

Anlage 3 des Erlasses der wallonischen Regierung vom 11. April 2019 zur Änderung des Erlasses der wallonischen Regierung vom 15. Mai 2014 über die Umsetzung der Verordnung vom 28. November 2013 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.

Anlage B1 des Erlasses der wallonischen Regierung vom 15. Mai 2014 über die Umsetzung der Verordnung vom 28. November 2013 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.

## REFERENZDOKUMENT FÜR TRANSMISSIONSVERLUSTE

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

#### BERECHNUNG DES WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON GEBÄUDEWÄNDEN (U-WERT), DES TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON GEBÄUDEN (H-WERT) UND GESAMTWÄRMEDÄMMGRAD (K-GRAD)

#### Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS .....	1
1 EINLEITUNG.....	6
2 ANWENDUNGSBEREICH.....	7
3 NORMATIVE VERWEISE.....	8
4 BEGRIFFSBESTIMMUNG, EINHEITEN UND SYMBOLE.....	11
4.1 Begriffsbestimmung .....	11
4.2 Symbole und Einheiten .....	13
5 BESTIMMUNG DES WÄRMEDURCHLASSWIDERSTANDS (R) VON BAUTEILSCHICHTEN.....	14
5.1 Allgemeine Grundsätze .....	14
5.2 Wärmedurchlasswiderstand von homogenen Bauteilschichten .....	14
5.3 Wärmeübergangswiderstände von Oberflächen in Kontakt mit Luft .....	15
5.4 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten .....	15
5.4.1 Einleitung.....	15
5.4.2 Normale Luftschichten in Wänden, Dächern und Böden.....	16
5.4.3 Sonstige Luftschichten.....	18
5.5 Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten (Lufträumen) mit einer Dicke von mehr als 300 mm .....	19
6 BESTIMMUNG DES WÄRMEDURCHGANGSWIDERSTANDES (RT) VON BAUTEILEN.....	20
6.1 Bauteile aus homogenen Schichten .....	20
6.2 Bauteile aus homogenen und inhomogenen Schichten .....	20
6.2.1 Anwendung.....	20
6.2.2 Wärmedurchgangswiderstand eines Bauteils (Kombinationsverfahren)....	21
6.2.3 Grenzwerte.....	23
6.2.4 Fehlermarge.....	23

7	WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT (U) VON OPAKEN BAUTEILEN.....	24
7.1	Allgemeiner Ausdruck .....	24
7.2	Korrektur des U-Werts .....	24
7.2.1	Allgemeine Bestimmungen.....	24
7.2.2	Korrektur des U-Werts für Luftspalte und Hohlräume in oder zwischen den Dämmschichten .....	24
7.2.3	Korrektur für mechanische Befestigungselemente, die die Dämmschicht durchdringen .....	25
7.2.4	Korrekturverfahren für Umkehrdächer.....	26
7.3	Korrektur des R-Werts bei einer Dämmung aus PUR-Ortschaum .....	27
7.4	U-Wert eines keilförmigen Bauteils .....	27
7.4.1	Allgemeines Verfahren.....	27
7.4.2	Zerlegung in gebräuchliche Formen.....	28
7.4.3	Bestimmung des U-Werts für jede gebräuchliche Form.....	29
7.4.4	Vereinfachte Bestimmung.....	30
8	BESTIMMUNG DES WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON FENSTERN, TÜREN UND GARAGENTOREN .....	31
8.1	Geometrische Merkmale von Fenstern und Türen .....	31
8.1.1	Fläche der Fenster- und Türenteile.....	31
8.1.2	Sichtbarer Umfang der Verglasung.....	32
8.1.3	Flächen der Rahmen.....	32
8.1.4	Fläche des Fensters oder der Tür.....	33
8.2	Allgemeines Verfahren für die Bestimmung des U-Werts von Fenstern, Türen und Garagentoren .....	34
8.3	Normalfall: U-Wert von Einfachfenstern oder normalen Türen .....	34
8.4	Sonderfälle .....	36
8.4.1	Doppelfenster.....	36
8.4.2	Verbundfenster.....	37
8.4.3	Wärmedurchgangswiderstände.....	37
8.4.4	Wärmedurchlasswiderstand von ruhenden Luftschichten in Doppelfenstern und in Verbundfenstern .....	38
8.4.5	U-Wert von Fenstern mit geschlossenen Fensterläden.....	38
8.5	Vereinfachte Bestimmung des U-Werts und Verglasungsfläche von Fenstern	40
8.6	Weitere Spezifikationen und Standardwerte für opake Türen und opake Garagentore .....	42
9	WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT VON FENSTER- UND TÜRKOMPONENTEN.....	43
9.1	Wärmedurchgangskoeffizient von Verglasungen .....	43
9.2	Wärmedurchgangskoeffizient von Rahmen .....	43
9.2.1	Allgemeine Bestimmung.....	43
9.2.2	Bestimmung des Werts $U_f$ von Dachfensterrahmen.....	43
9.3	Wärmedurchgangskoeffizient von opaken Füllungen ( $U_p$ ) .....	44
9.4	Wärmedurchgangskoeffizient von Lüftungsgittern ( $U_r$ ) .....	44
9.5	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ( $\Psi$ -Wert) .....	44
10	WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT VON VORHANGFASSADEN.....	45
10.1	Allgemeine Bestimmungen .....	45
10.2	Konstruktive Eigenschaften von Vorhangfassaden .....	46
10.2.1	Komponenten und Randbedingungen .....	46

10.2.2	Bestimmung von Flächen und Umfang .....	47
10.2.3	Regeln für die Modellierung .....	48
10.3	Bestimmung des $U_{cw}$ -Werts eines Vorhangfassadenelements: präzise numerische Berechnungen .....	49
10.3.1	Prinzip des numerischen Berechnungsverfahrens .....	49
10.3.2	Bestimmung des Wärmeverluststroms durch Verbindungselemente .....	49
10.3.3	Bestimmung von $U_{cw}$ eines Moduls .....	52
10.4	Berechnung des $U_{cw}$ -Werts eines Moduls (Komponentenmethode).....	52
10.4.1	Prinzip der Komponentenmethode .....	52
10.4.2	Allgemeine Bestimmung des $U_{cw}$ -Werts .....	52
10.4.3	U-Wert von Verglasung und Paneele .....	53
10.4.4	U-Wert von Rahmen, Pfosten und Riegeln .....	53
10.4.5	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Verglasungen, Rahmen, Pfosten und Riegel) .....	54
10.5	Bestimmung des $U_{cw}$ -Werts einer Vorhangfassade aus unterschiedlichen Elementen .....	55
11	WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT SONSTIGER DURCHSICHTIGER WÄNDE.....	56
11.1	Glasbausteine .....	56
11.2	Laternen aus Kunststoffmaterial .....	56
	Dieser Absatz bezieht sich sowohl auf punktuelle als auch auf durchgehende Laternen. ....	56
12	TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT DURCH GEBÄUDE.....	58
12.1	Gesamttransmissionswärmedurchgangskoeffizient .....	58
12.2	Conventions générales .....	58
12.3	Allgemeine Vereinbarungen .....	58
12.3.1	Grenzen der Gebäudeteile .....	58
12.3.2	Bestimmung der Flächen .....	58
12.3.3	Bestimmung der Volumen .....	59
13	TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT DIREKT ZUR AUßENUMGEBUNG ( $H_D$ ) ....	60
14	TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT ÜBER UNBEHEIZTE NACHBARRÄUME ( $H_U$ )	61
15	TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT ÜBER DAS ERDREICH, UNBEHEIZTE KELLER UND LEERRÄUME ( $H_G$ ) .....	65
15.1	Allgemeine Bestimmungen .....	65
15.2	Vereinfachtes Verfahren für die Berechnung .....	65
15.2.1	Erdanliegende Böden .....	65
15.2.2	Bauteile (Böden, Wände, Türen)in Kontakt mit Kriechkellern und unbeheizten Kellern .....	66
15.2.3	Wände unter der Erde .....	67
15.3	Umgebende Isolierung bei Bodenplatten auf Erdreich .....	67
16	TRANSMISSIONSWÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT ÜBER BAUKNOTEN ( $H_T^{JUNCTIONS}$ ) .....	69
16.1	Temperaturumrechnungsfaktor für die AUR, Belüftungshohlräume und unbeheizten Kellerräume .....	69
17	GESAMTWÄRMEDÄMMGRAD (K-GRAD).....	70
17.1	Kompaktheit eines Gebäudes .....	70

17.2 Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient eines Gebäudes .....	70
17.3 Gesamtwärmedämmgrad (K-Grad) .....	70
ANLAGE A BESTIMMUNG DER WÄRMELEITFÄHIGKEIT ( $\Lambda$ -WERT) UND DES WÄRMEWIDERSTANDES (R-WERT) VON BAUSTOFFEN	72
A.1 Allgemeine Bestimmungen .....	72
A.2 Tabellen mit den Standardwerten für die Wärmeleitfähigkeit von homogenen oder gleichgestellten Baustoffen .....	74
A.2.1 Metalle .....	74
A.2.2 Naturstein .....	74
A.2.3 Mauersteine .....	75
A.2.4 Fugenlose Steinbauteile (Vollwände, Böden,...) .....	78
Tabelle A.9 - Normaler Schwerbeton .....	78
A.2.5 Gips, Mörtel und Verputz .....	79
A.2.6 Holz und Holzderivate .....	80
A.2.7 Wärmedämmstoffe .....	81
A.2.8 Sonstige Baustoffe .....	83
ANLAGE B WÄRMEDURCHLASSWIDERSTAND (R-WERT) VON INHOMOGENEN BAUSTOFFEN .....	84
ANLAGE C STANDARDWERTE DES FEUCHTEGHALTS UND UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR BAUSTOFFE AUS STEIN	85
ANLAGE D WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENTEN VON RAHMENPROFILIEN ( $U_F$ -WERTE): STANDARDWERTE .....	86
D.1 Rahmenprofile aus Holz .....	86
D.2 Rahmenprofile aus Metall .....	87
D.2.1 Begriffsbestimmung .....	87
D.2.2 Rahmenprofile aus Metall mit wärmetechnischer Trennung .....	88
D.2.3 Rahmenprofile aus Metall ohne wärmetechnische Trennung .....	90
D.3 Rahmenprofile aus Kunststoff .....	90
ANLAGE E LÄNGENBEZOGENER WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT ( $\Psi$ -WERT) VON VERBINDUNGSBEREICHEN ZWISCHEN RAHMENPROFILIEN, VERGLASUNGEN, PANEELN UND RIEGELN	92
E.1 Allgemeine Bestimmungen .....	92
E.2 Verbindungsbereich zwischen Rahmenprofil und Verglasung .....	92
E.3 Verbindungsbereich zwischen Riegel und Verglasung .....	94
E.4 Verbindungsbereich zwischen Profil und Füllung .....	95
E.5 Verbindungsbereich zwischen Profil und Riegel .....	95
E.5.1 Aluminium- und Stahlprofile .....	95
E.5.2 Holzprofile und Holz-Aluminiumprofile .....	97
E.6 Bestimmung von $U_f$ bei in eine Vorhangsfassade eingebauten Profilen .....	98
ANLAGE F WÄRMEÜBERTRAGUNG ÜBER DAS ERDREICH .....	99
F.1 Notwendige spezifische Daten .....	99
F.1.1 Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs .....	99
F.1.2 Charakteristisches Bodenplattenmaß und wirksame Dicke .....	99
F.2 Bestimmung des U-Werts und des stationären Wärmedurchgangs $H_g$ .....	100
F.2.1 Allgemeine Bestimmungen .....	100
F.2.2 Bodenplatten auf Erdreich .....	100
F.2.3 Aufgeständerte Bodenplatten .....	103

---

<i>Abb. [47]: Aufgeständerte Bodenplatten</i> .....	103
<i>F.2.4 Kellerwände</i> .....	105
<i>Abb. [48]: Kellerwände</i> .....	105
ANLAGE G VEREINBARUNGEN FÜR DIE BESTIMMUNG DER U-WERTE .....	108
G.1 Einleitung .....	108
G.2 Numerische und vereinfachte Berechnungsmethoden .....	108
G.3 Vereinbarungen für Mauersteine und Hohlziegel .....	108
<i>G.3.1 <math>\lambda_U</math>-Wert von Mauerwerk</i> .....	108
<i>G.3.2 <math>\lambda_U</math>-Wert von Lochziegeln oder Hohlblocksteinen</i> .....	110
G.4 Vereinbarungen für inhomogene Schichten eines Bauteils mit Holzstruktur 111	
G.5 Ergänzende Vereinbarungen für die Bestimmung des U-Werts .....	112
<i>G.5.1 Ziegel- oder Schieferdächer</i> .....	112
<i>G.5.2 Zwischendecken</i> .....	112
<i>G.5.3 Böden</i> .....	112

## 1 Einleitung

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.

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.

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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), um Bauelemente mit unterschiedlichen Stärken (siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), Fenster und Türen (siehe § 0) oder leichte Fassaden (siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Diese Methoden können stets angewendet werden, sofern die geltenden Anwendungsmethoden für jeden Fall gesondert beachtet werden.

Die Berücksichtigung der Baukosten wird in Anlage B2 des Erlasses vom 15. Mai 2014 erläutert. Diese müssen gemäß der in Anlage B2 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.

---

## 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 1873:2016	Prefabricated accessories for roofing - Individual rooflights of plastics - Product specification and test methods. ( <i>Vorgefertigte Zubehörteile für Dachdeckungen - Lichtkuppeln aus Kunststoff - Produktspezifikation und Prüfverfahren</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. 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. <i>(Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens - Teil 1: 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. <i>(Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten mittels des Heizkastenverfahrens - Teil 2: Dachflächenfenster und andere auskragende Fenster)</i>
NBN EN 12428	Industrial, commercial and garage doors - Thermal transmittance - Requirements for the calculation
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</i>

---

---

	<i>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 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

- **Erlass vom 15. Mai 2014:** Erlass der wallonischen Regierung vom 15. Mai 2014 über die Umsetzung der Verordnung vom 28. November 2013 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.
- **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 ( $H_T$ ), in 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 ( $H_V$ ), in W/K:** Der Wärmestrom durch Lüftung zwischen dem Innenraum und der Außenumgebung, dividiert durch die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und der Außenumgebung.
- **Wärmedurchgangskoeffizient ( $U$ ), in  $W/m^2.K$ :** 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 ( $\lambda_U$ ), in  $W/m.K$ :** 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 ( $q$ ), in  $W/m^2$ :** Wärmestrom pro Flächeneinheit.
- **Typisches Bodenmaß ( $B'$ ), in 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 ( $\epsilon$ ):** 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 ( $\Phi$ ), in 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), in  $m^2 \cdot K/W$ :** 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	Bedeutung	Einheiten
A	Fläche	m <sup>2</sup>
B'	Charakteristisches Bodenplattenmaß	m
G <sub>w</sub>	Korrekturwert (fließendes Grundwasser)	-
H	Transmissionswärmedurchgangskoeffizient	W/K
P	Umfang (erdanliegende Wände)	m
R	Wärmedurchlasswiderstand einer Bauteilschicht	m <sup>2</sup> .K/W
R <sub>g</sub>	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht in einer Wand	m <sup>2</sup> .K/W
R <sub>s</sub>	Wärmedurchlasswiderstand einer Luftschicht zwischen Fenstern	m <sup>2</sup> .K/W
R <sub>si</sub>	Innerer Wärmeübergangswiderstand	m <sup>2</sup> .K/W
R <sub>se</sub>	Äußerer Wärmeübergangswiderstand	m <sup>2</sup> .K/W
R <sub>T</sub>	Wärmedurchgangswiderstand einer Wand	m <sup>2</sup> .K/W
U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m <sup>2</sup> .K)
V	Rauminhalt	m <sup>3</sup>
a	Korrekturterm, Reduktionsfaktor	-
b	Breite	m
c	Spezifische Wärmekapazität	J/kgK
d	Dicke (einer Bauteilschicht), Länge (einer mechanischen Befestigung)	m
f	Anteil, Faktor	-
h	Höhe	-
l	Umfang, Länge	m
m	Gewicht	kg
n	Luftwechselrate	h <sup>-1</sup>
w	Wanddicke	m
z	Tiefe	m
ε <sub>n</sub>	Normaler Emissionsgrad einer Verglasung	-
λ	Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffs	W/(m.K)
ΔR	Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand eines Fensterladens	m <sup>2</sup> .K/W
ΔU	Korrekturterm für den U-Wert	W/(m <sup>2</sup> .K)
χ	Koeffizient der Wärmeübertragung punktlisch	W/K
Ψ	Koeffizient der Wärmeübertragung linear	W/(m.K)
ρ	Dichte, Massendichte	kg/m <sup>3</sup>

## 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 ( $\lambda_U$ -Wert) oder des Wärmedurchlasswiderstands (R-Wert) von Baustoffen hat gemäß Anhang A oder B zu erfolgen.

