \text{ kg/m}^3$	0.060	(1)	1 100
Isoliermaterial in Platten- oder Rollenform aus Pflanzen- oder Tierfasern, fabrikgefertigt, sonstige außer Zellulose, mit $50 \leq \rho \leq 150 \text{ kg/m}^3$ ⁽³⁾⁽⁴⁾	0.060	(1)	1 100
(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen. (2) Bei beschichteten Dämmplatten aus geschlossenzelligem Phenolschaum beträgt dieser Wert nur 0,030 W/(m.K). (3) Beispiel: Hanf, Leinen, Federn, Stroh, Schafwolle... (4) Für höhere Dichten siehe Tabelle A.15			

Aufgrund einer Sonderregelung in Bezug auf die in Tabelle 14.a aufgeführten Werte für Gebäude, für die eine Baugenehmigung vor dem 1. Juni 2012 eingereicht wurde, finden folgende Werte Anwendung:

Tabelle A.14aa – Fabrikgefertigte Wärmedämmstoffe: gültige Werte für Baugenehmigungsanträge, die vor dem 1. Juni 2012 eingereicht wurden

Dämmstoff	λ_{U_i} W/(m.K)	λ_{U_e} W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)
Steinwolle (MW)	0.045	(1)	1 030
Polystyrolschaumstoff (EPS)	0.045	(1)	1 450
Extrudiertes Polyethylen (PEF)	0.045	(1)	1 450
Extrudiertes Polystyrol (XPS)	0.040	(1)	1 450
(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.			

Tabelle A.14b – Nicht fabrikgefertigte Wärmedämmstoffe und Wärmedämmstoffe, die ihre endgültige Form vor Ort erhalten ⁽¹⁾

Dämmstoff	λ_{U_i} W/(m.K)	λ_{U_e} W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)
Steinwolle (MW)	0.070	(2)	1 030
Polystyrolschaumstoff (EPS)	0.070	(2)	1 450
Phenolharzschaum (PF)	0.065	(2)	1 400
Polyurethan (PUR/PIR) ⁽³⁾	0.055	(2)	1 400
Geblähtes Perlitgranulat (EPB)	0.080	(2)	-
Geblähtes Vermiculitgranulat	0.110	(2)	1 080
Zellulose	0.080	(2)	1 100
Dämmstoff aus Pflanzen- oder Tierfasern, nicht fabrikgefertigt, andere als Zellulose ⁽⁴⁾	0.080	(2)	1 100
Karbamid--Formaldehydschaum (UF)	0.075	(2)	1 400
Geblähtes Tongranulat	0.150	(2)	1 000

(1) Diese Materialien können auf unterschiedliche Weise verarbeitet werden, wie zum Beispiel (je nach Fall) eingeblasen, eingestreut, eingespritzt, aufgeschleudert, eingeschüttet, ...

(2) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.

(3) Für vor Ort eingespritzte oder eingestreute PUR-Dämmstoffe muss der Wärmewiderstand der PUR-Dämmschicht gemäß den Regeln des § 7.3 korrigiert werden.

(4) Beispiel: Hanf, Leinen, Federn, Stroh, Schafwolle...

Sonstige Baustoffe

Tabelle A.15 – Sonstige Baustoffe

Baustoff	λ_{U_i} W/(m.K)	λ_{U_e} W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)	Dichte
Glas	1.00	1.00	750	2 500
Terracottafliesen	0.81	1.00	1 000	1 700
Steinzeugfliesen	1.20	1.30	1 000	2 000
Gummi	0.17	0.17	1 400	1 500
Linoleum, PVC-Platten	0.19	-	1 400	1 200
Teppich (Textil)	0.06	-	1 300	200
Mit natürlichen Mineralfasern armierte Zementplatten	0.35	0.50	1 000	$1\,400 \leq \rho \leq 1900$
Gussasphalt	0.70	0.70	1 000	2 100
Zementplatten, Magnesiumplatten, mit $300 \leq \rho \leq 900 \text{ kg/m}^3$	0.20	-	1 500	$300 \leq \rho \leq 900$
Dämmplatten oder -rollen aus Pflanzen- oder Tierfasern, fabrikgefertigt, mit $150 \leq \rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$ ⁽¹⁾	0.20	-	1 500	$150 \leq \rho \leq 500$
Bitumenmembran	0.23	0.23	1 000	1 100

(1) Beispiel: Hanf, Leinen, Federn, Stroh, Schafwolle...

Anhang B. Wärmedurchlasswiderstand (U-Wert) von inhomogenen Baustoffen

Bestimmte Wände werden aus großen Bauteilen mit Hohlräumen errichtet (z. B. Betonhohlblocksteine, Hohlziegel, Mischbaustoffe, ...). Diese Baustoffe können nicht durch eine gegebene Wärmeleitfähigkeit charakterisiert werden. Bei solchen Baustoffen ist der Wärmedurchlasswiderstand anzugeben, bei dessen Bestimmung die Innen- und Außenbedingungen nach Anhang A zu berücksichtigen sind. Der bei der Berechnung zu verwendende R-Wert ist U-Wert-Messungen nach der Norm NBN EN 8990 zu entnehmen. Alternativ können die R-Werte numerisch entsprechend den Regeln der Norm NBN EN ISO 10211 ermittelt werden.

In Tabelle B.1 ist auch eine Reihe von Standardwerten des Wärmedurchlasswiderstands bei Innenbedingungen angegeben.

Tabelle B.1 - Wärmedurchlasswiderstand von inhomogenen Baustoffen			
Die spezifische Wärme c beträgt 1 000 J/(kg.K)			
Baustoff		Dicke/Höhe der Bauteile	$R_{U,i}$ [m².K/W]
Mauerwerk in Schwerbetonhohlblockstein (1)		d = 14 cm	0.11
		d = 19 cm	0.14
		d = 29 cm	0.20
Mauerwerk in Leichtbetonhohlblockstein (2)		d = 14 cm	0.30
		d = 19 cm	0.35
		d = 29 cm	0.45
Fertigteil-Blindböden aus Tonhohlplatten	1 Hohlraum in Wärmestromrichtung	d = 8 cm	0.08
		d = 12 cm	0.11
	2 Hohlräume in Wärmestromrichtung	d = 12 cm	0.13
		d = 16 cm	0.16
		d = 20 cm	0.19
Fertigteil-Blindböden aus Schwerbeton (mit Hohlplatten)		d = 12 cm	0.11
		d = 16 cm	0.13
		d = 20 cm	0.15
Gipskartonplatten		d < 1.4 cm	0.05
		d ≥ 1.4 cm	0.08
(1) Schwerbeton falls $\rho_{\text{béton}} > 1\,200 \text{ kg/m}^3$			
(2) Leichtbeton falls $\rho_{\text{béton}} \leq 1\,200 \text{ kg/m}^3$			

Anhang C. Standardwerte des Feuchtegehalts und Umrechnungsfaktoren für Baustoffe aus Stein

Tabelle C.1 – Standardwerte des Feuchtegehalts und Umrechnungsfaktoren für Baustoffe aus Stein

Baustoff	Dichte ρ [kg/m ³]	Feuchtegehalt bei 23°C und 50% HR (NBN EN ISO 10456:2008)		Feuchtegehalt bei 20°C und 75% des kritischen Sättigungsgrads		Feuchteumrechnungs- faktor (NBN EN 12524)	
		u_{2i} [kg/kg]	Ψ_{2i} [m ³ /m ³]	u_{2e} [kg/kg]	Ψ_{2e} [m ³ /m ³]	f_u [kg/kg]	f_Ψ [m ³ /m ³]
Mauerziegel	700-2100	-	0.007	-	0.075	-	10
Kalksandstein	900-2200	-	0.012	-	0.090	-	10
Beton mit gebräuchlichen Zuschlagstoffen	1600-2400	-	0.025	-	0.090	-	4
Beton mit Blähton	400-1 700	0.020	-	0.090	-	4	-
Beton mit sonstigen Leichtzuschlägen	500-1800	-	0.030	-	0.090	-	4
Porenbeton	300-1000	0.026	-	0.150	-	4	-
Polystyrolbeton	500-800	-	0.015	-	0.090	-	5
Mörtel	250-2 000	-	0.040	-	0.150	-	4

Anhang D. Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmenprofilen (U_f -Werte): Standardwerte

Dieser Anhang gilt für vertikal eingebaute Rahmenprofile, die die angegebenen Kriterien oder Bedingungen erfüllen. Bei allen sonstigen Rahmenprofilen sind die U_f -Werte entsprechend den Angaben in § 9.2.1 zu bestimmen.