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

$$\text{Gl. 1} \quad R = \frac{d}{\lambda_U} \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Dabei ist:

d Dicke des Baustoffs, in m;

$\lambda_U$  Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs, in W/(m.K).

### 5.3 Wärmeübergangswiderstände von Oberflächen in Kontakt mit Luft

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.

**Tabelle [1]: Wärmeübergangswiderstände  $R_{si}$  und  $R_{se}$  von Oberflächen in Kontakt mit Luft (in  $m^2K/W$ )**

	Richtung des Wärmestroms		
	aufwärts	horizontal <sup>(1)</sup>	abwärts
$R_{si} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,04	0,04	0,04
(1) gilt für eine Wärmestromrichtung, die nicht mehr als $\pm 30^\circ$ von der Horizontalen abweicht			

NOTE 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.

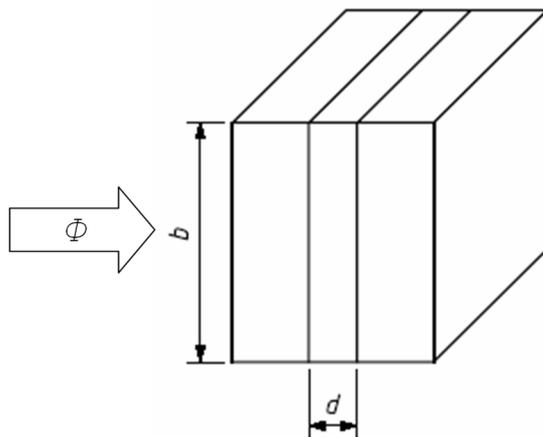
## 5.4.2 Normale Luftschichten in Wänden, Dächern und Böden

### 5.4.2.1 Bedingungen

Die in diesem Paragraphen (§ **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) 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.

Abb. [1]: Normale Luftschicht



Φ: Richtung des Wärmestroms

d: Dicke der Luftschicht

b: Breite oder Höhe

L: Länge

$d \leq 300 \text{ mm}$

$d/b \leq 0,10$  und  $d/L \leq 0,10$

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  $h_{r0}$ , und der Wert von  $h_a$  ist Tabelle B.1 dieser Norm zu entnehmen. Die Definitionen  $h_{10}$  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 mm<sup>2</sup> je m Länge bei vertikalen Luftschichten und 500 mm<sup>2</sup> je m<sup>2</sup> 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.

**Tabelle 1 - Wärmedurchlasswiderstand (in m<sup>2</sup>.K/W) von ruhenden Luftschichten, die durch Oberflächen mit hohem Emissionsgrad abgeschlossen sind (Normfall)**

Dicke d der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms		
	Aufwärts	horizontal <sup>(1)</sup>	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) Gültig für eine Richtung des Wärmestrom, der um nicht als ± 30 ° aus der Horizontalen abweicht

### 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 mm<sup>2</sup> aber ≤ 1500 mm<sup>2</sup> je m Länge (vertikale Luftschichten);
- > 500 mm<sup>2</sup> aber ≤ 1500 mm<sup>2</sup> je m<sup>2</sup> 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:

$$\text{Gl. 2} \quad R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} \cdot R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \cdot R_{T,v} \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Dabei ist:

- $A_v$  die Größe der Belüftungsöffnungen, pro Längeneinheit, in  $\text{mm}^2/\text{m}$  (vertikale Luftschichten) oder pro Flächeneinheit in  $\text{mm}^2/\text{m}^2$  (horizontale Luftschichten);
- $R_{T,u}$  der Wärmedurchgangswiderstand desselben Bauteils, jedoch mit einer ruhenden Luftschicht, berechnet nach § 5.4.2.2, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;
- $R_{T,v}$  der Wärmedurchgangswiderstand desselben Bauteils, jedoch mit einer stark belüfteten Luftschicht, berechnet nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

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  $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  überschreitet, muss mit einem Höchstwert von  $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  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  $\text{m}^2$  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

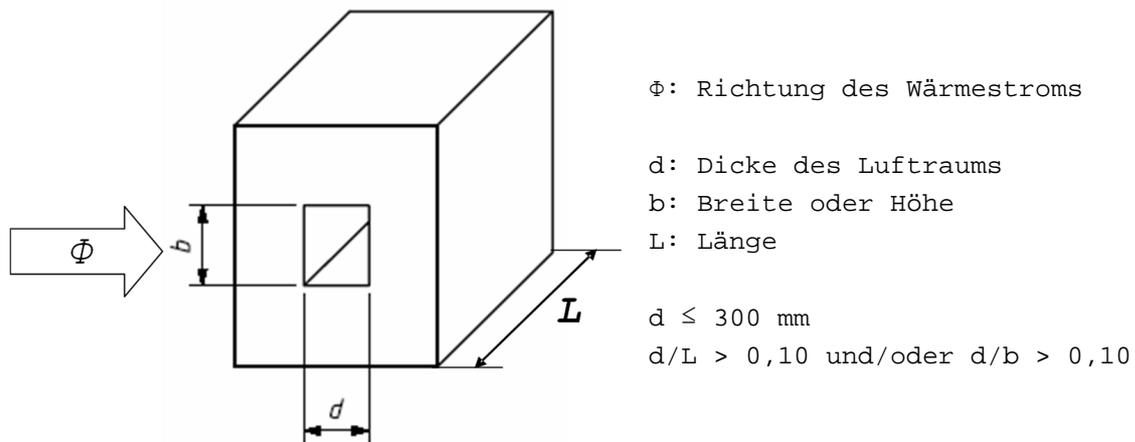
Luftschichten oder Hohlräume können wesentlicher Bestandteil eines Produkts sein, zum Beispiel in Doppelverglasungen oder Lochziegeln. Der Einfluss der Luftschicht oder des Hohlraums ist in den Produkteigenschaften enthalten (U-Wert oder äquivalenter  $\lambda$ -Wert). Aus diesem Grund werden sie hier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

Luftschichten in Verbund- oder Doppelfenstern werden unter Punkt § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** behandelt. Luftschichten zwischen Fenstern und Fensterläden werden unter Punkt § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** behandelt.

##### 5.4.3.1 Hohlräume oder Luftspalte

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

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 der Unter-Anlage A der Anlage A1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 zu behandeln.

## 6 Bestimmung des Wärmedurchgangswiderstandes (RT) 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:

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

Dabei ist:

$R_{si}$  der innere Wärmeübergangswiderstand, bestimmt gemäß § 5.3, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;

$R_1, R_2, \dots, R_n$  der Wärmedurchlasswiderstand jeder Bauteilschicht, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;

$R_{se}$  der äußere Wärmeübergangswiderstand, bestimmt gemäß § 5.3, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

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

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

$$\text{Gl. 4} \quad R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Dabei ist:

$R'_T$  der obere Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands, berechnet nach Gl. 5;

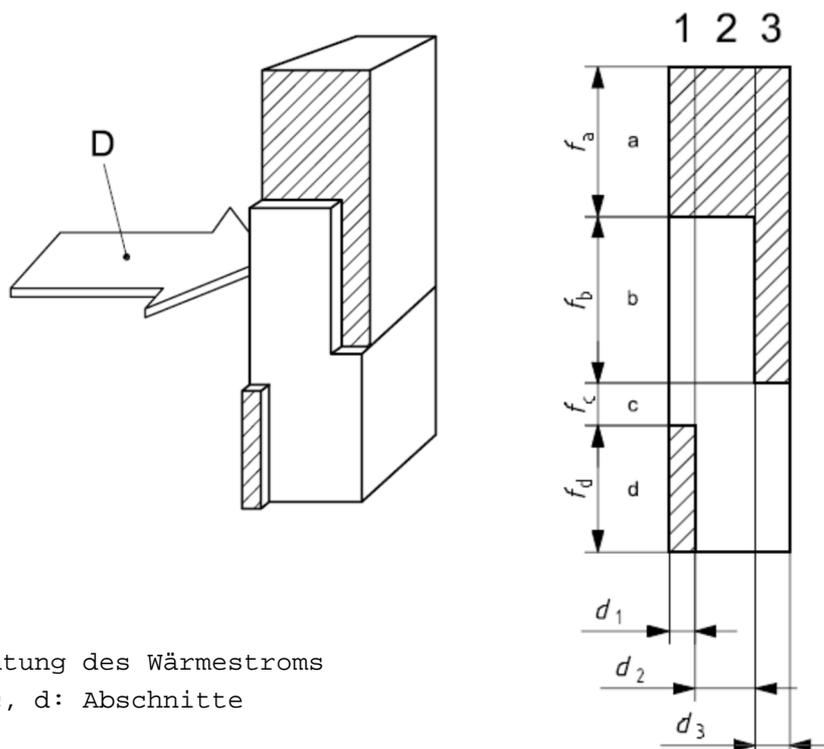
$R''_T$  der untere Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands, berechnet nach Dann ist der untere Grenzwert des Wärmedurchlasswiderstands wie folgt zu bestimmen:

#### Gl. 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 ( $d_1$ ,  $d_2$  und  $d_3$ );
- 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 ( $\lambda_{a1}$ , ...,  $\lambda_{d3}$ ), 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  $f_a + f_b + \dots + f_d = 1$ .

Abb. [3]: Abschnitte und Schichten eines thermisch inhomogenen Bauteils



D: Richtung des Wärmestroms  
a, b, c, d: Abschnitte

1, 2, 3: Schichten

### 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:

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

Dabei ist:

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots$  die Wärmedurchgangswiderstände (von Umgebung zu Umgebung) jedes Abschnitts, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , berechnet nach Gl. 3;  
 $f_a, f_b, \dots$  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:

$$\text{Gl. 6} \quad \frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} + \frac{f_d}{R_{dj}} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

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

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

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:

$$\text{Gl. 8} \quad U = \frac{1}{R_T} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

$R_T$  der gesamte thermische Widerstand eines Bauelementes, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , berechnet nach Gl. 3 oder Gl. 4.

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

Gl. 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:

$$\text{Gl. 9} \quad U_c = U + \Delta U \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Der Korrekturterm  $\Delta U$  ergibt sich nach:

$$\text{Gl. 10} \quad \Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

$\Delta U_g$  die Korrektur für Luftspalte und Hohlräume, in  $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ;

$\Delta U_f$  die Korrektur für mechanische Befestigungselemente, in  $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ;

$\Delta U_r$  die Korrektur für Umkehrdächer, in  $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ .

#### 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:

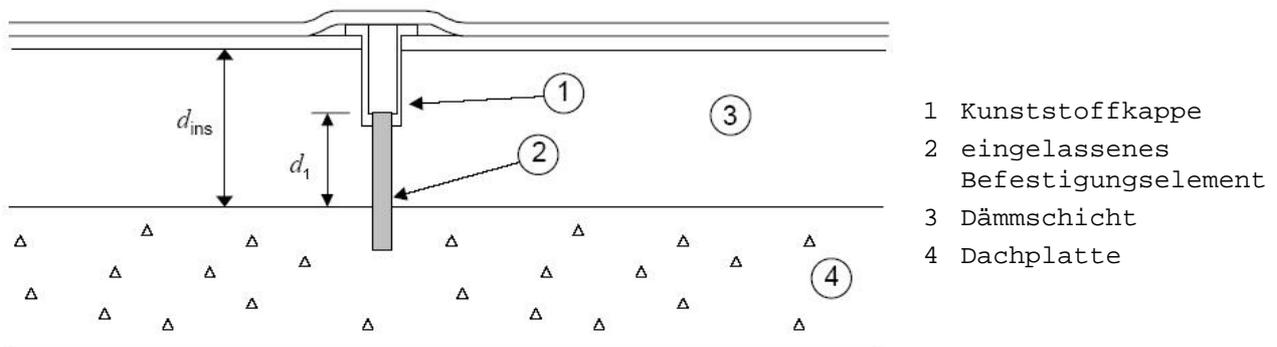
$$\text{Gl. 11} \quad \Delta U_g = 0$$

W/(m<sup>2</sup>·K)

### 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.

Abb. 1 - Eingelassenes mechanisches Befestigungselement



In den anderen Fällen kann das folgende Verfahren der Überschlagsberechnung angewandt werden. Die Auswirkung des mechanischen Befestigungselements wird dabei mit dem wie folgt berechneten Korrekturterm  $\Delta U_f$  bestimmt:

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

W/(m<sup>2</sup>·K)

Dabei ist:

$d_1$  Länge des Befestigungselements, in m, 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. 1 - Eingelassenes mechanisches Befestigungselement);

$\lambda_f$  Wärmeleitfähigkeit des mechanischen Befestigungselements (siehe ANM.);

$n_f$  Anzahl der mechanischen Befestigungselemente je, in m<sup>-2</sup>;

$A_f$  Querschnitt eines mechanischen Befestigungselements, in m<sup>2</sup>;

$\lambda_{ins}$  Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht, in W/(m·K);

$\alpha$  Korrekturfaktor, wie folgt bestimmt:

- $\alpha = 0,8$  wenn das mechanische Befestigungselement die Dämmschicht vollständig durchdringt;

- $\alpha = 0,8 \cdot d_1/d_{ins}$  wenn das Befestigungselement in die Dämmschicht eingelassen ist (siehe Abb. 1 - Eingelassenes mechanisches Befestigungselement);
- $R_1$  Wärmedurchlasswiderstand (des Teils) der Dämmschicht, der/die von dem mechanischen Befestigungselement durchdrungen wird ( $R_1 = d_1/\lambda_{ins}$ ), in  $m^2 \cdot K/W$ ;
- $R_{T,h}$  Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils, ohne Berücksichtigung irgendeiner Wärmebrücke, berechnet nach § 6.1.

ANM.: Bei Mauerhaken darf der Korrekturterm  $\Delta U_f$  in den nachstehenden Fällen nicht angewandt werden:

- Mauerhaken in ungedämmten Luftspalten;
- Mauerhaken mit einer Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda_f$ ) 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  $m^2$ :  $n_f = 5 \text{ m}^{-2}$ ;
- 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:  $d_1 = d_{ins}$ .

### **7.2.4 Korrekturverfahren für Umkehrdächer**

#### **7.2.4.1 Allgemeine Bestimmungen**

Bei Umkehrdächern mit einer Dämmschicht auf der wasserabweisenden Dachhaut ist ein Korrekturterm  $\Delta U_r$  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  $\Delta U_r$ , 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:

$$\text{Gl. 13} \quad \Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left[ \frac{R_1}{R_T} \right]^2 \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

- $p$  Durchschnittliche Niederschlagsmenge während der Heizperiode, in mm/Tag;
- $f$  Entwässerungsfaktor, der den Anteil an Regen, der die Dachabdichtung erreicht, (-);
- $x$  Faktor für den gestiegenen Wärmeverlust infolge von Regenwasser, das auf die Dachabdichtung strömt, in W.Tag/( $m^2 \cdot K \cdot mm$ );

$R_1$	Korrekturwert des Wärmedurchlasswiderstands der Dämmschicht aus XPS ( $R_{XPS}$ ), um eine Feuchtezunahme durch Diffusion zu berücksichtigen, in $m^2 \cdot K/W$ ;
$R_T$	Wärmedurchgangswiderstand des Daches, ohne Berücksichtigung irgendeiner Korrektur, in $m^2 \cdot K/W$ .

Der Korrekturterm  $\Delta U_r$  ist auf 2 Dezimalstellen zu runden. Werte unter  $0,01 W/m^2K$  sind zu vernachlässigen.

### **Feste Werte für Umkehrdächer:**

Für Umkehrdächer mit XPS wurden die folgenden Parameter festgelegt:

- Niederschlagsmenge:  $p = 2,0 \text{ mm/Tag}$ ;
- Korrekturfaktor für den Wärmeverlust durch Niederschlag:
  - $f.x = 0,04 \text{ W.Tag}/(m^2 \cdot K \cdot mm)$  bei Platten mit geraden Rändern und offener Beschwerung wie Kies, Ziegel oder einer werkseitig aufgetragenen Deckschicht;
  - $f.x = 0,03 \text{ W.Tag}/(m^2 \cdot K \cdot mm)$  bei Platten mit Rillen und offener Beschwerung (wie Kies, Ziegel) oder einer werkseitig aufgetragenen Deckschicht;
  - $f.x = 0,02 \text{ W.Tag}/(m^2 \cdot K \cdot mm)$  bei begrünten Dächern oder Dachgärten (in Erwartung präziser Zahlen).
- Korrigierter Wärmedurchlasswiderstand der XPS-Platten:
  - $R_1 = R_{XPS}/1,023$  (bei offener Beschwerung wie Kies, Ziegel oder einer werkseitig aufgetragenen Deckschicht);
  - $R_1 = R_{XPS}/1,069$  (bei gerüntem Dach oder Dachgarten)  
dabei wird  $R_{XPS}$  nach § **Erreuer ! Source du renvoi introuvable.** 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:

$$\text{Gl. 14} \quad R_{PUR} = a \cdot \left( \frac{d_{PUR}}{\lambda_{Ui, PUR}} \right) \quad m^2 \cdot K/W$$

Dabei ist:

- $R_{PUR}$  der korrigierte Wärmedurchlasswiderstand der Dämmung aus in situ versprühtem PUR-Ortschaum, in  $m^2 \cdot K/W$ ;
- $d_{PUR}$  die Dicke der Dämmschicht aus PUR-Ortschaum, in m;
- $\lambda_{Ui, PUR}$  die Wärmeleitfähigkeit (Rechenwert) der in situ versprühten PUR-Dämmung, in  $W/(m \cdot K)$ , bestimmt nach Anhang A;
- a ein Korrekturfaktor, (-), von:
- $a = 0,925$  (Anwendung für Fußboden),
  - $a = 0,850$  (für sonstige Anwendungen).

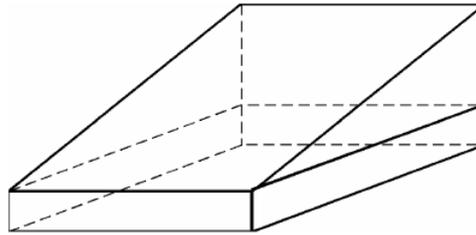
### **7.4 U-Wert eines keilförmigen Bauteils**

#### **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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

**Abb. 2 - Bauteil mit einer geneigten Schicht**

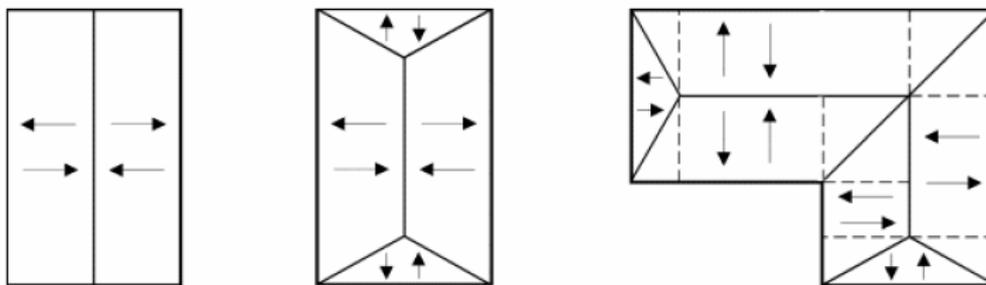


Der mittlere U-Wert solcher Bauteile ist wie folgt zu ermitteln:

- Zunächst ist das Bauteil in Teilstücke der drei gebräuchlich Formen und Neigungen nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** zu zerlegen; wie Dächer in Teilstücke zerlegt werden können, zeigt **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**;
- dann ist für jedes Teilstück (entsprechend einer gebräuchlichen Form und mit einer eigenen Fläche) ein U-Wert anhand der in § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** 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.

**Abb. 3 - Beispiele für die Unterteilung von Dächern in Teilstücke**



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

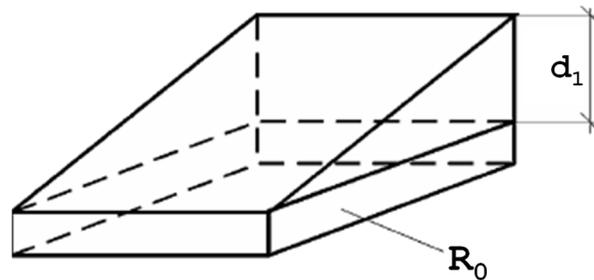
-----: Unterteilung eines Daches in Teilstücke mit rechteckiger oder dreieckiger Grundfläche

#### 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:

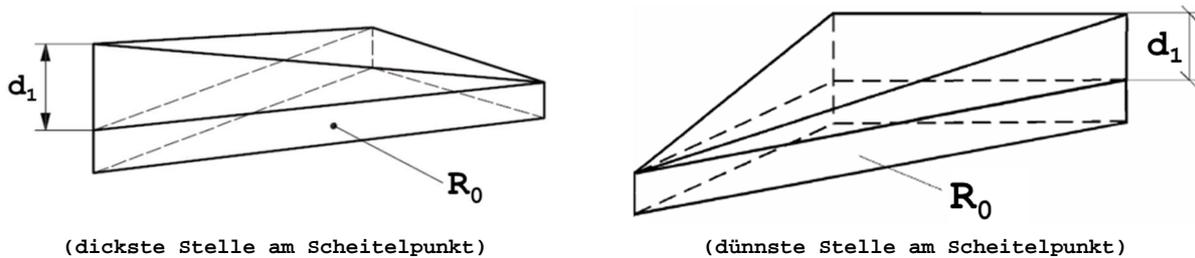
- ein Bauteil mit rechteckiger Fläche, bestehend aus einem Teil mit einer oder mehreren ebenen Bauteilschichten (mit einem Wärmedurchgangswiderstand  $R_0$ ) und einem Teil mit einer keilförmigen Schicht (mit einer Dicke zwischen 0 und höchstens  $d_1$ );

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



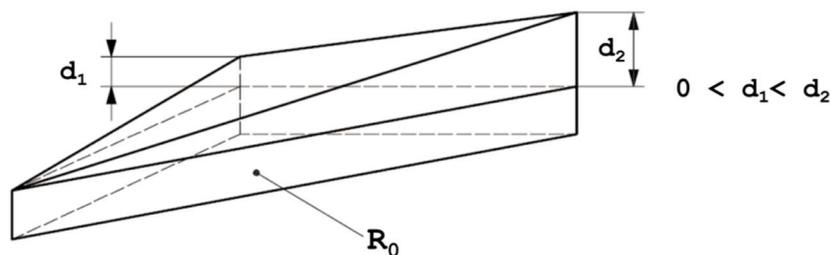
- ein Bauteil mit dreieckiger Fläche, bestehend aus einem Teil mit einer oder mehreren ebenen Bauteilschichten (mit einem Wärmedurchgangswiderstand  $R_0$ ) und einem Teil mit einer keilförmigen Schicht, deren dickste Stelle ( $d_1$ ) (Abb. [8] - links) oder deren dünnste Stelle ( $0$ ) (Abb. [8] - rechts)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

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]).

Abb. [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:

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

- Bauteile mit dreieckiger Fläche:
  - dickste Stelle am Scheitelpunkt:

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

- dünnste Stelle am Scheitelpunkt:

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

Dabei ist:

$R_1$  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  $\lambda_1$  [W/m.K] = Wärmeleitfähigkeit dieser Schicht;

$R_0$  Wärmedurchgangswiderstand des gesamten Bauteils, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , 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 (Abb. [9]):

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

Dabei ist:

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

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

$R_0$  der Gesamtwärmewiderstand des gesamten Elements, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , 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, Türen und Garagentoren

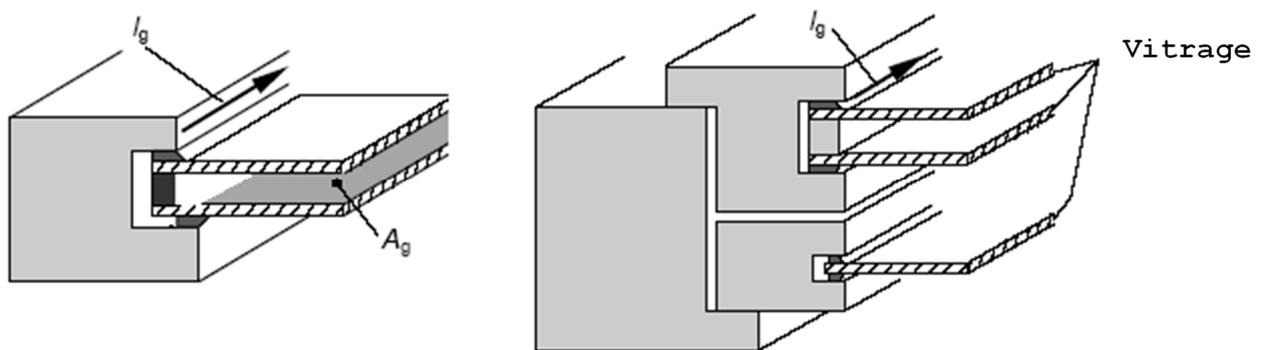
### 8.1 Geometrische Merkmale von Fenstern und Türen

#### 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  $A_x$  der Lüftungsgitter werden als sichtbare Fläche angesehen, die auf die Fläche<sup>1</sup> 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 Abb. [11] gezeigt.

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

<sup>1</sup> 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.

Abb. [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]):

- $A_{f,i}$  Projektionsfläche des Rahmens auf der Innenseite, in  $m^2$  (gleich Fläche der Projektion des Rahmens auf der Innenseite, einschließlich ggf. Flügelrahmen, parallel zur Verglasung);
- $A_{f,e}$  Projektionsfläche des Rahmens auf der Außenseite, in  $m^2$  (gleich Fläche der Projektion des Rahmens auf der Außenseite, einschließlich ggf. Flügelrahmen, parallel zur Verglasung);
- $A_f$  Fläche des Rahmens, bestimmt gemäß den in § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** beschriebenen Konventionen;

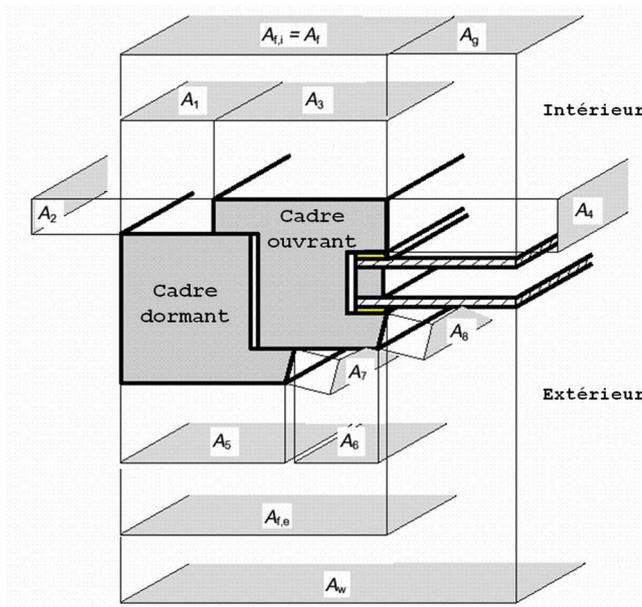
$A_{d,i}$  abgewickelte Fläche des Rahmens auf der Innenseite (gleich Fläche des Rahmens einschließlich ggf. Flügelrahmen, in Berührung mit der Innenluft – siehe

Abb. [13]);

$A_{d,e}$  abgewickelte Fläche des Rahmens auf der Außenseite (gleich Fläche des Rahmens einschließlich ggf. Flügelrahmen, in Berührung mit der Außenluft – siehe Abb. [13

Abb. [13]).

**Abb. [12]: Darstellung der verschiedenen Flächen**



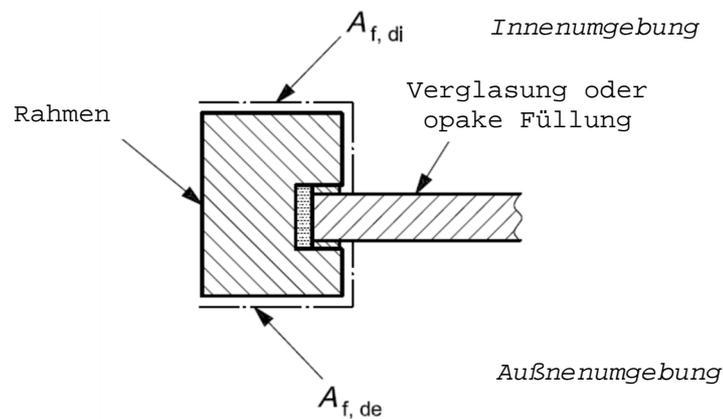
$$A_f = \max(A_{f,i} ; A_{f,e})$$

$$A_w = A_f + A_g$$

$$A_{d,i} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_{d,e} = A_5 + A_6 + A_7 + A_8$$

**Abb. [13]: Abgewickelte 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  $A_f$  des Rahmens und der Fläche  $A_g$  der Verglasung (und/oder der Fläche des Paneels  $A_p$  und /oder der Fläche  $A_r$  der Belüftungsgitter) (siehe Abb. [12]). Die Fläche des Rahmens  $A_f$  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 § **Erreuer ! Source du renvoi introuvable.**).

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

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Fensters ( $U_w$ ) oder einer Tür ( $U_D$ ) oder eines Garagentors ( $U_G$ ) ist für die Situation vor dem Einbau zu bestimmen ("nacktes" Fenster oder "nackte" Tür/"nacktes" Garagentor), 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 (für Garagentore ) durch Berechnung gemäß der NBN EN 12428. Die Berechnung an einer Tür von der gleichen Größe und Zusammensetzung gemacht werden müssen;
- oder mittels einer Berechnung (vereinfacht) oder Standardwerte , wie unten beschrieben.

Der Wärmeübertragungskoeffizient einer Laterne aus Glas kann als Wärmeübertragungskoeffizient eines Dachfensters oder als Wärmeübertragungskoeffizient einer Laterne aus Kunststoff bestimmt werden (siehe § 11.2). Derselbe Wert ist für die Berechnung von Grad E des Grads  $E_w$  des Primärenergieverbrauchs und für die Evaluierung der Anforderung  $U_{max}$  gemäß Anlage U/R anzuwenden.

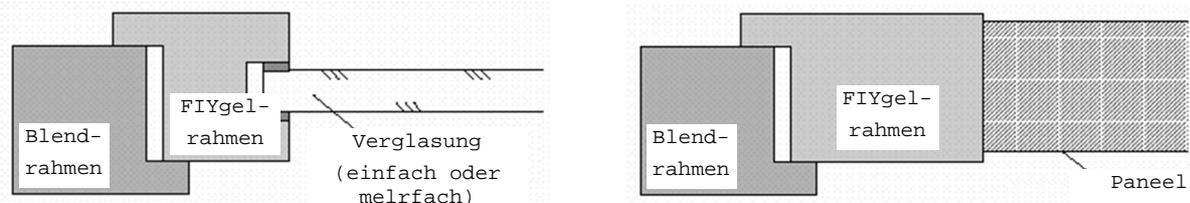
Falls die Profilkonstruktionen von Fenster und Lüftungsgitter in ein und demselben Element integriert sind, wird dieses einzigartige Bauteil als Lüftungsgitter angesehen.