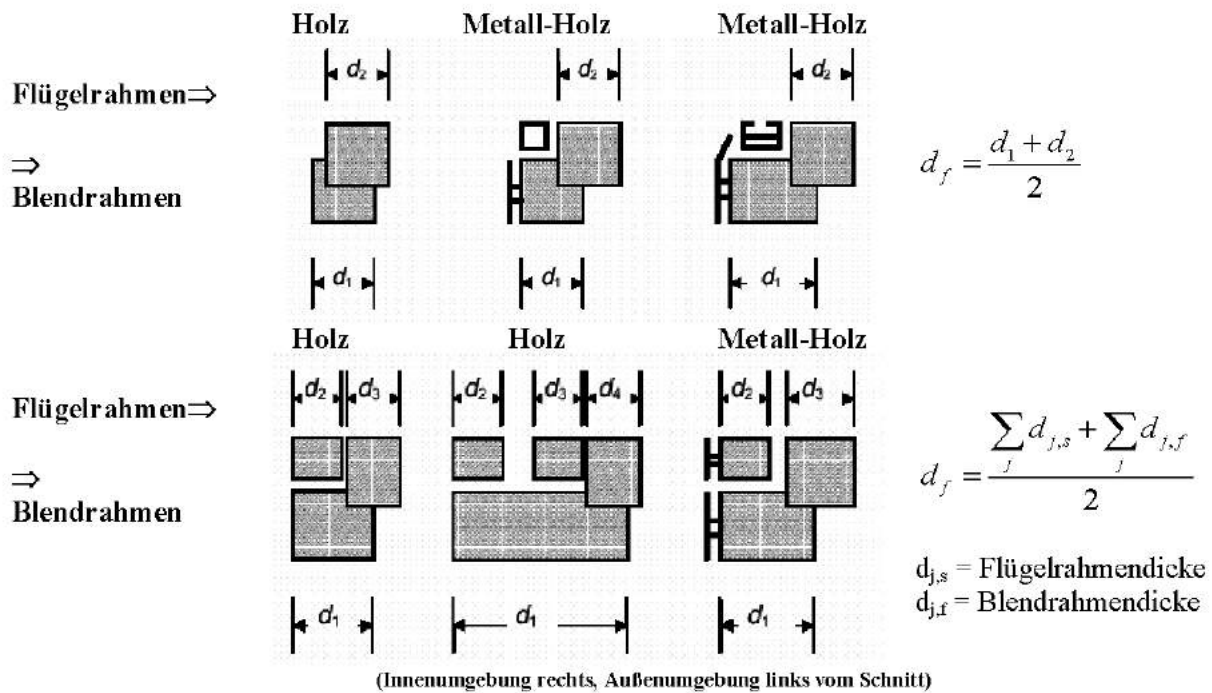
D.1 Rahmenprofile aus Holz

Bei Rahmenprofilen aus Holz können die vereinfachten U_f -Werte in Tabelle D.1 verwendet werden. Bei in dieser Tabelle nicht enthaltenen Dicken ist der U_f -Wert zu berücksichtigen, der der nächst kleineren Dicke entspricht.

Dicke des Rahmenprofils d_f (in mm) (siehe Abb. D.1)	U_f [W/m ² K] (1)	
	Laubhölzer $\lambda_u = 0,18$ W/m.K	Nadelhölzer $\lambda_u = 0,13$ W/m.K
50	2,36	2,00
60	2,20	1,93
70	2,08	1,78
80	1,96	1,67
90	1,86	1,58
100	1,75	1,48
110	1,68	1,40
120	1,58	1,32
130	1,50	1,25
140	1,40	1,18
150	1,34	1,12
(1)	Vereinbarungen für Rahmenprofile aus Holz: - Standardwert für die Rahmenprofildicke ist 50 mm - Bei dem Standardwert wird davon ausgegangen, dass es sich um Laubholz handelt	

Tabelle D.1 - Wärmedurchgangskoeffizient von Rahmenprofilen aus Holz, U_f in W/m²K

Die Dicke (d_f) von Rahmenprofilen aus Holz ist als mittlere Dicke der Rahmenprofilkomponenten (Blendrahmen und Flügel) zu bestimmen, wie in Abb. D.1 dargestellt.

Abb. D.1 - Definition der Dicke d_f verschiedener Holzrahmen

D.2 Rahmenprofile aus Metall

D.2.1 Begriffsbestimmung

Der Wärmedurchlasswiderstand R_f eines Rahmenprofils aus Metall wird ausgedrückt durch:

$$R_f = \frac{1}{U_{f0}} - 0,17 \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (\text{D } 1)$$

dabei ist:

- U_{f0} [W/m²K]: U-Wert des Rahmenprofils, bestimmt mit der Annahme abgewinkelte Fläche = Projektionsfläche (siehe Tabelle D.2).

Der Wert U_f eines Rahmenprofils aus Metall wird ausgedrückt durch:

$$U_f = \frac{1}{\frac{R_{si} A_{f,i}}{A_{d,i}} + R_f + \frac{R_{se} A_{f,e}}{A_{d,e}}} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (\text{D } 2)$$

dabei ist:

- $A_{d,i}$, $A_{d,e}$, $A_{f,i}$, $A_{f,e}$ [m²]: Profilflächen des Rahmens, definiert in § 4.1.3
- R_{si} [m²K/W]: innerer Wärmeübergangswiderstand des Rahmenprofils, bestimmt nach § 4.4.3 (oder siehe Tabelle 1)
- R_{se} [m²K/W]: äußerer Wärmeübergangswiderstand des Rahmenprofils, bestimmt nach § 4.4.3 (oder siehe Tabelle 1)
- R_f [m²K/W]: Wärmedurchlasswiderstand des Rahmenprofils, berechnet nach Gleichung (D1)

D.2.2 Rahmenprofile aus Metall mit wärmetechnischer Trennung

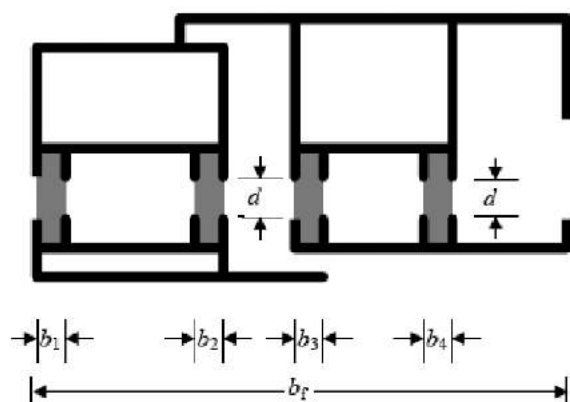
Eine wärmetechnische Trennung dient der vollständigen Trennung der auf der Warmseite des Fensters gelegenen Teile von Rahmenprofilen aus Metall von den auf der Kaltseite gelegenen Teilen dieser Rahmenprofile.

Bei Rahmenprofilen aus Metall mit wärmetechnischer Trennung wird der U_f -Wert durch konstruktive Eigenschaften beeinflusst, wie:

- kleinster Abstand d zwischen unterbrochenen Abschnitten aus Metall;

- Gesamtbreite b der eigentlichen wärmetechnischen Trennungen;
- Wärmeleitfähigkeit λ des Werkstoffs der wärmetechnischen Trennung;
- Verhältnis zwischen der Gesamtbreite der wärmetechnischen Trennung und der projizierten Gesamtbreite des Rahmenprofils.

In Tabelle D.2 sind die U_f -Werte angegeben, die für die beiden in Abb. D.2 und Abb. D.3 dargestellten Typen von Rahmenprofilen aus Metall zu verwenden sind, für die die nachstehenden Bedingungen gelten:



Die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs der wärmetechnischen Trennung ist:

$$0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/m.K}$$

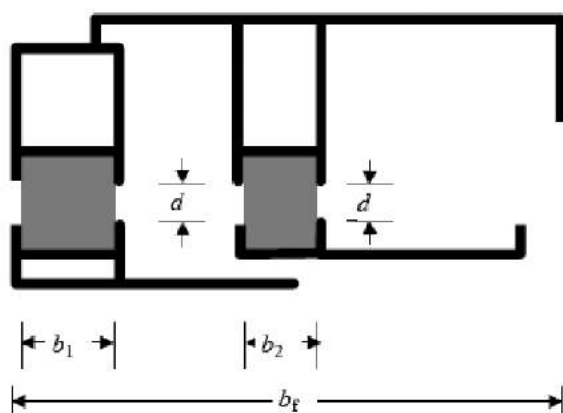
d : kleinster Abstand zwischen den durch die Trennung getrennten Rahmenprofilen

b_j : Breite der Trennung j

b_f : Breite des Profils

$$\sum_j b_j \leq 0,2 \cdot b_f$$

Abb. D.2 - Abschnitt Typ 1: wärmetechnische Trennung mit $0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/m.K}$



Die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs der wärmetechnischen Trennung ist:

$$0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/m.K}$$

d : kleinster Abstand zwischen den durch die Trennung getrennten Rahmenprofilen

b_j : Breite der Trennung j

b_f : Breite des Profils

$$\sum_j b_j \leq 0,3 \cdot b_f$$

Abb. D.3 – Abschnitt Typ 2: wärmetechnische Trennung mit $0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/m.K}$

d (in mm): kleinster Abstand zwischen Rahmenprofilen aus Metall mit wärmetechnischer Trennung	U_{f0} [W/m ² K] (1)	R_f [m ² K/W]	U_f [W/m ² K] (2)
8	3,56	0,11	4,51
10	3,36	0,13	4,19
12	3,18	0,14	3,91
14	3,08	0,15	3,76
16	2,96	0,17	3,59
18	2,85	0,18	3,43
20	2,75	0,19	3,28
22	2,70	0,20	3,21
24	2,60	0,21	3,07
26	2,58	0,22	3,04
28	2,55	0,22	3,00
30	2,53	0,23	2,97
32	2,52	0,23	2,96
34	2,51	0,23	2,95
36	2,50	0,23	2,93

(1) U_{f0} ist der theoretische U_f -Wert des Rahmenprofils, wenn die projizierten und abgewinkelten Flächen des Profils innen und außen gleich sind, d. h. wenn $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$ und $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$

(2) Als vereinfachter Wert für den kleinsten Abstand d zwischen den Rahmenprofilen ist $d = 10$ mm zu verwenden. Die U_f -Werte gelten nur, wenn $A_{f,i}/A_{d,i} \geq 0,50$, andernfalls ist eine genaue Berechnung nach der Norm NBN EN ISO 10077-2 durchzuführen.

Tabelle D.2 - Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmenprofilen aus Metall mit wärmetechnischer Trennung, U_f in W/m²K

D.2.3 Rahmenprofile aus Metall ohne wärmetechnische Trennung

Für Rahmenprofile ohne wärmetechnische Trennung gilt die allgemeine Regel $R_f = 0$ m²K/W und $U_{f0} = 5,90$ W/m²K.