## 8.3 Normalfall: U-Wert von Einfachfenstern oder normalen Türen

Einfachfenster<sup>2</sup> 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 normalen Tür



<sup>2</sup> "Einfach" ist hier im Gegensatz zu "Doppelfenster" und "Verbundfenster" zu verstehen (siehe nachfolgende Paragraphen).

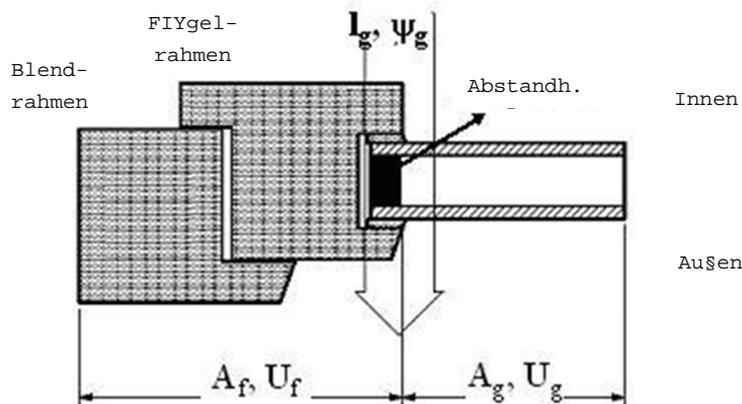
Der Wärmedurchgangskoeffizient eines Fensters ( $U_w$ ) oder einer Tür ( $U_D$ ) mit bekannten Abmessungen und verglasten Teilen und/oder opaken Füllungen und / oder des Belüftungsgitter ist im Allgemeinen nach folgender Formel zu bestimmen:

$$\text{Gl. 19} \quad U_w \text{ (oder } U_D) = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + A_p \cdot U_p + A_r \cdot U_r + l_g \cdot \Psi_g + l_p \cdot \Psi_p}{A_g + A_f + A_p + A_r} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Dabei ist:

- $U_g$  U-Wert der Verglasung, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;
- $U_f$  U-Wert des Rahmens, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;
- $U_p$  U-Wert der opaken Füllung, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;
- $U_r$  U-Wert der Belüftungsgitter, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;
- $\Psi_g$  längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient unter Berücksichtigung der kombinierten Effekte von Verglasung, Abstandhalter und Rahmen (siehe Abb. [15]), in  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;
- $\Psi_p$  längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient unter Berücksichtigung der kombinierten Effekte von Füllung, Abstandhalter und Rahmen, in  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** .

Abb. [15] Effekt von Verglasung, Abstandhalter und Rahmen



ANM. 1: Bei einer Einfachverglasung fällt der Term ( $l_g \cdot \Psi_g$ ) der Gl. 19 weg, da es keinen Effekt des Abstandhalters gibt.

ANM. 2: Die Gl. 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.:  $\sum A_f \cdot U_f$ ,  $\sum A_f$ ).

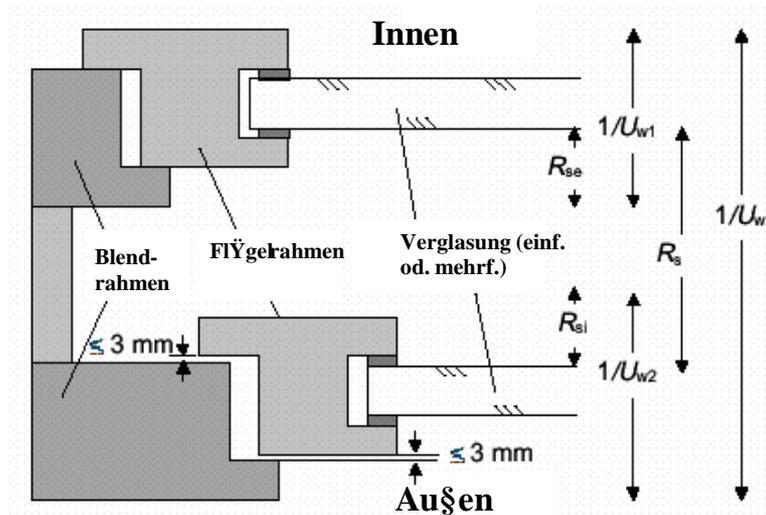
Wenn der Einfachheit halber für die Bestimmung von  $U_w$  (oder  $U_D$ ) der einbezogenen Komponenten nur ein U-Wert angewandt wird, muss der ungünstigste (höchste) Wert verwendet werden. Der entsprechende  $\Psi$ -Wert muss dann auf der Grundlage dieses U-Werts bestimmt werden.

ANM. 3: Unter Einhaltung der Bedingungen nach § 8.5 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:

$$\text{Gl. 20} \quad U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{w2}} - R_{si}} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

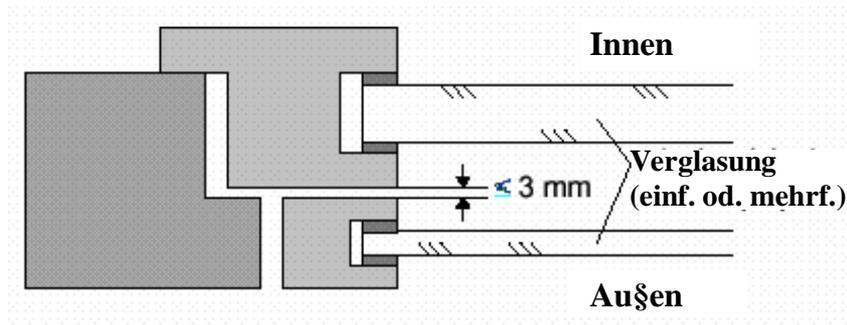
- $U_{w1}$   $U_{w2}$  U-Wert des Innen- bzw. des Außenfensters, in  $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ , bestimmt nach Gl. 19;
- $R_{si}$  innerer Wärmeübergangswiderstand des Außenfensters, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**;
- $R_{se}$  äußerer Wärmeübergangswiderstand des Innenfensters, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**;
- $R_s$  Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht zwischen beiden Fenstern, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

### 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 Gl. 19 bestimmt werden, jedoch ist der kombinierte Wert  $U_g$  beider Verglasungen wie folgt zu bestimmen:

$$\text{Gl. 21} \quad U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{g2}} - R_{si}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Dabei ist:

- $U_{g1}$   $U_{g2}$  U-Wert der Innen- bzw. der Außenverglasung, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**;
- $R_{si}$  innerer Wärmeübergangswiderstand des Außenfensters, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**;
- $R_{se}$  äußerer Wärmeübergangswiderstand des Innenfensters, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**;
- $R_s$  Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht zwischen beiden Verglasungen, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

### 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 § 8.4.1) und in Verbundfenstern (siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) 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 ( $\Delta R$ ), der der Summe aus dem Wärmedurchlasswiderstand des Fensterladens selbst ( $R_{sh}$ ) und der Luftschicht zwischen Fensterladen und Fenster ( $R_s$ ) entspricht (siehe Abbildung [18]).

Der Wärmeübertragungskoeffizient der Kombination Fenster/geschlossener Fensterladen,  $U_{ws}$ , ist:

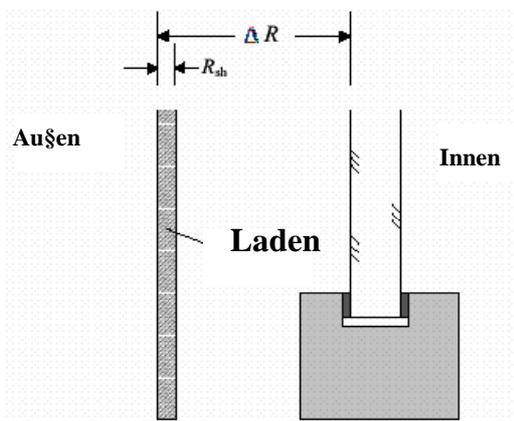
$$\text{Gl. 22} \quad U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

$U_w$  U-Wert des Fensters, berechnet nach Gl. 19;

$\Delta R$  zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Abbildung [18]: Fenster mit geschlossenem Fensterladen



Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand wird bei der Berechnung des K- und des E-Grads gemäß den Regeln in § 7.7.2 der Anlage A1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 angesetzt. Bei der Bewertung der Anforderung  $U_{max}$  gemäß Anlage C.1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 wird der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand nicht berücksichtigt.

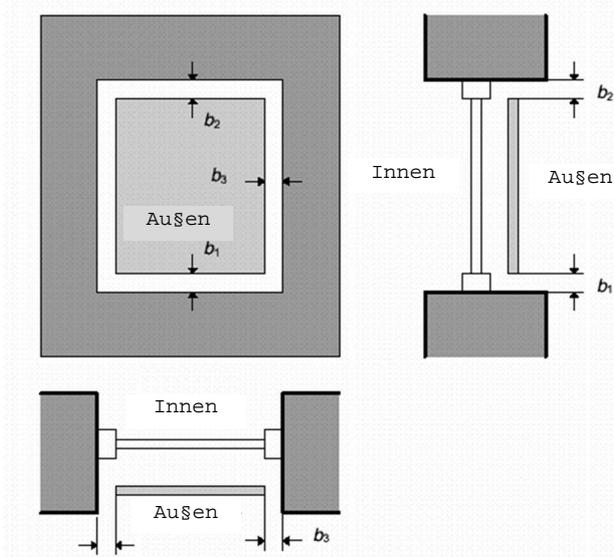
##### 8.4.5.2 Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand bei geschlossenen Fensterläden

Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand  $\Delta R$ , 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  $\Delta R$ -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.

**Abb. [19]: Eigenschaften von Luftöffnungen rund um geschlossene Fensterläden**



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.

Der Gesamtpalt des Fensterladens ( $b_3$ ) wird nur einmal gezählt, da die Spalte oben und unten einen größeren Einfluss haben.

**Tabelle [3]: Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht und des geschlossenen Fensterladens**

Klasse	Luftdurchlässigkeit des geschlossenen Fensterladens	$b_{sh}$ [mm]	$\Delta R$ m <sup>2</sup> .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)	$b_{sh} \leq 3$ et $b_1+b_3 = 0$ oder $b_2+b_3 = 0$ (2) (3)	$0,95 \cdot R_{sh} + 0,17$

(1) Die  $\Delta R$ -Werte gelten bei  $R_{sh} < 0,3$  m<sup>2</sup>K/W ( $R_{sh}$  ist der Wärmedurchlasswiderstand des Fensterladens selbst, bestimmt nach § 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 unbekanntem Fensterladen ist der Wärmedurchlasswiderstand zu vernachlässigen:  $R_{sh} = 0$  m<sup>2</sup>K/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 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> 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.

### 8.5 Vereinfachte Bestimmung des U-Werts und Verglasungsfläche 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.

Der Wert  $U_{w,T}$  und ein herkömmlicher Wert für die gesamte Glasfläche werden (für alle Fenster dieses Satzes von Fenstern) gemäß dem Verhältnis des U-Werts der Verglasung zu jener an den Rahmen berechnet. In den Gleichungen Gl. 92 und Gl. 94 entspricht der erste Term dem Teil "Verglasung und Rahmen", der zweite dem "Lüftungsgitter" und der dritte der "Abdeckblende":

- Wenn  $U_g \leq U_f$ :

**Gl. 92**

$$U_{w,T} = (0,7 \cdot U_g + 0,3 \cdot U_f + 3 \cdot \Psi_g) + \left( \frac{\sum A_r \cdot (U_r - U_g)}{\sum A_{wd}} \right) + \left( \frac{\sum A_p \cdot (U_p - U_g)}{\sum A_{wd}} \right) \quad W/(m^2 \cdot K)$$

**Gl. 93**  $A_{g,T} = 0,7 \cdot \sum A_{wd} - \sum A_r - \sum A_p \quad m^2$

- Wenn  $U_g > U_f$ :

**Gl. 94**  $U_{w,T} = (0,8 \cdot U_g + 0,2 \cdot U_f + 3 \cdot \Psi_g) + \left( \frac{\sum A_r \cdot (U_r - U_f)}{\sum A_{wd}} \right) + \left( \frac{\sum A_p \cdot (U_p - U_f)}{\sum A_{wd}} \right)$   
 $W/(m^2 \cdot K)$

**Gl. 95**  $A_{g,T} = 0,8 \cdot \sum A_{wd} \quad m^2$

Dabei ist:

$U_g$	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung, in $W/(m^2 \cdot K)$ , (siehe § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> );
$U_f$	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens, in $W/(m^2 \cdot K)$ , (siehe § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> );
$\Psi_g$	linearer Wärmedurchgangskoeffizient, in $W/(m \cdot K)$ , (siehe le § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> );
$U_r$	Wärmedurchgangskoeffizient des Lüftungsgitters, in $W/(m^2 \cdot K)$ , (siehe § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> );
$\Sigma A_r$	Gesamtfläche der vorhandenen Lüftungsgitter, in $m^2$ ;
$U_p$	Wärmedurchgangskoeffizient des Paneels, in $W/(m^2 \cdot K)$ , (siehe § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> );
$\Sigma A_p$	Gesamtfläche der vorhandenen Füllungen, in $m^2$ ;
$\Sigma A_{wd}$	Gesamtfläche der Fenster (bestimmt auf der Grundlage der Flächen der Fensteröffnungen), in $m^2$ .

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  $\Psi$ -Wert ist dann auf der Grundlage des U-Werts zu bestimmen.

### 8.6 Weitere Spezifikationen und Standardwerte für opake Türen und opake Garagentore

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

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

**Tabelle [4]: Standardwert für  $U_D$ , in  $W/m^2.K$ , bei opaken Türen und opaken Garagentoren**

	aus Metall	sonstige Werkstoffe
Ungedämmte Türen	6,0	4,0
Gedämmte Türen <sup>(1)</sup>	5,0	3,0
(1) mindestens 70 % der Gesamtfläche der Tür sind mit einer Dämmung versehen, mit $R_{min} = 0,4 \text{ m}^2K/W$		

## 9 Wärmedurchgangskoeffizient von Fenster- und Türkomponenten

### 9.1 Wärmedurchgangskoeffizient von Verglasungen

Der auf den Mittenbereich einer Verglasung bezogene Wärmedurchgangskoeffizient ( $U_g$ ) ist gemäß der CE-Kennzeichnung zu bestimmen, d. h. nach der Norm NBN EN 673, NBN EN 674 oder NBN EN 675 zu berechnen.

Die folgenden Werte können als standardmäßig abhängig von der Art der Verglasung verwendet werden:

- Einfachverglasung: 5,8 W/(m<sup>2</sup>.K);
- Doppelverglasung: 3,3 W/(m<sup>2</sup>.K);
- Dreifach -Verglasung: 2,3 W/(m<sup>2</sup>.K).

### 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  $R_{si} = 0,13$  m<sup>2</sup>.K/W). Bei horizontal oder geneigt (in einem Winkel von 0 bis 60°) eingebauten Dachfenstern ist  $R_{si} = 0,10$  m<sup>2</sup>.K/W (nach Tabelle [1]) und es kann vereinfacht die folgende Korrektur angewandt werden:

$$\text{Gl. 25} \quad U_{f,x} = \frac{1}{\frac{1}{U_f} - 0,03} \quad \text{W/(m}^2\text{.K)}$$

Dabei ist:

$U_{f,x}$  korrigierter Dachfensterrahmen-U-Wert  $U_f$ , in W/(m<sup>2</sup>.K);

$U_f$  vereinfachter Rahmen-U-Wert  $U_f$ , in W/(m<sup>2</sup>.K), bestimmt anhand der Werte in den Tabellen in Anhang D.

ANM.: Die nach Gl. 25 bestimmten  $U_{f,x}$ -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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** und § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** zu berechnen.

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

### 9.4 Wärmedurchgangskoeffizient von Lüftungsgittern ( $U_r$ )

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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** und § 8.5 zu betrachten.

Der Wärmedurchgangskoeffizient eines (schließbaren) Lüftungsgitters ( $U_r$ ) 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.

Bei der U-Wert zu bestimmen, wird die Lüftergitter durch Konvention in seiner geschlossenen Position betrachtet.

Standardwert ist  $U_r = 6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (alle Lüftungsgitter).

### 9.5 Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ( $\Psi$ -Wert)

Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ( $\Psi$ -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  $\Psi$ -Werte die Standardwerte in den Tabellen in Anhang E verwendet werden.

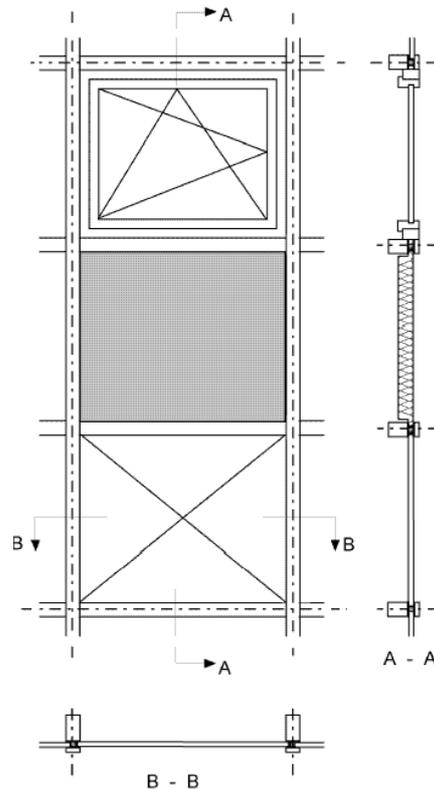
Bei opaken Füllungen, die an den Paneelrändern durch einen weniger dämmenden Abstandhalter thermisch verbunden sind, muss der  $\Psi$ -Wert genau so berechnet werden, wie bei einer Verglasung. Andernfalls kann  $\Psi_p$  als = 0 angenommen werden.

## 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.

Die Bestimmung des Wärmedurchgangs  $U_{cw}$  wird durch das Modul ausgeführt werden:

- oder durch die Prüfung gemäß NBN EN ISO 12567-1;
- basierend auf bestimmten numerischen Berechnungen (§ 10.3);
- oder durch die Komponenten-Verfahren anwenden (§ 10.4).

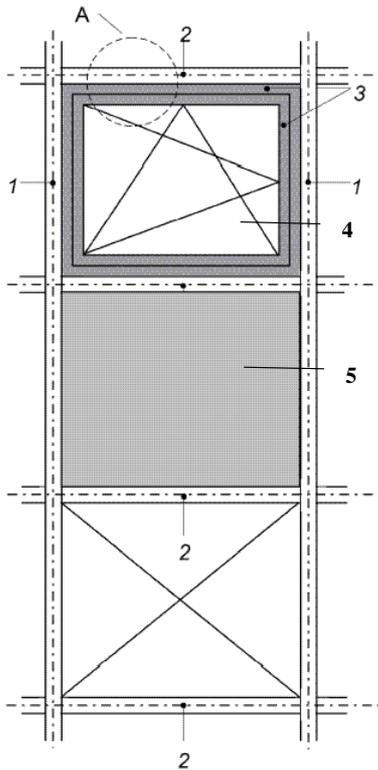
ANM.: Die ersten beiden Bestimmungsmethoden können ohne Limit für alle Arten von Lichtfassaden verwendet werden.

## 10.2 Konstruktive Eigenschaften von Vorhangfassaden

### 10.2.1 Komponenten und Randbedingungen

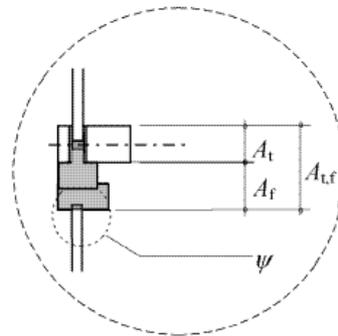
Die Komponenten eines Vorhangfassadenelements sind in Abb. [21] schematisch dargestellt.

Abb. [21]: Komponenten einer Vorhangfassade



- 1: Pfosten
- 2: Riegel
- 3: Flügel und Rahmen
- 4: Verglasung
- 5: Füllung

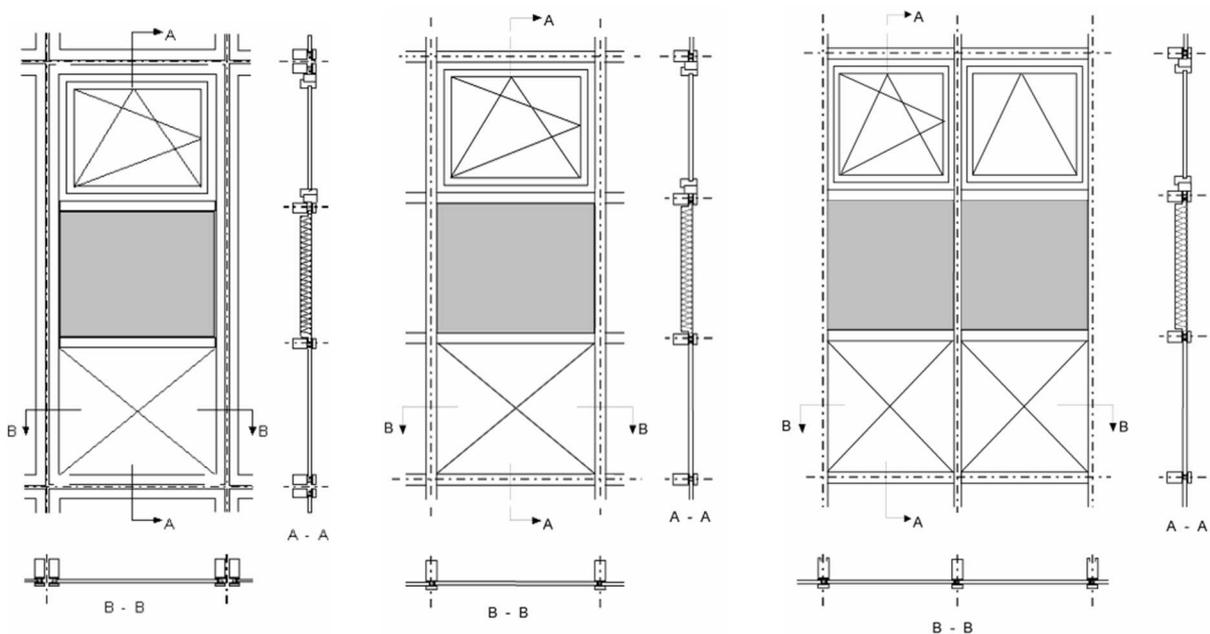
Querschnitt A



- $A_t$  ( $m^2$ ): Projektionsfläche des Riegels
- $A_f$  ( $m^2$ ): Projektionsfläche des Rahmens

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

Abb. [22]: Abgrenzung der Flächen von Vorhangfassadenelementen



Typ 1

Typ 2

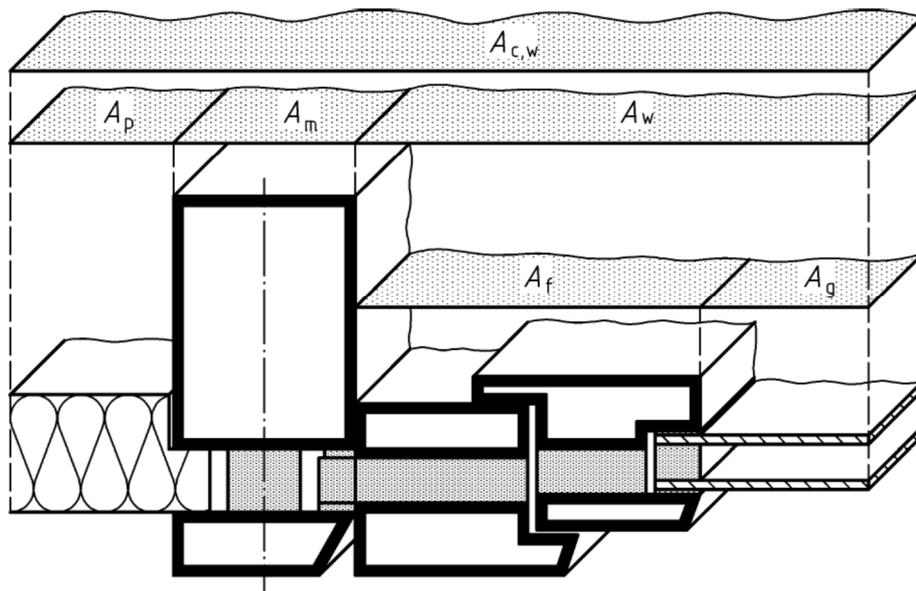
Typ 1 und 2 kombiniert

### 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:

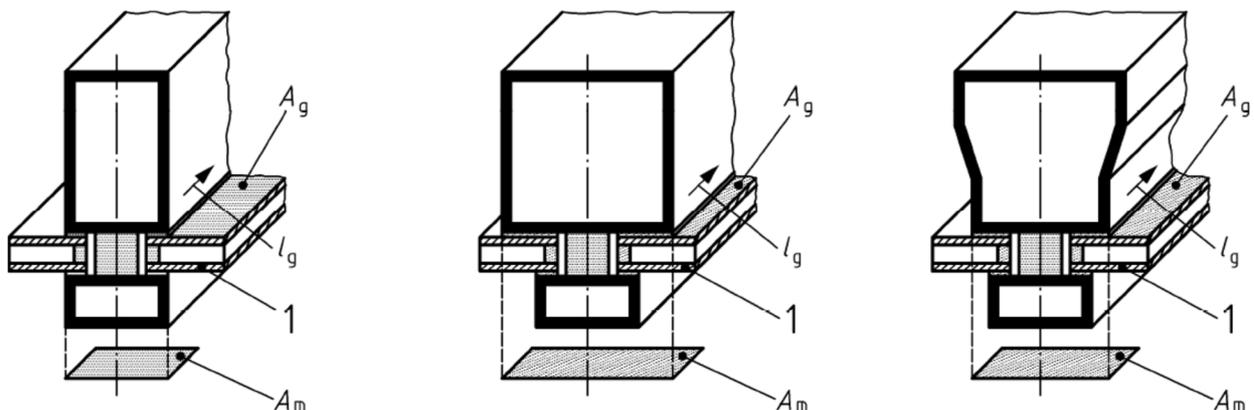
- Bei Verglasungen und opaken Füllungen muss die kleinere der von beiden Seiten gesehenen Flächen verwendet werden.
- Bei allen anderen Komponenten (Rahmen, Pfosten und Riegel) muss für die Berechnung die größere der von beiden Seiten gesehenen Flächen verwendet werden.

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]).

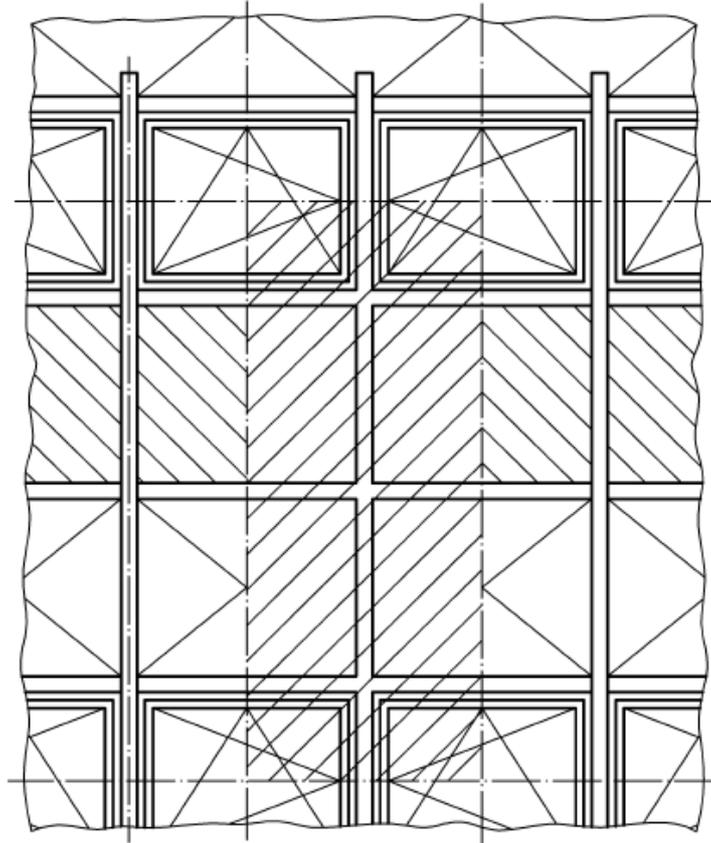
Abb. [24]: Schematische Darstellung der Fläche und des Umfangs der Verglasung (1: Glas)



### 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 Bestimmung des $U_{cw}$ -Werts eines Vorhangfassadenelements: präzise numerische Berechnungen

#### 10.3.1 Prinzip des numerischen Berechnungsverfahrens

Die Bestimmung des  $U_{cw}$ -Werts kann erfolgen 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 gemäß § 9.1 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.

#### 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. Diese zusätzlichen Wärmeverluste sind zu bestimmen von der Gesamtwärmestrom ( $\Phi_{tot}$ ) durch das Modul. Der Gesamtwärmestrom  $\Phi_{tot}$  bestimmt wird:

- 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.

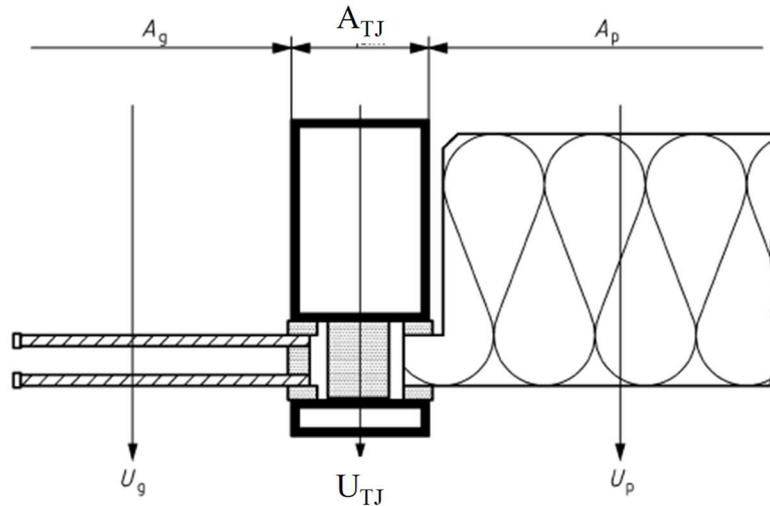
Bei Anwendung des numerischen Berechnungsverfahrens, kann der Gesamtwärmestrom durch die Verbindungselemente ( $\Phi_{TJ}$ ), unter Berücksichtigung der Randeffekte, auf zweierlei Arten bestimmt werden:

- 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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ein flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient  $UTJ$  zu bestimmen;
- oder das Verbindungselement zwischen Verglasung und Füllung wird als eine lineare Wärmebrücke betrachtet (mit eigener Länge und  $\Psi$ -Wert); in diesem Fall ist anhand des Berechnungsverfahrens nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** der lineare Wärmedurchgangskoeffizient  $\Psi_{TJ}$  zu bestimmen.