Je nach den Flächenverhältnissen $A_{f,i}/A_{d,i}$ und $A_{f,e}/A_{d,e}$, schwankt der entsprechende, nach Gleichung (D 2) berechnete U_f -Wert der Rahmenprofile aus Metall zwischen:

- $U_f = 5,9$ W/m²K (bei $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$ und $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$);
- $U_f = 9,0$ W/m²K (bei den pauschalen unteren Grenzwerten: $A_{f,i}/A_{d,i} = 0,60$ bei $A_{f,e}/A_{d,e} = 0,82$).

D.3 Rahmenprofile aus Kunststoff

In Abb. D.4 ist ein Beispiel für ein Rahmenprofil aus Kunststoff dargestellt, mit drei Kammern, die in Richtung Wärmestrom hintereinander angeordnet sind, wobei die mittlere Kammer mit einer Metallverstärkung versehen ist.

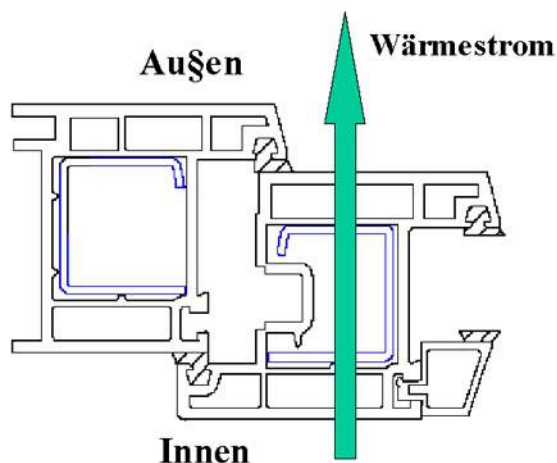
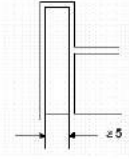
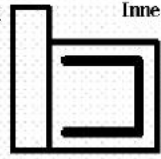
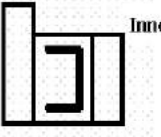


Abb. D.4 - Rahmenprofil aus Kunststoff mit Verstärkung und 3 in Richtung Wärmestrom hintereinander angeordneten Kammern

In Tabelle D.3 sind die vereinfachten U_F -Werte für Rahmenprofile aus Kunststoff mit Metallverstärkungen angegeben. Wenn keine anderen Daten bekannt sind, können diese Werte auch für Profile ohne Verstärkungen verwendet werden.

Rahmenprofilwerkstoff und -typ		U_f [W/m ² K] ⁽¹⁾
PVC-Rahmenprofil mindestens 5 mm zwischen den Kammerwänden ⁽²⁾ , Beispiel: 	2 Kammern (in Richtung Wärmestrom hintereinander angeordnet) mit oder ohne Verstärkung Außen  Innen	2,20
	3 Kammern (in Richtung Wärmestrom hintereinander angeordnet) mit oder ohne Verstärkung Außen  Innen	2,00
	4 Kammern (in Richtung Wärmestrom hintereinander angeordnet) mit oder ohne Verstärkung	1,80
	5 Kammern (in Richtung Wärmestrom hintereinander angeordnet) mit oder ohne Verstärkung	1,60
PUR-Rahmenprofil	Mit Metallkern und einer PUR-Dicke von mindestens 5 mm	2,80

(1) Standardwerte für Rahmenprofile aus Kunststoff:

- Werkstoff unbekannt: als U_f -Wert den Wert für PUR-Rahmenprofil verwenden
- Anzahl der Kammern unbekannt: als U_f -Werte die Werte für Rahmenprofile mit 2 Kammern verwenden

(2) Bei Abständen unter 5 mm muss der U_f -Wert nach NBN EN ISO 10077-2 berechnet oder nach NBN EN 12412-2 gemessen werden

Tabelle D.3 – Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmenprofilen aus Kunststoff, U_f in W/m²K

Anhang E. Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (Ψ -Wert) von Verbindungsbereichen zwischen Rahmenprofilen, Verglasungen, Paneelen und Riegeln

E.1 Allgemeine Bestimmungen

Der U_g -Wert der Verglasung und der U_p -Wert der Paneele gelten für den Mittenbereich der Verglasung oder des Paneels und berücksichtigen nicht den Effekt der Abstandhalter an Glas- oder Paneelrändern. Darüber hinaus ist für Profile, in die keine Verglasung eingesetzt ist, der U_F -Wert des Rahmenprofils zu bestimmen.

Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient (Ψ -Wert) beschreibt den zusätzlichen Wärmedurchgang zwischen Rahmen, Verglasung (oder Paneel) und dem Abstandhalter. Der Ψ -Wert wird im Wesentlichen durch die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs beeinflusst, aus dem der Abstandhalter besteht, sowie durch die Rahmenkonstruktion.

In dem vorliegenden Anhang sind die Ψ -Standardwerte für typische Kombinationen von Rahmenprofilen, Verglasungen (oder Paneelen) und Abstandhaltern angegeben. Darüber hinaus werden die Verbindungsbereiche von Vorhangfassaden behandelt, die z. B. durch die Kombinationen von Verglasungen (oder Paneelen), Profilen und Riegeln entstehen.

Alle Werte, die nicht durch die verschiedenen Tabellen gedeckt sind, sind anhand der numerischen Berechnung nach der Norm NBN EN ISO 10077-2 zu bestimmen.

ANM.: Bei Einfachverglasung ist Ψ üblicherweise = 0.

E.2 Verbindungsbereich zwischen Rahmenprofil und Verglasung

Es ist eine Differenz zwischen den konventionellen Abstandhaltern (Aluminium oder Stahl) und den thermisch verbesserten Abstandhaltern festzustellen, die dem Kriterium bezüglich der wärmetechnischen Trennung entsprechen, nach:

$$\Sigma (d \times \lambda) \leq 0,007 \quad [\text{W/K}] \quad (\text{E } 1)$$

dabei ist:

- d [m]: Wanddicke des Abstandhalters
- λ [W/m.K]: Wärmeleitfähigkeit des Abstandhalterwerkstoffs (siehe Tabelle A.16)

Das Kriterium gilt für alle Wärmeströme, die parallel zum Hauptwärmestrom verlaufen, wobei die Dicke d senkrecht zum Hauptwärmestrom zu messen ist (siehe Abb. E.1).

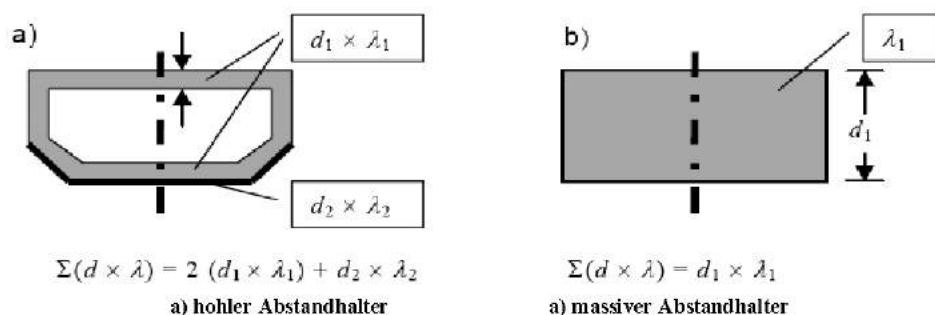


Abb. E.1 - Beispiele für die Bestimmung des Kriteriums eines thermisch verbesserten Abstandhalters

In Tabelle E.1 sind vereinfachte Ψ_g -Werte für konventionelle und für thermisch verbesserte Abstandhalter in Abhängigkeit von dem Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung und des Profils angegeben. Alternativ können auch die Werte in Tabelle E.2 verwendet werden.

Rahmentyp	Mehrfachverglasung			
	unbeschichtete Verglasung		beschichtete Verglasung	
	konventioneller Abstandhalter	dämmender Abstandhalter	konventioneller Abstandhalter	dämmender Abstandhalter
Holz oder PVC	0,06	0,05	0,08	0,06
Metall mit thermischer Trennung	0,08	0,06	0,11	0,08
Metall ohne thermische Trennung	0,02	0,01	0,05	0,04

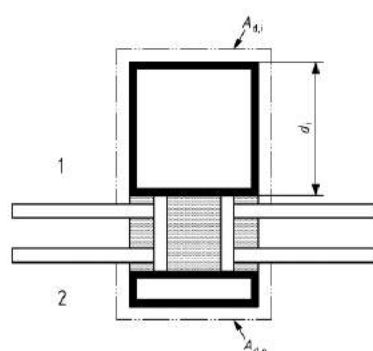
Tabelle E.1 – Ψ_g -Werte [W/m.K] für Verbindungsbereiche zwischen Profilen und Verglasungen mit konventionellen und mit thermisch verbesserten Abstandhaltern, Variante 1.

Rahmenprofil	Einfachverglasung	Mehrfachverglasung			
		$U_g > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_g \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	
		konventioneller Abstandhalter	dämmender Abstandhalter	konventioneller Abstandhalter	dämmender Abstandhalter
$U_f \geq 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,02	0,01	0,05	0,04
$U_f < 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,06	0,05	0,11	0,07

Tabelle E.2 – Ψ_g -Werte [W/m.K] für Verbindungsbereiche zwischen Profilen und Verglasungen mit konventionellen und mit thermisch verbesserten Abstandhaltern, Variante 2

E.3 Verbindungsbereich zwischen Riegel und Verglasung

In Tabelle E.3 sind die $\Psi_{m,g}$ oder $\Psi_{t,g}$ -Standardwerte für den Verbindungsbereich zwischen waagerechten oder senkrechten Riegeln und Verglasungen mit konventionellen und mit thermisch verbesserten Abstandhaltern angegeben.