Die Bestimmung von  $U_{cw}$  schließlich, hat nach den Formeln in § 10.3.3 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 unbekanntem eigenen U-Wert ( $U_{TJ}$ , zu ermitteln) betrachtet. Auf der Grundlage des Gesamtwärmeverluststroms ( $\Phi_{tot}$ ) durch das komplette Modell (numerisch berechnet), ergibt sich  $U_{TJ}$  aus:

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

Dabei ist:

$\Delta T$  Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenumgebung, in K.

ANM. 1  $U_{TJ}$  bestimmt den Wärmestrom durch die Verbindung, unter Berücksichtigung aller Randeffekte (Wechselwirkung zwischen Rahmen und Verglasung oder opaker Füllung) des betreffenden Modells. Dieser Wert  $U_{TJ}$  ist demzufolge nicht gleich dem Rahmen-U-Wert  $U_f$ , 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.

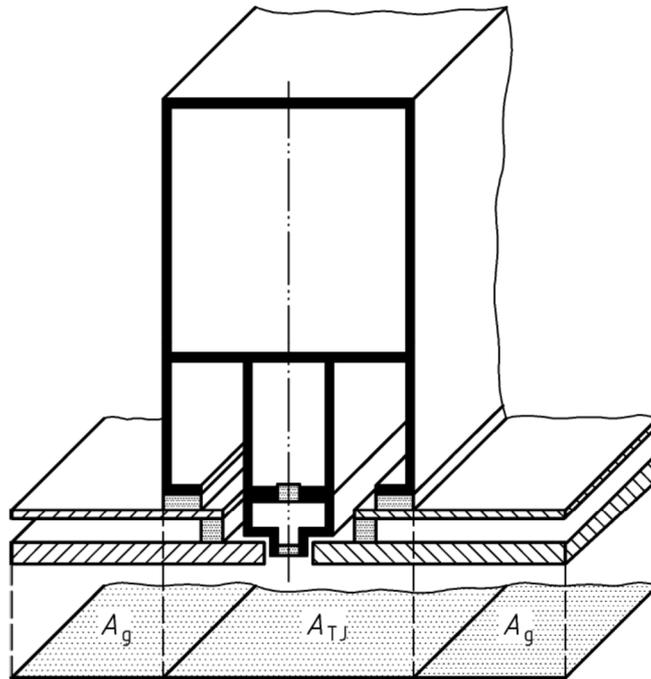
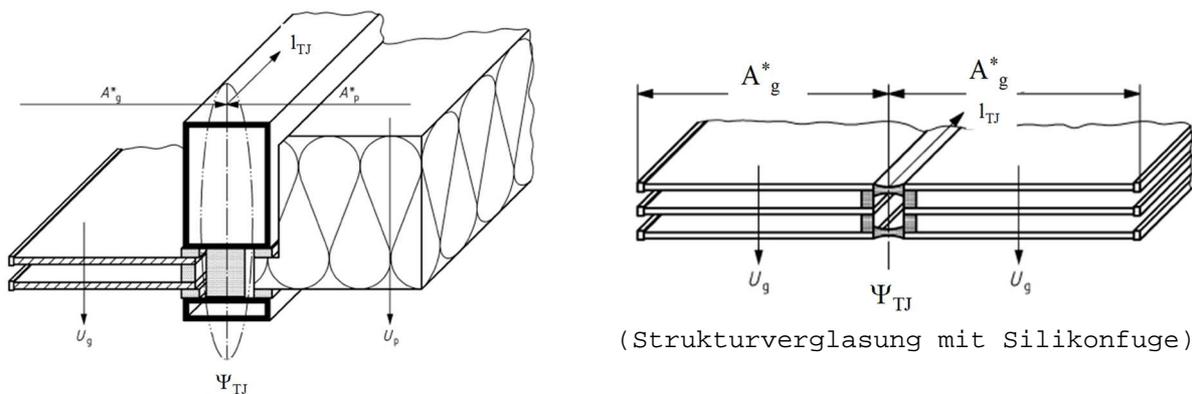
Abb. [27]: Bestimmung von  $A_{TJ}$  im Fall einer Strukturverglasung10.3.2.3 Bestimmung von  $\Psi_{TJ}$  (Verbindung betrachtet als eine lineare Wärmebrücke)

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  $\Psi$ -Wert ( $\Psi_{TJ}$ , zu bestimmen) betrachtet. Anhand des numerisch berechneten Gesamtwärmestroms ( $\Phi_{tot}$ ), ist  $\Psi_{TJ}$  wie folgt zu berechnen:

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

### 10.3.3 Bestimmung von $U_{cw}$ eines Moduls

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:

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

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

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

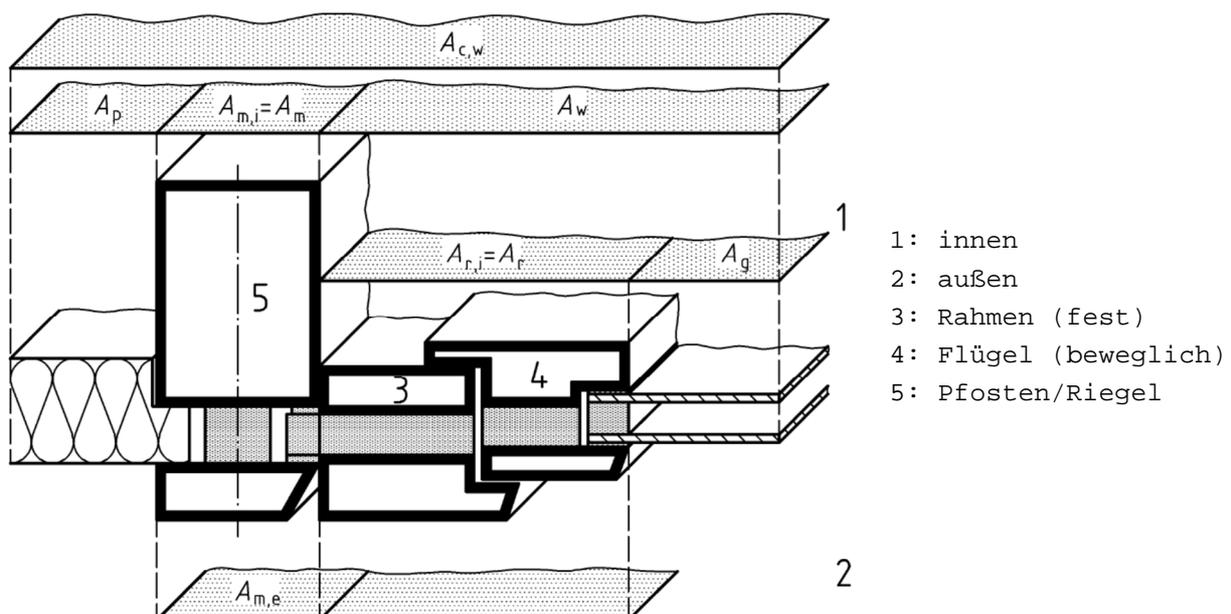
## 10.4 Berechnung des $U_{cw}$ -Werts eines Moduls (Komponentenmethode)

### 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 ( $\Psi$ -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:

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

Dabei ist:

$U_g, U_p$	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung bzw. der opaken Füllung, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> ;
$U_f, U_m, U_t$	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens, des Pfostens bzw. des Riegels, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> ;
$A_g, A_p, A_f, A_m, A_t$	Projektionsfläche der Verglasung, der opaken Füllung, der Rahmen, der Pfosten bzw. der Riegel, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> ;
$A_{\text{cw}}$	Gesamtfläche des Vorhangfassadenelements, zusammengesetzt aus der Summe der Teilflächen der Komponenten: $A_{\text{cw}} = A_g + A_p + A_f + A_m + A_t$ ;
$\Psi_{f,g}$	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) an der Verbindung zwischen Verglasung und Rahmen resultieren, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> ;
$\Psi_{f,p}$	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) an der Verbindung zwischen Füllungen und Rahmen oder Pfosten resultieren, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> ;
$\Psi_{m,f}, \Psi_{t,f}$	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) zwischen den Rahmen (Blendrahmen) und den Pfosten und/oder Riegeln resultieren, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> ;
$\Psi_{m,g}, \Psi_{t,g}$	längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten, die aus den Randeffekten (lineare Wärmebrücken) zwischen den Verglasungen und den Pfosten und/oder Riegeln resultieren, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> ;
$l_g, l_p, l_{m,f}, l_{t,f}, l_{m,g}, l_{t,g}$	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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

##### 10.4.3.2 Opake Füllung

Siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

#### 10.4.4 U-Wert von Rahmen, Pfosten und Riegeln

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Rahmen ( $U_f$ ) ist entsprechend den Prinzipien in § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** 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 ( $\chi$ -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  $\Delta U$  addiert wird:

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

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

**Tabelle [5]:  $\Delta U$ -Werte für Riegel und Pfosten**

Durchmesser des rostfreien Verbindungselements (Schraube)	Zwischenabstand zwischen Verbindungen	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))
≤ 6 mm	200 - 300 mm	0,3

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

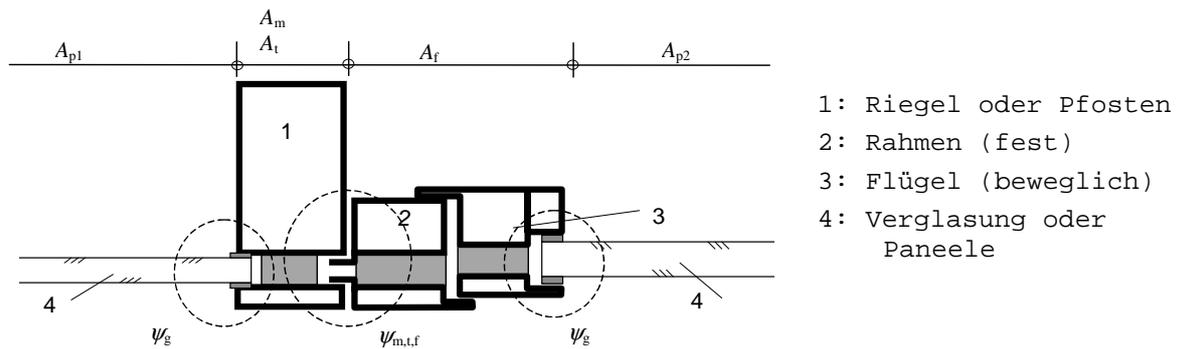
Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der Verbindungsbereiche (Abstandhalter) zwischen Verglasungen und Rahmen ( $\Psi_{f,g}$ ), oder zwischen Paneelen und Rahmen ( $\Psi_{f,p}$ ), können bestimmt werden durch:

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

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

Dabei ist:

$U_{cw,i}$  U-Werte der unterschiedlichen Elemente, in  $\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ ;

$A_{cw,i}$  Flächen der unterschiedlichen Elemente, in  $\text{m}^2$ .

## 11 Wärmedurchgangskoeffizient sonstiger durchsichtiger Wände

### 11.1 Glasbausteine

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/m<sup>2</sup>K beträgt.

### 11.2 Laternen aus Kunststoffmaterial

Dieser Absatz bezieht sich sowohl auf punktuelle als auch auf durchgehende Laternen.

Egal, ob für die Berechnung des Grads  $E_w$  oder für die Evaluierung der Anforderung  $U_{max}$  gemäß Anlage C1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 wird der Wärmedurchgangskoeffizient, der für eine Laterne aus Kunststoffmaterial zu berücksichtigen ist,  $U_{r1}$ , folgendermaßen angegeben:

**G1. 98** Für eine Laterne mit Aufsatz:  $U_{r1} = \frac{A_{rc}}{A_p} \cdot U_{rc}$  W/(m<sup>2</sup>.K)

Für eine Laterne ohne Aufsatz:  $U_{r1} = \frac{A_r}{A_p} \cdot U_r$  W/(m<sup>2</sup>.K)

Dabei ist:

$A_{rc}$	die Fläche der Laterne mit Aufsatz, in m <sup>2</sup> , bestimmt gemäß Norm NBN EN 1873;
$A_r$	die Fläche der Laterne ohne Aufsatz, in m <sup>2</sup> , bestimmt gemäß Norm NBN EN 1873;
$A_p$	die Projektionsfläche der Laterne, in m <sup>2</sup> ;
$U_{rc}$	der Wärmedurchgangskoeffizient der Laterne mit Aufsatz, in W/(m <sup>2</sup> .K), bestimmt gemäß Norm NBN EN 1873;
$U_r$	der Wärmedurchgangskoeffizient der Laterne ohne Aufsatz, in W/(m <sup>2</sup> .K), bestimmt gemäß Norm NBN EN 1873.

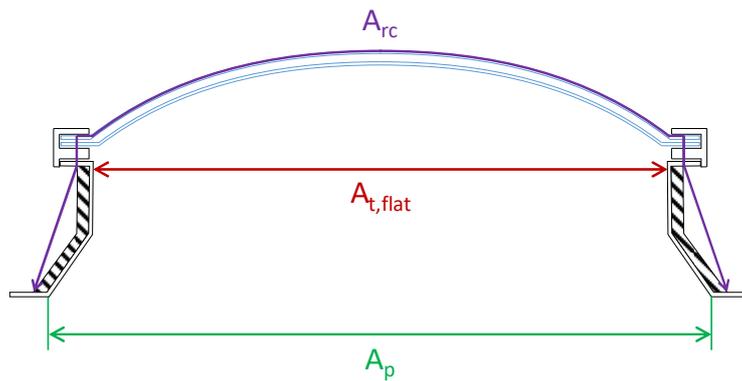
**Abbildung [51]: Fläche einer Laterne mit Aufsatz**

Abbildung [51] zeigt die Bestimmung der Projektionsfläche der Laterne  $A_p$  sowie jene der horizontalen Projektionsfläche der äußeren Beleuchtungsfläche  $A_{t,flat}$  sowie die Fläche einer Laterne mit Aufsatz  $A_{rc}$ . Für die Flächen  $A_{t,flat}$  und  $A_{rc}$  ist Abbildung [51] nur ein grobes Schema: die genauen Definitionen sind in der Norm NBN EN 1873 angegeben.

## 12 Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch Gebäude<sup>3</sup>

### 12.1 Gesamttransmissionswärmedurchgangskoeffizient

Der Gesamttransmissionswärmedurchgangskoeffizient ( $H_T$ ) ist wie folgt zu bestimmen:

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

Dabei ist:

- $H_D$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch die Gebäudehülle direkt zur Außenumgebung, in W/K, bestimmt nach § 13;
- $H_g$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich, unbeheizte Keller und erdanliegende Kriechkeller, in W/K, bestimmt nach § 15;
- $H_U$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch angrenzende unbeheizte Räume zur Außenumgebung, in W/K, bestimmt nach § 14.

### 12.2 Conventions générales

### 12.3 Allgemeine Vereinbarungen

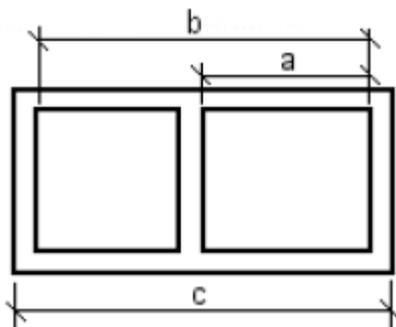
#### 12.3.1 Grenzen der Gebäudeteile

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

#### 12.3.2 Bestimmung der Flächen

##### 12.3.2.1 Berechnung von Außenwandflächen

Abb. [31]: Flächenberechnungssystem



Zeichenerklärung:

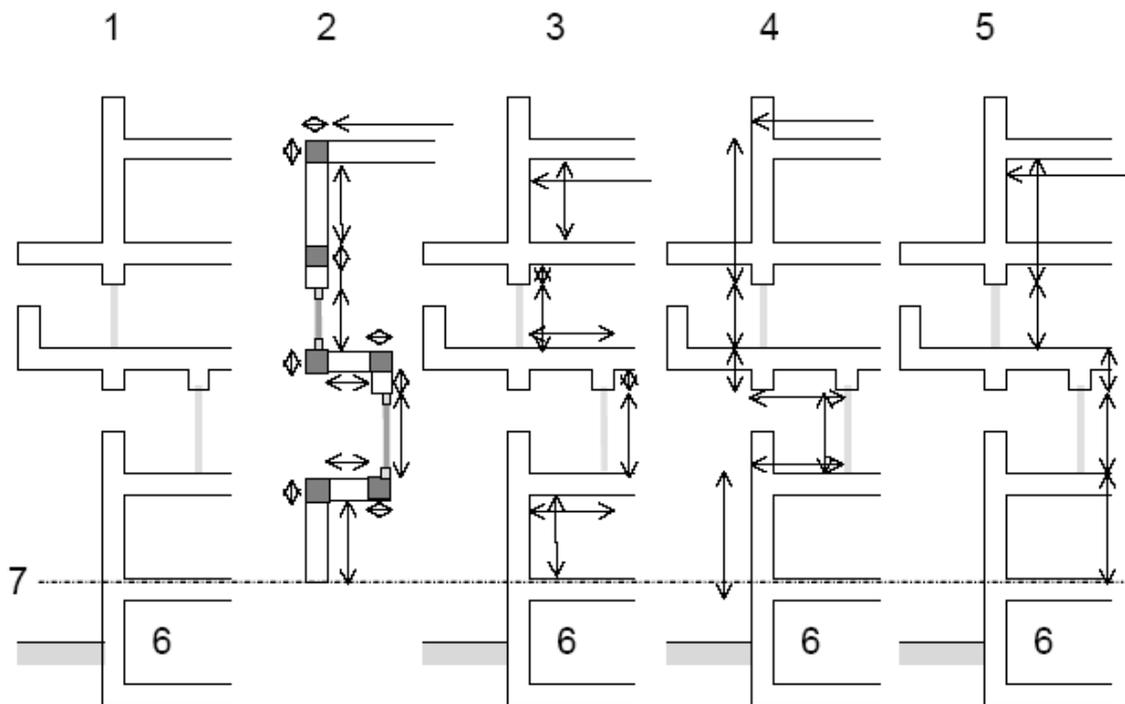
- a Innenmaß
- b komplettes Innenmaß
- c Außenmaß

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. [31] dargestellt in Abb. [32]), 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 ...).

<sup>3</sup> Unter "Gebäude" ist auch "Gebäudeteil" zu verstehen, wenn die vorstehende Berechnung Anwendung findet.

Abb. [32]: Messsystem



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

### 12.3.2.2 Berechnung der Wandflächen in einem geschützten Volumen oder zwischen 2 geschützten Volumen

Wenn Oberflächen der Wände in einem geschützten Volumen oder zwischen zwei geschützten Volumen Dimensionen zu bestimmen sind, indem man die Achse der Zwischenwände als Grenze bestimmt.

### 12.3.2.3 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.

### 12.3.3 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:

$$\text{Gl. 34} \quad H_D = H_D^{\text{constructions}} + H_D^{\text{junctions}} = \sum_i U_i \cdot A_i + H_D^{\text{junctions}} \quad \text{W/K}$$

Dabei ist:

$H_D^{\text{constructions}}$  der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustfläche, die mit der Außenumgebung in Berührung kommt, in W/K;

$A_i$  die Fläche der Zwischenwand  $i$ , bestimmt über die Außenabmessungen, in  $\text{m}^2$ ;

$U_i$  der Wert  $U$  der Zwischenwand  $i$ , in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$H_D^{\text{junctions}}$  der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Bauknoten, die mit der Außenumgebung in Berührung kommen, in W/K, (siehe § 16).

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

Für die Behandlung der Bauknoten wird auf § 9.1.5 und auf Anlage B2 des Erlasses vom 15. Mai 2014 verwiesen.

## 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:

$$\text{Gl. 35} \quad H_U = H_U^{\text{constructions}} + H_U^{\text{junctions}} \quad \text{W/K}$$

Dabei ist:

$H_U^{\text{constructions}}$  der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustrfläche mit Kontakt mit unbeheizten Nachbarräumen, in W/K;

$H_U^{\text{junctions}}$  der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Bauknoten mit Kontakt mit unbeheizten Nachbarräumen, in W/K, (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:

$$\text{Gl. 36} \quad H_U^{\text{constructions}} = H_{T,iu}^{\text{constructions}} \cdot b \quad \text{W/K}$$

Dabei ist:

$$\text{Gl. 37} \quad b = \frac{H_{ue}}{H_{T,iu}^{\text{constructions}} + H_{ue}} \quad (-)$$

und:

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

Dabei ist:

$b$  der Reduzierkoeffizient des unbeheizten Raumes;

$H_{T,iu}^{\text{constructions}}$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient zwischen beheizten und nicht beheizten Räumen (direkt), der wie folgt bestimmt wird, in W/K;

$H_{ue}$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient zwischen dem angrenzenden nicht beheizten Raum und der Außenumgebung, in W/Ki;

$H_{T,ue}$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch die Wände zwischen dem unbeheizten angrenzenden Raum und der äußeren Umgebung, der wie folgt bestimmt wird, in W/K;

$H_{V,ue}$  Lüftungswärmedurchgangskoeffizient der unbeheizten angrenzenden Raum, der wie folgt bestimmt wird, in W/K.

$H_{T,iu}^{constructions}$  und  $H_{T,ue}$  werden bestimmt durch:

$$\text{Gl. 94} \quad H_{T,iu}^{constructions} = \sum_i U_i \cdot A_i \quad \text{W/K}$$

$$\text{Gl. 95} \quad H_{T,ue} = \sum_j U_j \cdot A_j \quad \text{W/K}$$

Dabei ist:

- $A_i$  die Wandfläche  $i$  zwischen beheizten Bereich und dem unbeheizten angrenzenden Raum, in  $m^2$ , mit den äußeren Abmessungen bestimmt;
- $U_i$  U-Wert der Wand  $i$ , in  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $A_j$  die Oberfläche der Wand  $j$  zwischen dem ungeheizten und der äußeren Umgebung angrenzenden Raum, in  $m^2$ , mit den Außenmaßen bestimmt;
- $U_j$  U-Wert der Wand  $j$ , in  $W/(m^2 \cdot K)$ .

Bei der Berechnung der  $H_{T,iu}^{constructions}$  muss die Summe aller Wände  $i$  den Raum sein zwischen beheizten und unbeheizten Raum nebeneinander. Bei der Berechnung  $H_{T,ue}$  muss mit dem Boden zwischen dem ungeheizten angrenzenden Raum und der äußeren Umgebung, mit Ausnahme der Wände in Kontakt die Summe über alle  $j$  Wände sein.

$H_{V,ue}$  wird bestimmt durch:

$$\text{Gl. 39} \quad H_{V,ue} = \rho \cdot c \cdot V_{ue} \quad \text{W/K}$$

Dabei ist:

- $\rho$  die Dichte der Luft, in  $kg/m^3$ ;
- $c$  die spezifische Wärme der Luft, in  $W \cdot h / (kg \cdot K)$ ;
- $V_{ue}$  Belüftungsrate zwischen dem unbeheizten und außerhalb angrenzenden Raum, wie unten bestimmt, in  $m^3/h$ .

Das Produkt  $(\rho \cdot c)$  wird üblicherweise als gleich  $0,34 \text{ Wh}/m^3 \cdot K$  genommen.

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

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

Dabei ist:

- $V_u$  Volumen des angrenzenden unbeheizten Raums, in  $m^3$ ;
- $n_{ue}$  Standardluftwechselrate des unbeheizten Raums, in  $h^{-1}$ , zu bestimmen anhand der am besten passenden Situation nach

Tabelle [6].

**Tabelle [6]: Standardluftwechselrate durch angrenzende unbeheizte Räume zur Außenumgebung**

Typ	Beschreibung der Luftdichtheit von unbeheizten Räumen	$n_{ue}$ (h <sup>-1</sup> )
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

Für die Beurteilung der Anforderung  $U_{max}$  nach Anlage C.1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 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:

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

Dabei ist:

$H_g^{\text{constructions}}$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Zwischenwände der Wärmeverlustfläche mit Kontakt zum Erdreich sowie unbeheizten Kellern und Leerräumen, in W/K;

$H_g^{\text{junctions}}$  Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über die Bauknoten mit Kontakt zum Erdreich, unbeheizten Kellern und Leerräumen, in W/K, (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.

Ergänzend zu Anlage F sind eine Reihe vereinfachter Verfahren zur Bestimmung von  $H_g^{\text{constructions}}$  in § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** beschrieben. § 15.3 beschreibt, wie die umgebende Isolierung bei einer Bodenplatte auf Erdreich berücksichtigt werden muss.

### 15.2 Vereinfachtes Verfahren für die Berechnung

#### 15.2.1 Erdanliegende Böden

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

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

Dabei ist:

$U_{eq,f,i}$  äquivalenter U-Wert des Bodenteils  $i$ , in  $W/(m^2.K)$ , bestimmt nach:

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

Dabei ist:

$R_{si}$  innerer Wärmeübergangswiderstand, gleich  $0,17 \text{ m}^2.K/W$ ;

$\sum R_{f,i}$  Wärmedurchgangswiderstand aller Bauteilschichten des Bodenteils, bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (von der Innenfläche bis zur erdanliegenden Fläche, also ohne Wärmeübergangswiderstand der Oberflächen);

$A_i$  Fläche des Bodenteils  $i$ , in  $m^2$ , nach den Außenmaßen bestimmt;

$a_i$  Temperaturreduktionsfaktor für den Bodenteil  $i$ , (-), bestimmt nach:

$$\text{Gl. 44} \quad a_i = \frac{1}{U_{eq,f,i} + 1} \quad (-)$$

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

Bei der Beurteilung der Anforderung  $U_{max}$  nach Anlage C.1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 ist der kombinierte Wert  $a_i \cdot U_{eq,f,i}$  zu berücksichtigen.

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

Der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch unbeheizte Keller und Kriechkeller zur Außenumgebung ( $H_g^{constructions}$ ) kann, bei mit diesen Räumen in Kontakt kommenden Bauteilen, vereinfacht anhand eines Temperaturreduktionsfaktors ( $b_{u,i}$ ) bestimmt werden:

$$\text{Gl. 45} \quad H_g^{constructions} = \sum_{i=1}^n U_{eq,f,i} \cdot A_i \cdot b_{u,i} \quad W/K$$

Dabei ist:

$U_{eq,f,i}$  äquivalenter U-Wert des Bauteils  $i$ , in  $W/(m^2.K)$ , bestimmt nach:

$$\text{Gl. 46} \quad U_{eq,f,i} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_{f,i} + R_{si}} \quad W/(m^2.K)$$

Dabei ist:

$R_{si}$  innerer Wärmeübergangswiderstand, gleich  $0,17 \text{ m}^2.K/W$ ;

$\sum R_{f,i}$  Wärmedurchgangswiderstand aller Bauteilschichten des Bauteils  $i$ , in  $m^2.K/W$ , bestimmt nach § 6 (von der Innenfläche bis zur an den Kriechkeller oder Keller anliegenden Fläche, also ohne Wärmeübergangswiderstand der Oberflächen);

$A_i$  Fläche des Bauteils  $i$ , in  $m^2$ , nach den Außenmaßen bestimmt;

$b_{u,i}$  Temperaturumrechnungsfaktor für das Bauteil  $i$ , (-), bestimmt nach Tabelle [7].

Tabelle [7]: Standardwerte des Temperaturreduktionsfaktors  $b_U$ 

Unbeheizter Keller oder Hohlraum	$b_U$ (-)
<b>Kellerraum (mindestens 70 % der Außenwände erdanliegend)</b>	
• ohne Fenster oder Außentür	0,5
• mit Fenster oder Außentür	0,8
<b>Kriechkeller <sup>(1)</sup></b>	
• 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].	

Bei der Beurteilung der Anforderung  $U_{max}$  nach Anhang C.1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 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  $R_f = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  ausgegangen werden kann.

### 15.3 Umgebende Isolierung bei Bodenplatten auf Erdreich

Für Bodenplatten auf Erdreich, die sich auf derselben oder fast derselben Höhe befinden wie die Höhe des Außenbodens, kann die umgebende Isolierung berücksichtigt werden, um den Wärmeverlust über diese Platten zu verringern.

Der Effekt dieser umgebenden Isolierung kann über eine Reduzierung des Wertes  $U$  der Bodenplatte auf Erdreich im Term  $H_g^{constructions}$  berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung beim Wert  $U$  der Bodenplatte auf Erdreich kann somit gemäß einem der folgenden Verfahren durchgeführt werden:

- über das in § F.2.2 beschriebene Verfahren oder
- über eine validierte numerische Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten der umgebenden Isolierung.

Im zweiten Fall muss der sich ergebende Wert  $U$  der Bodenplatte auf Erdreich folgendermaßen berücksichtigt werden:

$$\text{Gl. 92} \quad U_f = U_{f,0} + 2 \Psi_{e,edge}/B' \quad (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$$

Dabei ist:

$U_{f,0}$  der Wert  $U$  der Bodenplatte auf Erdreich ohne Berücksichtigung der umgebenden Isolierung, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .  $U_{f,0}$  kann gemäß einer der vereinfachten Methoden aus § 15.2, gemäß einer der analytischen Methoden aus § F.2.2 oder über eine validierte numerische Berechnung bestimmt werden – jedoch immer ohne Berücksichtigung der umgebenden Isolierung;

$\Psi_{e,edge}$  der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der umgebenden Isolierung, bestimmt gemäß einer validierten numerischen Berechnung, in  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$B'$  die typische Abmessung des Bodens, wie in § F.1 beschrieben, in m.

Die umgebende Isolierung muss ununterbrochen auf dem gesamten Bereich des Bodens, der an das Erdreich angrenzt, vorhanden sein. Wenn dies nicht der Fall ist, kann die umgebende Isolierung nicht beim Wert  $U$  dieser Bodenplatte berücksichtigt werden.

Eine Ausnahme ist zulässig, wenn die umgebende Isolierung auf mindestens 85 % des Bereichs des Bodens, der an das Erdreich angrenzt, vorhanden ist und wenn sie auf diesem Bereich maximal 15 Mal unterbrochen ist. Nur in diesem Fall kann der Wert  $U$  folgendermaßen berechnet werden:

$$\text{Gl. 93} \quad U_f = (1-(p+N/100)) \cdot U_{f,100\%} + (p+N/100) \cdot U_{f,0} \quad (\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}))$$

Dabei ist:

$U_{f,0}$	der Wert $U$ der Bodenplatte auf Erdreich, ohne Berücksichtigung der umgebenden Isolierung, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;
$U_{f,100\%}$	der $U$ der Bodenplatte auf Erdreich, mit Berücksichtigung der umgebenden Isolierung auf dem gesamten Bereich, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;
$N$	die Anzahl der Unterbrechungen der umgebenden Isolierung entlang des Bereichs;
$p$	der Anteil am Bereich, auf dem die umgebende Isolierung fehlt, (-).

Der Bauknoten der Fundamentstütze einer Bodenplatte auf Erdreich muss stets im Term  $H_g^{\text{junctions}}$  berücksichtigt werden. Falls auch umgebende Isolierung vorhanden ist, muss die Evaluierung des Bauknotens der Fundamentstütze folgendermaßen durchgeführt werden:

- Bei Anwendung der Grundregeln aus Anhang B2 des Erlasses vom 15. Mai 2014: les die Grundregeln bleiben vollständig in Anwendung.
- Bei einer validierten numerischen Berechnung des Werts  $\Psi_e$  der Fundamentstütze:
  - falls die umgebende Isolierung beim Wert  $U$  der Bodenplatte auf Erdreich gemäß einem der oben beschriebenen Verfahren berücksichtigt wird: der Wert  $\Psi_e$  der Fundamentstütze kann den Effekt der umgebenden Isolierung nicht berücksichtigen;
  - falls die umgebende Isolierung beim Wert  $U$  der Bodenplatte auf Erdreich nicht berücksichtigt wird: der Wert  $\Psi_e$  der Fundamentstütze kann, aber sollte den Effekt der umgebenden Isolierung nicht berücksichtigen.