- 1 : Innenumgebung
2 : Außenumgebung

d_i : Tiefe des senkrechten oder waagerechten Riegels (gemessen auf der Innenseite)

Abb. E.2 – Innentiefe der Riegel

Riegeltyp (Werkstoff)	d_i (mm) (*)	Mehrfachverglasung (6-mm-Scheibe)			
		unbeschichtete Verglasung		beschichtete Verglasung	
		konventioneller Abstandhalter	dämmender Abstandhalter	konventioneller Abstandhalter	dämmender Abstandhalter
Aluminium-Holz	-	0,08	0,06	0,11	0,08
Metall mit thermischer Trennung	$d_i \leq 100$	0,13	0,09	0,17	0,11
	$100 < d_i \leq 200$	0,15	0,10	0,19	0,12

(*) d_i ist die Innentiefe des Riegels (siehe Abb. E.2)

Tabelle E.3 – $\Psi_{m(t),g}$ -Werte [W/m.K] für den Verbindungsbereich zwischen Riegeln und Verglasungen mit konventionellen und mit thermisch verbesserten Abstandhaltern

E.4 Verbindungsbereich zwischen Profil und Füllung

In Tabelle E.4 sind die Standardwerte für den Verbindungsbereich zwischen Profil, Abstandhalter und Paneel ($\Psi_{f,p}$) angegeben.

Massivbauteiltyp	Wärmeleitfähigkeit des Abstandhalters [W/mK]	$\Psi_{f,p}$ -Wert (W/mK)
Typ 1 (siehe Abb. E.3): (Aluminium/Aluminium) – (Aluminium/Glas) – (Stahl/Glas)	-	0,13
Typ 2 (siehe Abb. E.3): Aluminium / Aluminium (beschichtet)	0,2 0,4	0,20 0,29
Aluminium / Glas (beschichtet)	0,2 0,4	0,18 0,20
Stahl / Glas (beschichtet)	0,2 0,4	0,14 0,18

Tabelle E.4 - $\Psi_{f,p}$ -Werte für den Verbindungsbereich zwischen Profilen und Paneelen

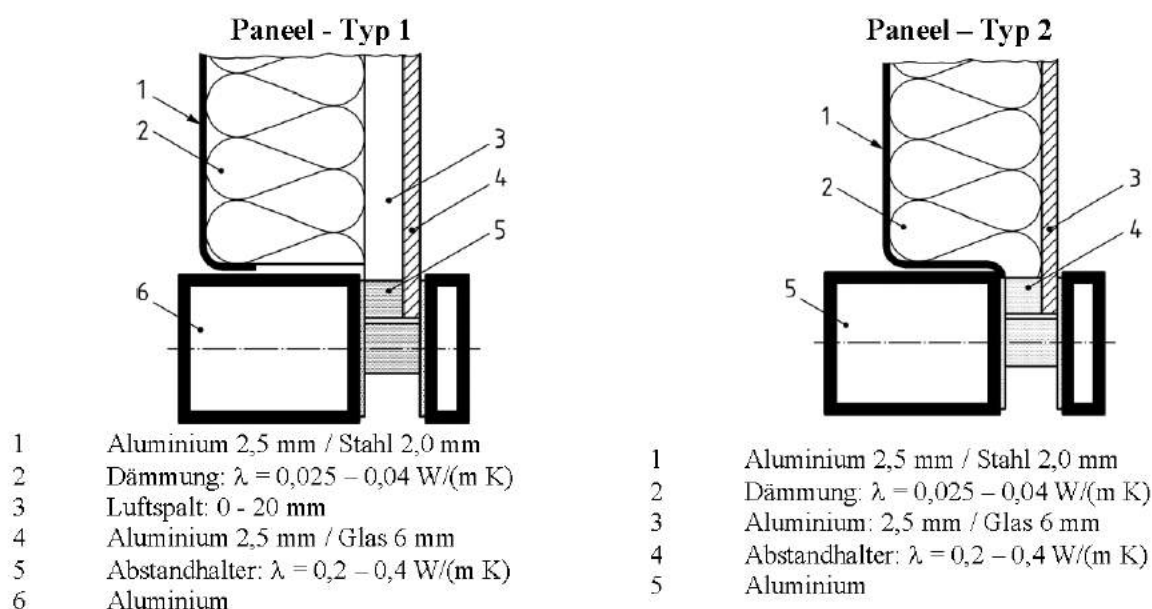


Abb. E.3 - Paneeltypen

ANM.: Wenn das vordere und das hintere Paneel aus einem Werkstoff mit einer Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert) von unter $0,5 \text{ W/m.K}$ bestehen und der Abstandhalter aus einem Werkstoff mit $\lambda < 0,2 \text{ W/mK}$ besteht, dann kann $\Psi_{f,p} = 0$ verwendet werden.

E.5 Verbindungsbereich zwischen Profil und Riegel

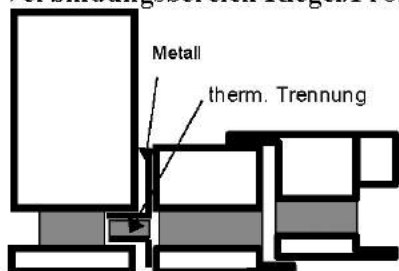
E.5.1 Aluminium- und Stahlprofile

In Tabelle E.5 sind die Standardwerte für den Verbindungsbereich zwischen Riegeln und Profilen angegeben ($\Psi_{m,f}$ oder $\Psi_{t,f}$).

Typ (siehe Abb. unten)	Beschreibung des Verbindungsbereichs zwischen Profil und Riegel	$\Psi_{m,f}$ oder $\Psi_{t,f}$ -Wert (W/mK)
Typ A	Zusätzliches Metallprofil mit thermischer Trennung	0,11
Typ B	Zusätzliches Profil mit niedriger Wärmeleitfähigkeit ($\lambda \leq 0,3$ W/mK)	0,05
Typ C1/C2	Eingebaut unter Verwendung der thermischen Trennung des Profils	0,07
Typ D	Montage des Profils auf dem Riegel, mit Verlängerung des Aluminiumaußenprofils. Füllwerkstoff mit niedriger Wärmeleitfähigkeit ($\lambda \leq 0,3$ W/mK).	0,07

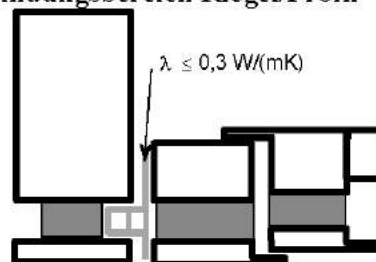
Tabelle E.5 – $\Psi_{m,f}$ und $\Psi_{t,f}$ -Werte für die Verbindungsbereiche zwischen Profil und Riegeln (Aluminium oder Stahl)

Verbindungsbereich Riegel/Profil – Typ A



Montage des Profils auf dem Riegel mit zusätzlichem Metallprofil mit thermischer Trennung

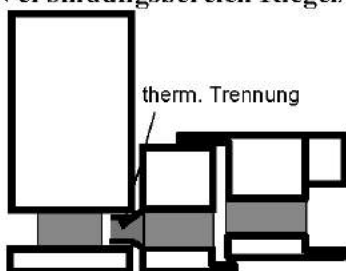
Verbindungsbereich Riegel/Profil - Typ B



Montage des Profils auf dem Riegel mit zusätzlichem Profil mit niedriger Wärmeleitfähigkeit

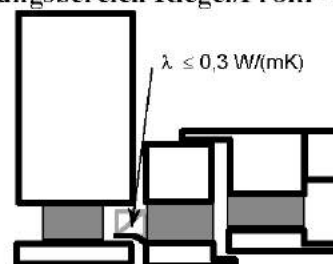
Abb. E.4 – Verbindungsbereich Profil/Riegel (Typ A und Typ B)

Verbindungsbereich Riegel/Profil - Typ C1



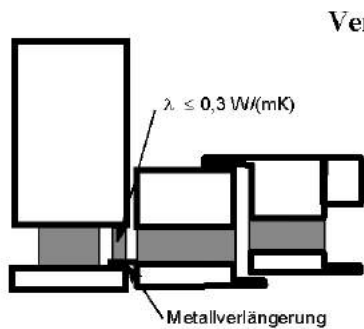
Montage des Profils auf dem Riegel unter Verwendung einer Verlängerung der thermischen Trennung des Profils

Verbindungsbereich Riegel/Profil - Typ C2



Montage des Profils auf dem Riegel unter Verwendung einer Verlängerung der thermischen Trennung des Profils

Abb. E.5 - Verbindungsbereich Profil/Riegel (Typ C1 und Typ C2)



Montage des Profils auf dem Riegel unter Verwendung einer Verlängerung des Aluminiumaußenprofils. Füllwerkstoff mit niedriger Wärmeleitfähigkeit ($\lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$).

Abb. E.6 - Verbindungsbereich Profil/Riegel (Typ D)

E.5.2 Holzprofile und Holz-Aluminiumprofile

In Tabelle E.6 sind die Standardwerte für den Verbindungsbereich zwischen Profilen und Riegeln angegeben ($\Psi_{f,m}$ oder $\Psi_{f,t}$).

Typ	Bedingungen für die U-Werte von waagerechten und senkrechten Riegeln (U_m und U_t)	$\Psi_{m,f}$ oder $\Psi_{t,f}$ -Wert (W/mK)
Typ A	$U_m > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ oder $U_t > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,02
Typ B	$U_m \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ oder $U_t \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,04

Tabelle E.6 – $\Psi_{m,f}$ und $\Psi_{t,f}$ -Werte für die Verbindungsbereiche zwischen Profilen und Riegeln (Holz oder Holz-Aluminium)

Verbindungsbereich Riegel/Profil - Typ A und Typ B

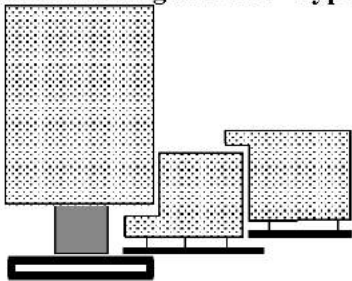


Abb. E.7 - Verbindungsbereich Riegel/Profil (Typ A und Typ B)

E.6 Bestimmung von U_f bei in eine Vorhangfassade eingebauten Profilen

Der U_f -Wert von Profilen, die über ein zusätzliches Profil (Typ A und Typ B – siehe Abb. E.4) in der Fassade in eine Vorhangfassade eingebaut sind, ist nach der Norm NBN EN ISO 10077-2 zu berechnen. Der Wärmestrom durch das zusätzliche Profil ist in Form der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Riegel ($\Psi_{m,f}$ und $\Psi_{t,f}$ -Werte) zu berücksichtigen, die die thermische Wechselwirkung zwischen den Riegeln und den Profilen beschreiben.

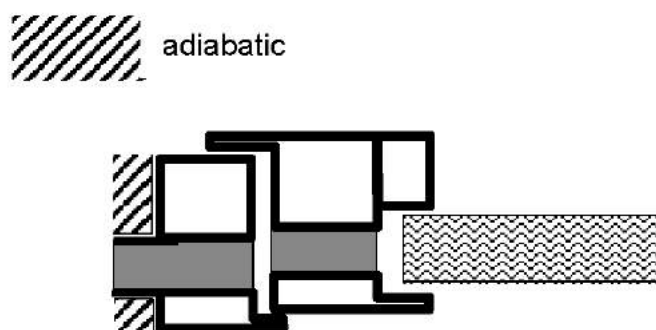


Abb. E.8 – Randbedingungen für die Bestimmung des U_f -Werts eines Rahmens, der direkt in eine Vorhangfassade eingebaut ist (Metallprofil – Typ C und Typ D)

Das allgemeine Berechnungsverfahren für die Bestimmung des U_f -Werts von Profilen, die direkt in eine Vorhangfassade eingebaut sind (Typ C und Typ D – siehe Abb. E.5 und Abb. E.6) ist in der Norm NBN EN ISO 10077-2 beschrieben. Die Oberfläche des in die Riegel eingebauten Profils ist bei der Berechnung als adiabatisch zu betrachten (siehe Abb. E.8). Der zusätzliche Wärmestrom, der durch den Einbau in die Vorhangfassade entsteht, ist anhand der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Riegel ($\Psi_{m,f}$ und $\Psi_{t,f}$ -Werte) zu berücksichtigen, die die thermische Wechselwirkung zwischen den Riegeln und dem Profil darstellen.

Anhang F. Wärmeübertragung über das Erdreich

F.1 Notwendige spezifische Daten

F.1.1 Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs

Im Rahmen der GEE-Reglementierung gelten immer die folgenden Annahmen:

- Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs: $\lambda = 2,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- der Einfluss des Grundwassers ist zu vernachlässigen, d. h. $G_w = 1$

F.1.2 Charakteristisches Bodenplattenmaß und wirksame Dicke

Das charakteristische Bodenplattenmaß (B' in m) ist definiert als das Verhältnis zwischen der erdanliegenden Gesamtfläche (A in m^2) und dem halben Umfang (P in m):

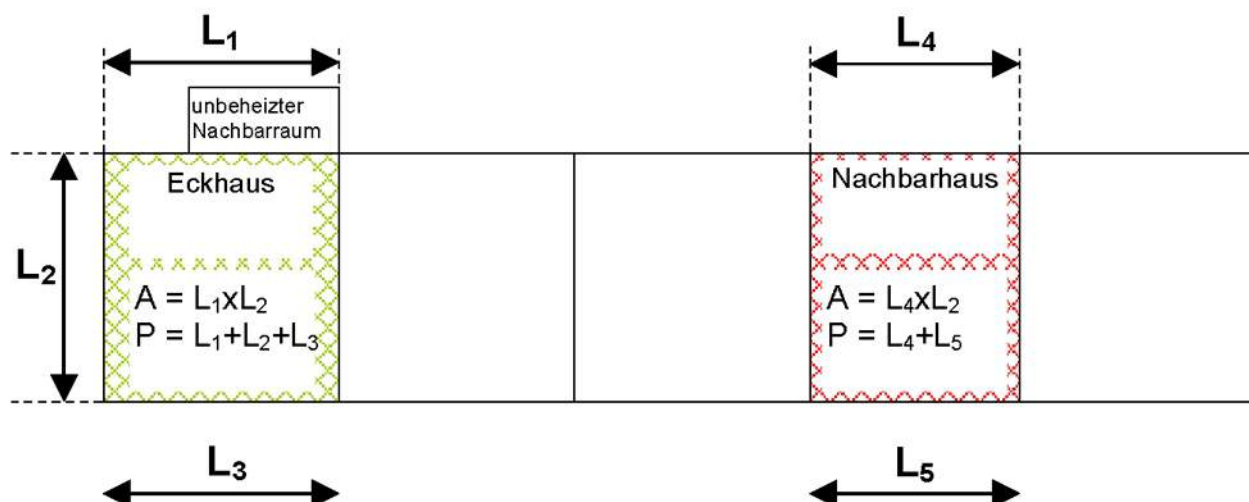
$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad [\text{m}] \quad (\text{F1})$$

Der Umfang P (oder die Bodenkontur) der Bodenplatte eines geschützten Volumens ist die gemessene waagerechte Gesamtlänge, über die die Bodenfläche A dieser Bodenplatte die Außenumgebung oder einen unbeheizten Nachbarraum berührt.

Weitere Regeln für die Bestimmung von P und/oder A sind:

- bei einem gedämmten Gebäude auf Erdreich ist P = die gesamte Gebäudekontur und A = die Gesamtfläche der Bodenplatte auf Erdreich;
- bei einem Teil eines Gebäudekomplexes (z. B. Reihenhäuser) ist P als Gesamtlänge der der Außenumgebung ausgesetzten Vorder- und Rückseite zu bestimmen (die an ein beheiztes Nachbargebäude anliegenden Seiten sind also nicht zu berücksichtigen); A ist wiederum = Gesamtfläche der Bodenplatte auf Erdreich;
- bei der Bestimmung von P ist ein möglicherweise bestehender unbeheizter Nachbarraum nicht zu berücksichtigen; die Länge der Grenze zwischen dem geschützten Volumen und dem unbeheizten Nachbarraum ist also bei der Bestimmung von P zu berücksichtigen (siehe Abb.);
- P und A sind mit den Außenmaßen zu bestimmen.

ANM.: Die Höhen einer senkrechten Höhenänderung des Erdreichs in einer Bodenplatte sind für die Bestimmung des charakteristischen Bodenplattenmaßes bei P nicht zu berücksichtigen, sie sind jedoch bei der Bestimmung der Transmission und des Wärmeverlusts am Rand als Zuschlag auf P zu berücksichtigen, in der Form $P \cdot \Psi_g$.



Das Konzept der "wirksamen Dicke" (d_i bei Bodenplatten und d_g und d_w bei Wänden unter der Erde) ist ein arithmetisches Konzept, das eingeführt wurde, um die Schreibung der verschiedenen Formeln für den U-Wert zu vereinfachen.

Bei variierender Wanddicke muss für w der kleinste Wert berücksichtigt werden.

F.2 Bestimmung des U-Werts und des stationären Wärmedurchgangs H_g

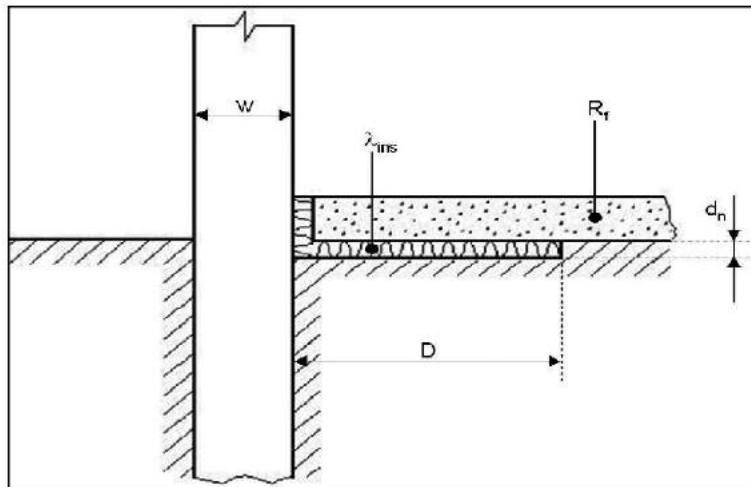
F.2.1 Allgemeine Bestimmungen

In den nachstehenden Paragraphen ist die detaillierte Bestimmung des U-Werts von erdanliegenden Wänden und des Wärmedurchgangskoeffizienten H_g für die verschiedenen Typen erdanliegender Wände angegeben, insbesondere:

- Bodenplatten auf Erdreich (siehe F.2.2)
- aufgeständerte Bodenplatten (siehe F.2.3)
- Kellerwände (siehe F.2.4)

F.2.2 Bodenplatten auf Erdreich

Bodenplatten auf Erdreich bestehen aus einer Bodenplatte, deren gesamte Fläche direkt das Erdreich berührt (unabhängig davon, ob die Bodenplatte auf ihrer gesamten Flächen vom Erdreich gestützt wird oder nicht), und die (etwa) auf Geländehöhe liegt. Die Bodenplatte kann ungedämmt, vollflächig gedämmt oder zum Teil gedämmt sein (z. B. waagerechte oder senkrechte Randdämmung).



Notwendige Daten:

- Erdreich: λ -Wert [W/m.K] Grundwasserfaktor G_w [-] nach F.1.1
- Außenwand: Gesamtdicke w [m]
- Bodenplatte: Umfang P [m], Fläche A [m²], $B' = 2 \cdot A/P$ und Wärmedurchgangswiderstand der Bodenplatte (von der Innenfläche bis zur erdberührenden Fläche) R_f [m²K/W]
- Randdämmung: Breite oder Tiefe D [m], Dicke d_n [m], λ_{ins} -Wert und Wärmedurchlasswiderstand $R_n = d_n/\lambda_{ins}$ [m²K/W]

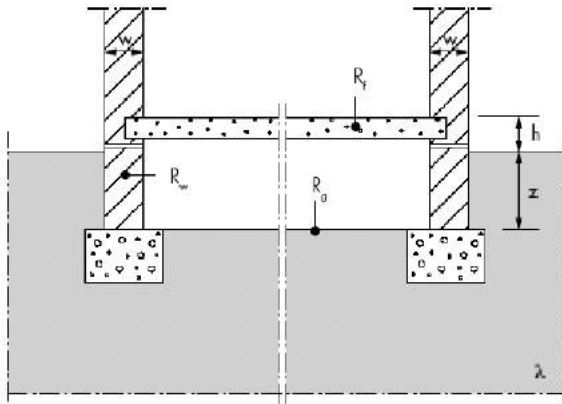
Das Berechnungsverfahren (U-Wert und stationärer Wärmedurchgang) verläuft wie folgt:

1. Schritt	Berechnen Sie d_t nach: $d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$
2. Schritt	Berechnen Sie U_0: $U_0 = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right)$ wenn $dt < B'$ oder $U_0 = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t}$ wenn $dt \geq B'$ (gut gedämmte Bodenplatte)
3. Schritt ⁽¹⁾	Ohne Randdämmung: $U = U_0$ Mit Randdämmung: $U = U_0 + 2 \Psi_e / B'$, dabei ist: ▪ waagerechte Randdämmung: $\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]$ ▪ senkrechte Randdämmung: $\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]$ dabei ist: $d' = R_n \cdot \lambda - d_n$ Bei kombinierter waagerechter und senkrechter Randdämmung ist der Ψ_e-Wert mit dem größten Einfluss (Reduktion) auf U zu verwenden.
4. Schritt	Der stationäre Wärmedurchgang ist wie folgt zu berechnen: $H_g = G_w \cdot (A \cdot U + P \cdot \Psi) \square$ Ψ ist der längenbezogene Wärmeverlustkoeffizient des Verbindungsbereichs Bodenplatte/Außenwand/Fundament. Wenn der Einfluss der Randdämmung auch bei dem Ψ-Wert berücksichtigt wird, muss kein Ψ_e-Wert berücksichtigt werden ($U = U_0$).

Bei der Beurteilung der Anforderung $U_{\max}$ nach Anhang III des vorliegenden Erlasses ist der U-Wert zu berücksichtigen.

F.2.3 Aufgeständerte Bodenplatten

Eine aufgeständerte Bodenplatte hat keine direkte Erdberührung, es läuft jedoch ein Wärmeverluststrom durch den Kriechkeller und über das Erdreich zur Außenumgebung. Es gibt einen zusätzlichen Wärmeverlust, wenn der Kriechkeller mit Außenluft belüftet wird. Anzuwenden ist das nachstehende Berechnungsverfahren:



Notwendige Daten:

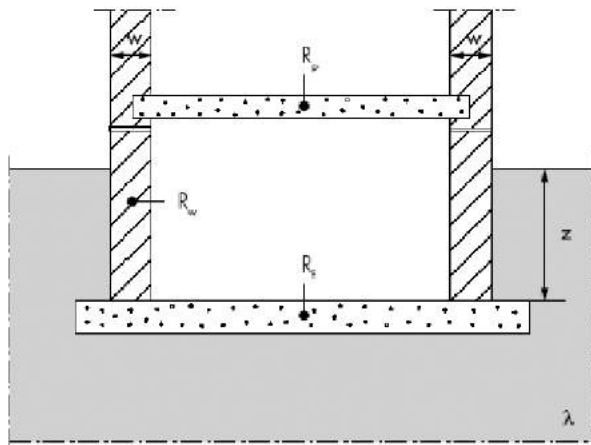
- Erdreich: λ -Wert [W/m.K] und Grundwasserfaktor G_w [-]
- Kriechkellerwand: Dicke auf Bodengleiche w [m], Wärmedurchlasswiderstand R_w [m²K/W], durchschnittliche Tiefe im Erdreich z [m]
- aufgeständerte Bodenplatten: Umfang P [m], Fläche A [m²], $B' = 2 \cdot A/P$ [m], Wärmedurchlasswiderstand R_f [m²K/W] und durchschnittliche Höhe über Geländeoberkante h [m]
- Boden des Kriechkellers: Wärmedurchlasswiderstand R_o [m²K/W]
- Belüftung des Kriechkellers: Fläche der Lüftungsöffnungen geteilt durch den Umfang ε [m²/m], Windgeschwindigkeit v [m/s] und Windschutzfaktor f_w [-]

1. Schritt	Berechnen Sie U_f (aufgeständerte Bodenplatte): $U_f = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{se}} \quad (\text{dabei ist } R_{si} = 0,17)$
2. Schritt	Berechnen Sie U_w (Wandteil unterhalb der Geländeoberkante): $U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad (\text{dabei ist } R_{si} = 0,13)$
3. Schritt	Berechnen Sie d_g nach: $d_g = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se})$
4. Schritt	Berechnen Sie d_w nach: $d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se})$
5. Schritt	Berechnen Sie U_g nach: $U_g = G_w \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g} + 1 \right) \quad (\text{wenn } z \leq 0,5 \text{ m})$ oder: $U_g = G_w \cdot (U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw}/A) \quad (\text{wenn } z > 0,5 \text{ m})$ dabei ist: $U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g + 0,5 \cdot z} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_g + 0,5 \cdot z} + 1 \right)$ und: $U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_g}{d_g + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right)$
6. Schritt	Berechnen Sie U_x : oder $U_x = 2 \cdot h \cdot U_w / B' + 1450 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w / B' \quad (\text{belüfteter Kriechkeller})^{(1)}$ $U_x = 2 \cdot h \cdot U_w / B' \quad (\text{unbelüfteter Kriechkeller})$
7. Schritt	Berechnen Sie U nach: $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$
8. Schritt	Berechnen Sie den stationären Wärmedurchgang nach: $H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi$ dabei ist Ψ der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsbereichs zwischen Bodenplatte (aufgeständert) und Außenwand.
(1)	Im Rahmen der GEE-Reglementierung sind die nachstehenden Fixwerte zu verwenden: $f_w = 0,05$ $v = 4 \text{ m/s}$ (durchschnittliche Windgeschwindigkeit)

Bei der Beurteilung der Anforderung $U_{\max}$ nach Anhang III des vorliegenden Erlasses ist bei der aufgeständerten Bodenplatte der U-Wert zu berücksichtigen.

F.2.4 Kellerwände

Keller sind Räume, die zum Teil oder vollständig unterhalb der Geländeoberkante liegen. Der Kellerboden liegt in einer durchschnittlichen Tiefe z unter der Geländeoberkante, und der Dämmgrad von Kellerboden und -wänden kann unterschiedlich sein. Das Berechnungsverfahren beschreibt den gemeinsamen Gesamtwärmedurchgang H_g sowohl durch den Kellerboden als auch durch die Kellerwände zur Außenumgebung, wobei die beiden Wärmeströme voneinander abhängig sind.



Notwendige Daten:

- **Erdreich:** λ -Wert [W/m.K]
- **Kellerdecke:** Wärmedurchlasswiderstand R_p [m²K/W] und durchschnittliche Höhe über Geländeoberkante h [m]
- **Kellerwand:** Dicke auf Bodengleiche w [m], Wärmedurchlasswiderstand R_w [m²K/W], durchschnittliche Tiefe im Erdreich z [m]
- **Kellerboden:** Umfang P [m], Fläche A [m²], $B' = 2.A/P$ [m] und Wärmedurchlasswiderstand R_f [m²K/W]
- **Kellerbelüftung:** Luftwechselrate n [h⁻¹] und Volumen V [m³]

1. Schritt	Berechnen Sie d_t für den Kellerboden nach:	$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$
2. Schritt	Berechnen Sie U_{bf} für den Kellerboden nach:	$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right)$ wenn $(d_t + 0,5z) < B'$ (ungedämmter oder schwach gedämmter Boden) $U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5z}$ wenn $(d_t + 0,5z) \geq B'$ (gut gedämmter Boden)
3. Schritt	Berechnen Sie d_w für die Kellerwand nach:	$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se})$
4. Schritt	Berechnen Sie U_{bw} für die Kellerwand nach:	$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right)$ wenn $d_w \geq d_t$ $U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_w}{d_w + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right)$ wenn $d_w < d_t$
5. Schritt	Bei <u>beheiztem Keller</u> :	▪ Berechnen Sie U' nach: $U' = \frac{AU_{bf} + zP \cdot U_{bw}}{A + zP}$ ▪ Berechnen Sie den Wärmedurchgang nach: $H_g = A \cdot U_{bf} + zP \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi$ dabei ist Ψ der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsbereichs zwischen Kellerboden und Kellerwand.
(6. Schritt)	Bei einem Keller <u>außerhalb des geschützten Volumens</u> :	▪ Berechnen Sie U_f (U-Wert der Kellerdecke): $U_f = \frac{1}{R_{si} + R_p + R_{se}} \quad (\text{mit } R_{si} = 0,17)$

	▪ Berechnen Sie U_w (U-Wert des Wandteils über der Geländeoberkante): $U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad (\text{mit } R_{si} = 0,13)$ ▪ Berechnen Sie U nach: $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{AU_{bf} + z.P.U_{bw} + h.P.U_w + 0,33.nV}$ ⁽¹⁾ ▪ und den Transmissionswärmedurchgang: $H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi$ dabei ist Ψ der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient des Verbindungsbereichs zwischen Kellerdecke und Kelleraußenwand. (1) Im Rahmen der GEE-Reglementierung ist der Fixwert $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$ als Luftwechselrate zu verwenden.
--	--

Bei der Beurteilung der Anforderung $U_{\max}$ nach Anhang III des vorliegenden Erlasses ist beim Kellerboden der U_{bf} -Wert zu berücksichtigen.

Anhang G. Vereinbarungen für die Bestimmung der U-Werte

G.1 Einleitung

Dieser Anhang enthält die Vereinbarungen, die bei der Bestimmung der λ -, R- oder U-Werte spezifischer Mauerteile, wie Mauersteine, Lochziegel und Wände mit Holzstruktur, angewandt werden können. Alle diese Vereinbarungen berücksichtigen gebräuchliche Fälle, die im belgischen Bauwesen anzutreffen sind.

G.2 Numerische und vereinfachte Berechnungsverfahren

Der U-Wert kann bei Bauteilen mit ebener, paralleler und homogener Schichtung ganz einfach bestimmt werden. In diesen Fällen verläuft der Wärmestrom durch die Bauteile von der Innenumgebung zur Außenumgebung senkrecht zu den Bauteilschichten (ohne Umlenkung), und der U-Wert wird durch Addition aller Wärmedurchlasswiderstände der Bauteilschichten bestimmt.

Tatsächlich weisen Bauteile im Allgemeinen Unregelmäßigkeiten auf oder bestehen aus inhomogenen Schichten. In diesem Fall ist der Wärmestrom unregelmäßig und beeinflusst daher den Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils.

Die Auswirkung auf den U-Wert kann anhand einer numerischen Berechnung genau bestimmt oder anhand der in dem vorliegenden Text angegebenen Formeln vereinfacht berechnet werden.

Numerische Berechnungen sind genaue Computerberechnungen, anhand derer der zwei- oder dreidimensionale Wärmestrom durch inhomogene Bauteile bestimmt und daraus ein genauer U-Wert abgeleitet werden kann. Die dazu verwendete Software muss nach den Leitlinien der verschiedenen europäischen Normen (NBN EN ISO 10211 für zwei- und dreidimensionale Wärmebrücken, NBN EN ISO 10077-2 für Rahmenprofile, NBN EN ISO 13370 für Wärmeübertragung über das Erdreich) validiert sein.

Numerische Berechnungen sind anzuwenden bei der Bestimmung des U-Werts von Bauteilen, die ggf. zusätzliche Wärmeverluste aufweisen (z. B. Bauteile, die eine Dämmschicht durchdringen, Wände mit Metallbauteilen), von komplexen oder Fertigbauteilen (z. B. Rahmenprofile, Vorhangfassadenelemente), von Winkel- oder Verbindungsbereichen, in denen ein dreidimensionaler Wärmestrom auftritt usw.

Numerische Berechnungen ergeben die genauesten Ergebnisse und sind eine Alternative, die immer angewandt werden kann. In vielen Fällen ist es jedoch nicht nötig, auf numerische Berechnungen zurückzugreifen, und es können vereinfachte Berechnungsverfahren angewandt werden. Sie ergeben einen ausreichend genauen U-Wert durch manuelle Berechnung (Formel).

Die im vorliegenden Text angegebenen **vereinfachten Berechnungen** können immer als Alternative zu numerischen Berechnungen angewandt werden, soweit der für die verschiedenen Fälle angegebene Anwendungsbereich berücksichtigt wird.

G.3 Vereinbarungen für Mauersteine und Hohlziegel

G.3.1 λ_U -Wert von Mauerwerk

Eine Schicht (gemauert oder geklebt), die Fugen enthält, ist ein Sonderfall einer inhomogenen Schicht, siehe § 2.2. Bauteile, die eine oder mehrere Schichten mit Fugen enthalten, können ganz allgemein nach den in § 2.2 angegebenen Methoden berechnet werden.

Ein vereinfachtes Verfahren ist die Bestimmung nur des schwächsten R''_T -Werts des Wärmedurchlasswiderstands eines Bauteils. Der Wärmedurchgangskoeffizient U wird dann nur anhand dieses Werts bestimmt (siehe Anmerkung in § 2.2.3).

In diesem Fall kann das Berechnungsverfahren alternativ wie folgt formuliert werden. Die Formeln führen uns zu dem gleichen Ergebnis R''_T , wie die Formeln in § 2.2.

Der Wärmedurchlasswiderstand der Schicht mit Fugen wird angegeben durch:

$$R = d/\lambda_U \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (\text{G1})$$

dabei ist λ_U eine äquivalente (homogene) Wärmeleitfähigkeit der Schicht. Diese wird bestimmt als der flächenanteilmäßig gewichtete Mittelwert der Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs und der Fuge.

$$\lambda_U = \frac{\lambda_{U,\text{mat}} \cdot A_{\text{mat}} + \lambda_{U,\text{joint}} \cdot A_{\text{joint}}}{A_{\text{mat}} + A_{\text{joint}}} \quad [\text{W/m.K}] \quad (\text{G2})$$

dabei ist:

- d [m]: Schichtdicke
- $\lambda_{U,\text{mat}}$ [W/m.K]: Wärmeleitfähigkeit des fugenlosen Baustoffs
- $\lambda_{U,\text{joint}}$ [W/m.K]: Wärmeleitfähigkeit der Fuge
- A_{mat} [m²]: Sichtfläche des fugenlosen Baustoffs
- A_{joint} [m²]: Sichtfläche der Fuge

Die Formel für die äquivalente Wärmeleitfähigkeit (G2) kann auch wie folgt angegeben werden:

$$\lambda_U = \lambda_{U,\text{mat}} \cdot (1 - f_{\text{joint}}) + \lambda_{U,\text{joint}} \cdot f_{\text{joint}} \quad [\text{W/m.K}] \quad (\text{G3})$$

dabei ist:

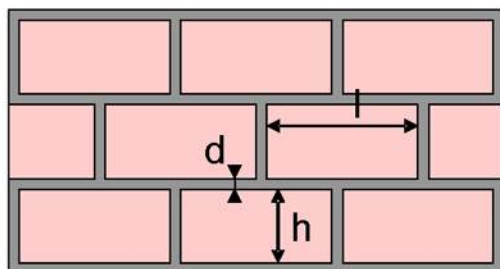
- f_{joint} : der Fugenanteil [-]

Bei einer repetitiven rechteckigen Geometrie, bei der die Binder- und Läuferfugen die gleiche Dicke haben (siehe Abb. G1), wie es bei Mauerwerk im Allgemeinen der Fall ist, kann der Fugenanteil wie folgt bestimmt werden:

$$f_{\text{joint}} = \frac{A_{\text{joint}}}{A_{\text{mat}} + A_{\text{joint}}} = 1 - \frac{l \cdot h}{(l + d) \cdot (h + d)} \quad [-] \quad (\text{G4})$$

dabei ist (siehe Abb. G.1):

- l [mm] und h [mm]: Länge und Höhe bei einem rechteckigen Baustoff
- d [mm]: Dicke der Fuge (häufig 6 oder 12 mm)



$$A_{\text{joint}} = (l + h + d) \times d$$

$$A_{\text{mat}} = l \times h$$

Abb. G.1 - Parameter für die Bestimmung des Mörtelanteils in Mauerwerk

Bei sonstigen geometrischen Konfigurationen (z. B. ohne Binderfugen), ist der Anteil auf eine geeignete Weise zu bestimmen und muss in die Formel (G3) eingesetzt werden.

Es ist von den folgenden Vereinbarungen auszugehen:

- wenn die Fuge an keiner Stelle breiter ist als 3 mm, kann der Einfluss der Fuge vernachlässigt werden (unabhängig vom Fugenmaterial). In diesem Fall gilt: $\lambda_U = \lambda_{U,\text{mat}}$
- die nachstehenden Standardwerte können für den Fugenanteil immer verwendet werden:

- wenn $\lambda_{U,joint} < \lambda_{U,mat}$: $f_{joint} = 0.00$ (0%)
- wenn $\lambda_{U,joint} > \lambda_{U,mat}$:
 - bei Innenmauern: $f_{joint} = 0.16$ (16%)
 - bei Außenmauern: $f_{joint} = 0.28$ (28%)

Beispiele für Baustoffe, die häufig mit Fugen gesetzt werden:

- Naturstein (Tabelle A.2)
- Ziegel (Tabelle A.3 bis A.8)
- Hohlblocksteine (Tabelle B.1)
- Glasbausteine (§ 11.1)
- ...

G.3.2 λ_U -Wert von Lochziegeln oder Hohlblocksteinen

Dieser Absatz stellt die Anwendung der ANMERKUNG 3 des Anhangs A.1 dar.

Der λ_U -Wert kann auf verschiedene Weisen bestimmt werden, je nach den bekannten Eigenschaften der Hohlmauersteine:

- 1) Wenn die Art des Ziegels, die Dichte des Vollziegels (Totgewicht) und der Lochanteil bekannt sind, ist die Dichte des Lochziegels zu bestimmen, und der entsprechende λ_U -Wert ist der entsprechenden Tabelle zu entnehmen. Beispiel:
 - Eigenschaften: ein zertifizierter Backstein mit 30 % Lochanteil und einer Vollsteindichte von 1800 kg/m^3
 - Bestimmung: wenn der Vollstein eine Dichte von 1800 kg/m^3 und der Backstein einen Lochanteil von 30 % hat, beträgt die Dichte des Hohlziegels $1800 \text{ kg/m}^3 \times 70 \% = 1260 \text{ kg/m}^3$; der einer Dichte von 1260 kg/m^3 entsprechende λ_{U1} -Wert beträgt $0,42 \text{ W/m.K}$ (siehe Tabelle A.3).
- 2) Wenn die Art des Ziegels, die Maße und das Gewicht des Hohlziegels bekannt sind, der Lochanteil aber nicht, dann kann der λ_U -Wert direkt der entsprechenden Tabelle entnommen werden. Beispiel:
 - Eigenschaften: ein zertifizierter Hohlziegel mit den Maßen $209 \times 140 \times 90 \text{ mm}$ und einem Gewicht von $4,6 \text{ kg}$;
 - Bestimmung: die Dichte des Hohlziegels ist gleich Gewicht geteilt durch Volumen, also $4,6 / (0,29 \times 0,14 \times 0,09) = 1260 \text{ kg/m}^3$; der λ_U -Wert für diese Dichte von 1260 kg/m^3 kann direkt bestimmt werden, also $0,42 \text{ W/m.K}$ (siehe Tabelle A.3).

G.4 Vereinbarungen für inhomogene Schichten eines Bauteils mit Holzstruktur

Viele Bauteile enthalten inhomogene Schichtungen, die Holzstrukturen enthalten. Typische Beispiele sind das Sparrenwerk in Schräg- oder Flachdächern, Holzböden oder -decken, Wände mit Holzfachwerk usw. Im Allgemeinen werden zwischen diesen Holzstrukturen Dämmschichten eingebaut, deren Dämmkraft durch die Holzpfiler und -pfosten gemindert wird, die die Dämmschichten durchdringen.

Bei der Bestimmung des U-Werts solcher Schichten ist der Wärmedurchlasswiderstand der Schicht mit der Holzstruktur in Abhängigkeit von dem Holzanteil in dieser Schicht zu bestimmen.

Wegen der großen Vielfalt der möglichen Maße von Pfetten, Pfeilern, Sparren usw. und der variablen Zwischenabstände nach dem Einbau dieser Bauteile, ist es nicht sinnvoll, Tabellen für die verschiedenen Holzanteile zu erstellen. Wenn genügend Angaben zur Breite und den Zwischenabständen (von Mitte zu Mitte) der sich wiederholenden Holzelemente zur Verfügung stehen, kann der Holzanteil der Schicht, in die diese Holzelemente eingebaut sind, wie folgt bestimmt werden:

$$\text{Holzanteil} = \frac{\text{Breite der Holzelemente}}{\text{Mittlerer Zwischenabstand (Mitte bis Mitte)}}$$

Bei der Bestimmung des Holzanteils sind nicht nur Sparren und Pfeiler zu berücksichtigen sondern auch möglicherweise vorhandene Holzstreben zur Stabilisierung der Struktur. Bei solchen Streben ist der Holzanteil um einen Zusatzterm von 1 % (+ 0,01) zu erhöhen.

Die Standardwerte können immer verwendet werden. Sie entsprechen den Obergrenzen der gängigsten Werte (siehe Tabelle G.1).

Holzstruktur	Holzanteil (Standardwerte)
Pfettendach (Pfetten – Primärtragwerk)	0,11
Pfettendach (Sparren – Sekundärtragwerk)	0,20
Binderdach (Binder – Sekundärtragwerk)	0,12
Holzböden (Pfeiler – Sekundärtragwerk)	0,11
Wände mit Holzfachwerk	0,15

Tabelle G.1 - Holzanteile (Standardwerte) bei Bauteilschichten mit Holzstruktur

G.5 Ergänzende Vereinbarungen für die Bestimmung des U-Werts

G.5.1 Ziegel- oder Schieferdächer

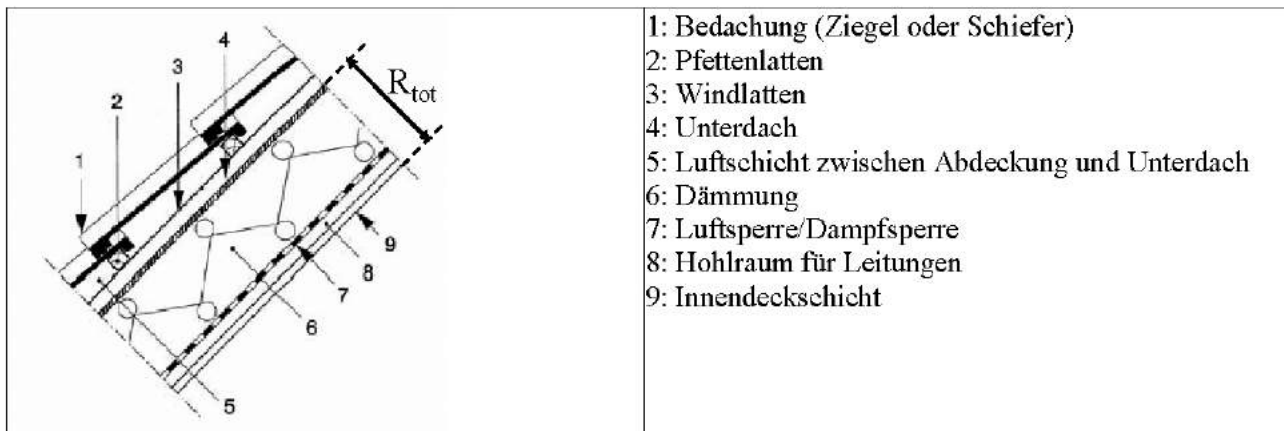


Abb. G.2 - Wärmedurchlasswiderstand eines Ziegel- oder Schieferdachs

Bei einem Ziegel oder Schieferdach (Abb. G.2) darf die Luftschicht zwischen der Dachabdeckung und dem Unterdach eine stark belüftete Luftschicht darstellen. Das bedeutet, dass alle Bauteilschichten zwischen dieser Luftschicht und der Außenumgebung bei der Berechnung des Wärmedurchgangswiderstands des Daches vernachlässigt werden können, und dass der Wärmeübergangswiderstand auf Ebene des Unterdachs mit R_{si} gleichgesetzt werden kann (siehe § 5.4.2.4):

$$1/U = R_T = R_{si} + R_{tot} + R_{si} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

dabei ist:

- R_{tot} [$\text{m}^2\text{K/W}$]: Summe der Wärmedurchlasswiderstände aller Bauteilschichten zwischen der Innenumgebung und der stark belüfteten Luftschicht (Schichten 4, 6, 7, 8 und 9).

G.5.2 Zwischendecken

Im Rahmen der GEE-Reglementierung wird davon ausgegangen, dass der Raum über der Zwischendecke nicht hermetisch von dem darunter liegenden Raum abgeschlossen ist. Der Wärmedurchlasswiderstand der Zwischendecke ist daher zu vernachlässigen. Kann jedoch nachgewiesen werden, dass die Zwischendecke luftdicht abgeschlossen ist (z. B. mit einer rundum befestigten undurchlässigen Folie), dann kann der Wärmedurchlasswiderstand der Zwischendecke und des Raums zwischen der Zwischendecke und der darüber liegenden Bauteilschicht bei der Bestimmung des U-Werts von Decke und Dach berücksichtigt werden.

G.5.3 Böden

Für die Bestimmung des U-Werts von Böden gelten die folgenden Vereinbarungen:

- Bei Bodenplatten auf Erdreich und erdanliegenden Wänden werden Hinterfüllungen unter der Bodenplatte oder gegen die Wand, deren entsprechender Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit (Innen- oder Außenumgebung) höher ist als $0,4 \text{ W/m.K}$ (z. B. verfestigter Sand oder Kies), nicht berücksichtigt: diese Baustoffe werden dem Erdreich zugerechnet.
- Der U-Wert berücksichtigt nicht den Wärmedurchlasswiderstand von Deckschichten oder Bodenbelägen, die nicht befestigt oder leicht abnehmbar sind, wie Teppichböden, Bodenbeläge usw.

Anhang H. Temperaturumrechnungsfaktor für die EANC, Belüftungshohlräume und unbeheizten Kellerräume

Die Temperaturumrechnungsfaktoren, die in Anhang IV des vorliegenden Erlasses zu den Wärmeübertragungskoeffizienten der linearen und punktuellen Bauknoten Anwendung finden, sind in der Tabelle H.1 angegeben. Der Wert des Temperaturumrechnungsfaktors ist von der gewählten Rechenmethode abhängig. Für ein und dieselbe Umgebung kann nur eine Rechenmethode gewählt werden, entweder vereinfacht oder detailliert. Der auf diese Weise definierte Umrechnungsfaktor muss demzufolge in folgenden Berechnungen angewendet werden.

	Vereinfachte Rechenmethode	Detaillierte Rechenmethode
<i>Angrenzender unbeheizter Raum</i>	$b = 1$	$b = \frac{H_{ue}}{H_{ue} + H_{iu}}$ Absatz 14
<i>Belüftungshohlraum</i>	$b = b_U$ Absatz 15.2.2 – Tabelle 7	$b = \frac{U_i}{U_{eq,fi}}$ mit $U_{eq,fi}$ der Wert U entspricht dem Bauelement i zwischen der Innenumgebung und dem unbeheizten Belüftungshohlraum, der gemäß der Formel (44) des §15.2.2 bestimmt wird, und $U_i = U$ gemäß Anhang F.2.3 (Schritt 7)
<i>Unbeheizter Keller</i>	$b = b_U$ Absatz 15.2.2 – Tabelle 7	$b = \frac{U_i}{U_{eq,fi}}$ mit $U_{eq,fi}$ der Wert U entspricht dem Bauelement i zwischen der Innenumgebung und dem unbeheizten Keller, der gemäß der Formel (44) des §15.2.2. bestimmt wird, und $U_i = U$ gemäß Anhang F.2.4 (Schritt 6)

Tabelle H.1. – Temperaturumrechnungsfaktor für angrenzende unbeheizte Räume, unbeheizte Keller und Belüftungshohlräume (-)

Gesehen, um dem Erlass der wallonischen Regierung vom 15. Mai 2014, die Umsetzung der Verordnung vom 28. November 2013 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beigelegt

Namur, den 15. Mai 2014

Der Ministerpräsident,
R.DEMOTTE

Der Minister für nachhaltige Entwicklung
J.-M. NOLLET