## 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:

$$\text{Gl. 47} \quad H_T^{\text{junctions}} = H_D^{\text{junctions}} + H_G^{\text{junctions}} + H_U^{\text{junctions}} \quad \text{W/K}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Gl. 48} \quad H_T &= (H_D^{\text{constructions}} + H_G^{\text{constructions}} + H_U^{\text{constructions}}) + H_T^{\text{junctions}} \\ &= H_T^{\text{constructions}} + H_T^{\text{junctions}} \end{aligned} \quad \text{W/K}$$

Der Wert  $H_T^{\text{junctions}}$  muss gemäß der Anlage B2 des Erlasses vom 15. Mai 2014 bestimmt werden.

### 16.1 Temperaturumrechnungsfaktor für die AUR, Belüftungshohlräume und unbeheizten Kellerräume

Die Temperaturumrechnungsfaktoren, die in Anhang B2 des Erlasses vom 15. Mai 2014 zu den Wärmeübertragungskoeffizienten der linearen und punktuellen Bauknoten Anwendung finden, sind in der **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** angegeben. Der Wert des Temperaturumrechnungsfaktors ist von der gewählten Rechnungsmethode abhängig. Für ein und dieselbe Umgebung kann nur eine Rechnungsmethode gewählt werden, entweder vereinfacht oder detailliert. Der auf diese Weise definierte Umrechnungsfaktor muss demzufolge in folgenden Berechnungen angewendet werden.

**Tabelle [8] - Temperaturumrechnungsfaktor für angrenzende unbeheizte Räume, unbeheizte Keller und Belüftungshohlräume (-)**

	Vereinfachte Rechnungsmethode	Detaillierte Rechnungsmethode
Angrenzender unbeheizter Raum	$b = 1$	$b = \frac{H_{ue}}{H_{ue} + H_{iu}}$ siehe § 14
Belüftungshohlraum	$b = b_U$ <b>§ Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> Tabelle [7]	$b = \frac{U_i}{U_{eq,f,i}}$ mit $U_{eq,f,i}$ der Wert $U$ entspricht dem Bauelement $i$ zwischen der Innenumgebung und dem unbeheizten Belüftungshohlraum, der gemäß der Formel (Gl. 46) des §15.2.2 bestimmt wird, und $U_i = U$ gemäß Anhang F.2.3 (Schritt 7)
Unbeheizter Keller	$b = b_U$ <b>§ Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> Tabelle [7]	$b = \frac{U_i}{U_{eq,f,i}}$ mit $U_{eq,f,i}$ der Wert $U$ entspricht dem Bauelement $i$ zwischen der Innenumgebung und dem unbeheizten Keller, der gemäß der Formel (Gl. 46) des §15.2.2. bestimmt wird, und $U_i = U$ gemäß Anhang F.2.4 (Schritt 6)

## 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:

$$\text{Gl. 49} \quad C = \frac{V}{A_T} \quad \text{m}$$

Dabei ist:

$V$  Volumen des Gebäudes nach den Außenmaßen, in  $\text{m}^3$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;

$A_T$  Wärmeverlustfläche des Gebäudes nach den Außenmaßen, in  $\text{m}^2$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** .

### 17.2 Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient eines Gebäudes

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

$$\text{Gl. 50} \quad U_m = \frac{H_T}{A_T}$$

$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Dabei ist:

$H_T$  Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes, in  $\text{W}/\text{K}$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;

$A_T$  Gesamtwärmeverlustfläche des Gebäudes nach den Außenmaßen, in  $\text{m}^2$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** .

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:

$$\text{Gl. 51} \quad K = 100 \cdot \frac{U_m}{U_{m,ref}} \quad (-)$$

Dabei ist:

$U_m$  mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ;

$U_{m,ref}$  Bezugswert des mittleren Wärmedurchgangskoeffizient, in  $W/(m^2.K)$ , wie nachstehend festgelegt.

Der nach Gl. 51 bestimmte Wert ist auf eine volle Zahl zu runden, und wenn der Teil hinter dem Komma des bestimmten gemäß Gl. 51 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:

$$\begin{array}{ll} \text{Gl. 52} & \text{Bei } C \leq 1: & U_{m,ref} = 1 \\ & \text{Bei } 1 < C < 4: & U_{m,ref} = (C + 2)/3 \\ & \text{Bei } 4 \leq C: & U_{m,ref} = 2 \end{array} \quad W/(m^2.K)$$

Dabei ist:

C ist hier die Kompaktheit, in m, definiert in § **Erreur ! Source du renvoi introuvable..**

## Anlage A Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ -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 „ $\lambda$ “ 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  $\lambda_{\text{Ui-Wert}}$  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  $\lambda_{\text{Ui-Wert}}$  kann nicht für Baustoffe verwendet werden, die wasserdampfdicht eingebaut werden und feuchtehaltig sein können (z. B. Baufeuchtigkeit oder Regenwasser);
- Der  $\lambda_{\text{Ue-Wert}}$  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  $\lambda_{\text{Ue-Wert}}$  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  $\lambda$ -Wert eine wichtige Eigenschaft ist, sind die  $\lambda_{\text{U}}$ -Rechenwerte wie folgt zu bestimmen. Anfänglich wird ein  $\lambda_{\text{STEP1}}$  gemäß den nachstehend aufgeführten Bedingungen bestimmt. Anschließend wird anhand dieser Wertgrundlage der Rechenwert  $\lambda_{\text{U}}$  bestimmt.

#### Schritt 1:

Der Wert der in diesem Text als  $\lambda_{\text{STEP1}}$  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 Fraktil mit einem in diesen Texten definierten Vertrauensgrad von 90/90 (anders ausgedrückt, mit einer Zuverlässigkeit von 90 % haben 90 % der Produktion einen  $\lambda$ -Wert kleiner oder gleich der Wert  $\lambda_{\text{STEP1}}$ );
- 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.

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

**Schritt 2:**

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

$$\text{Gl. 53} \quad \lambda_U = \lambda_{STEP1} * e^{f_u (u_2 - u_1)} \quad \text{oder} \quad \lambda_U = \lambda_{STEP1} * e^{f_\Psi (\Psi_2 - \Psi_1)} \quad \text{W/(m.K)}$$

Dabei ist:

- $f_u$  oder  $f_\Psi$  Umrechnungsfaktor für die Feuchtigkeit, in kg/kg ( $f_u$ ) oder  $\text{m}^3/\text{m}^3$  ( $f_\Psi$ );
- $u_1$  oder  $\Psi_1$  der Feuchtegehalt der ersten Voraussetzungen (Schritt 1), in kg/kg ( $u_1$ ) oder  $\text{m}^3/\text{m}^3$  ( $\Psi_1$ );
- $u_2$  oder  $\Psi_2$  der Feuchtegehalt der zweiten Voraussetzungen (Schritt 2), in kg/kg ( $u_2$ ) oder  $\text{m}^3/\text{m}^3$  ( $\Psi_2$ ).

Für die Voraussetzungen von Schritt 2 wird wie folgt unterschieden:

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

Die Werte des Feuchtigkeitsgehalts ( $u$ , in kg/kg, oder  $\Psi$ , in  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) und die Umrechnungsfaktoren für die Feuchtigkeit ( $f_u$  und  $f_\Psi$ ) 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.

Der Rechnungswert  $\lambda_U$  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.

ANM. 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  $\lambda_{U_i}$  (für eine Innenanwendung) mit dem im Rahmen der CE-Kennzeichnung genannten Wert  $\lambda_D$  identisch ist.

ANM. 2 Bei Mauerwerkelementen (Ziegel, Betonblocksteine etc.) werden die Standardwerte für die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_U$  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).

ANM. 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.

### A.2.1 Metalle

Tabelle A.1 - Metalle

Werkstoff	$\lambda_{\text{ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ue}}$ W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>
Blei	35	35	130	11300
Kupfer	380	380	380	8900
Gelbes Messing	120	120	380	8400
Stahl	50	50	450	7800
Edelstahl <sup>(1)</sup>	17	17	460	7900
Aluminium	160	160	880	2800
Gusseisen	50	50	450	7500
Zink	110	110	380	7200
Bronze	65	65	380	8700
<i>(1) Austenitstahl oder ferritischer Stahl</i>				

### A.2.2 Naturstein

Tabelle A.2 - Naturstein

Werkstoff	$\lambda_{\text{ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ue}}$ W/(m.K)	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>
Schwere Steine (Granit, Gneis, Basalt, Prophyr)	3,50	3,50	2700 ≤ $\rho$ ≤ 3000
"Granitstein" (Blaustein), Kalkstein	2,91	3,50	2700
Marmor	2,91	3,50	2800
Schiefer	2,20	2,20	2000 ≤ $\rho$ ≤ 2800
Hartstein	2,21	2,68	2550
Festgestein	1,74	2,09	2350
SiO <sub>2</sub> -reiche Kalksteine	2,30	2,30	2600
Halbfestgestein (Bruchstein)	1,40	1,69	2200
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>			

## A.2.3 Mauersteine

Tabelle A.3 - Tonziegel

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ue}}$ 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
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		

Tabelle A.4 - Kalksandsteine/-blocksteine

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ue}}$ 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
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		

**Tabelle A.5 - Betonblocksteine mit gebräuchlichen Zuschlagstoffen**

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{Di}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{De}}$ 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
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		

**Tabelle A.6 - Beton-Blähtonsteine**

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{Di}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{De}}$ 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
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		
<i>(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.</i>		

Tabelle A.7 - Betonblocksteine mit sonstigen Leichtzuschlägen

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ue}}$ W/(m.K)
$\rho \leq 500$	0,30	(1)
$600 < \rho \leq 700$	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
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		
<i>(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.</i>		

Tabelle A.8 - Gasbeton-Blocksteine

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ue}}$ 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
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		
<i>(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.</i>		

## A.2.4 Fugenlose Steinbauteile (Vollwände, Böden,...)

Tabelle A.9 - Normaler Scherbeton

Werkstoff	$\lambda_{\text{vi}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ve}}$ W/(m.K)	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>
Normaler Scherbeton, Bewehrt	1,70	2,20	2400
Normaler Scherbeton, Unbewehrt	1,30	1,70	2200
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>			

**Tabelle A.10 - Leichtbetonvoll- oder bodenplatte<sup>(2)</sup> oder Estrich  
(Beton-Blähton, Porenbeton, Schlackenbeton, Vermiculitbeton,  
Korkbeton, Perlitbeton, Polystyrolbeton usw.)**

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

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{vi}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ve}}$ 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
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		
(1) <i>Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.</i>		
(2) <i>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.</i>		

## A.2.5 Gips, Mörtel und Verputz

Tabelle A.11 - Gips mit oder ohne Leichtzuschläge

Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{Gi}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{Ve}}$ W/(m.K)
$\rho \leq 800$	0,22	(1)
$800 < \rho \leq 1\ 100$	0,35	(1)
$1\ 100 < \rho$	0,52	(1)
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>		
<i>(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.</i>		

Tabelle A.12 - Mörtel und Putz

Werkstoff	$\lambda_{\text{Gi}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{Ve}}$ W/(m.K)	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>
Zementmörtel	0,93	1,50	1900
Kalkmörtel	0,70	1,20	1600
Gipsputz	0,52	(1)	1300
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>			
<i>(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft, unter anderem mit der Gefahr der Durchfeuchtung durch Regen, auszusetzen.</i>			

## A.2.6 Holz und Holzderivate

Tabelle A.13 - Holz und Holzderivate

Werkstoff	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{\text{Gi}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{Ue}}$ 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)	$< 375$	0,07	(1)	1880
	$375 \leq \rho < 500$	0,10	(1)	
	$500 \leq \rho < 700$	0,14	(1)	
	$\rho \geq 700$	0,18	(1)	
<i>(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.</i>				

## A.2.7 Wärmedämmstoffe

Tabelle A.14a - Fabrikgefertigte Wärmedämmstoffe

Werkstoff	$\lambda_{\text{Ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{Ue}}$ W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)
Kork (ICB) - Platten	0,050	(1)	1560
Mineralwolle (MW) - Platten oder Rollen	0,050	(1)	1030
Polystyrolschaumstoff (EPS) - Platten	0,050	(1)	1450
Extrudiertes Polyethylen (PEF) - Platten	0,050	(1)	1450
Phenolschaum - beschichtet (PF) beschichtete Platten	0,045 (2)	(1)	1400
Polyurethan - beschichtet (PUR/PIR) beschichtete Platten	0,035	(1)	1400
Extrudiertes Polystyrol (XPS) - Platten	0,045	(1)	1450
Schaumglas (CG) - Platten	0,055	(1)	1000
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)	1100
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)	1100
<p>(1) Es wird im Allgemeinen nicht empfohlen, diese Baustoffe direkt der Außenluft auszusetzen.</p> <p>(2) Bei beschichteten Dämmplatten aus geschlossenzelligem Phenolschaum beträgt dieser Wert nur 0,030 W/(m.K).</p> <p>(3) Beispiel: Hanf, Leinen, Federn, Stroh, Schafwolle...</p> <p>(4) Für höhere Dichten siehe Tabelle A.15.</p>			

**Tabelle A.14b - Nicht fabrikgefertigte Wärmedämmstoffe und Wärmedämmstoffe, die ihre endgültige Form vor Ort erhalten<sup>(1)</sup>**

Werkstoff	$\lambda_{\text{ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{ue}}$ W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)
Steinwolle (MW)	0,070	(2)	1030
Polystyrolschaumstoff (EPS)	0,070	(2)	1450
Phenolharzschaum (PF)	0,065	(2)	1400
Polyurethan (PUR/PIR) <sup>(3)</sup>	0,055	(2)	1400
Gebälhtes Perlitgranulat (EPB)	0,080	(2)	-
Gebälhtes Vermiculitgranulat	0,110	(2)	1080
Zellulose	0,080	(2)	1100
Dämmstoff aus Pflanzen- oder Tierfasern, nicht fabrikgefertigt, andere als Zellulose <sup>(4)</sup>	0,080	(2)	1100
Karbamid--Formaldehydschaum (UF)	0,075	(2)	1400
Gebälhtes Tongranulat	0,150	(2)	1000

(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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** korrigiert werden.

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

## A.2.8 Sonstige Baustoffe

Tabelle A.15 - Sonstige Baustoffe

Werkstoff	$\lambda_{\text{Ui}}$ W/(m.K)	$\lambda_{\text{Ue}}$ W/(m.K)	Spezifische Wärme c J/(kg.K)	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>
Glas	1,00	1,00	750	2500
Terracottafliesen	0,81	1,00	1000	1700
Steinzeugfliesen	1,20	1,30	1000	2000
Gummi	0,17	0,17	1400	1500
Linoleum, PVC-Platten	0,19	-	1400	1200
Teppich (Textil)	0,06	-	1300	200
Mit natürlichen Mineralfasern armierte Zementplatten	0,35	0,50	1000	$1400 \leq \rho \leq 1900$
Gussasphalt	0,70	0,70	1000	2100
Zementplatten, Magnesiumplatten, mit $300 \leq \rho \leq 900 \text{ kg/m}^3$	0,20	-	1500	$300 \leq \rho \leq 900$
Dämmplatten oder - rollen aus Pflanzen- oder Tierfasern, fabrikgefertigt, mit $150 \leq \rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$ <sup>(1)</sup>	0,20	-	1500	$150 \leq \rho \leq 500$
Bitumenmembran	0,23	0,23	1000	1 100
<i>(1) Beispiel: Hanf, Leinen, Federn, Stroh, Schafwolle...</i>				

## Anlage B Wärmedurchlasswiderstand (R-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**

Werkstoff		Dicke/Höhe der Bauteile	$R_{ui}$ $m^2 \cdot K/W$
Mauerwerk	Schwerbetonhohlblockstein mit $\rho > 1200 \text{ kg/m}^3$	d = 14 cm	0,11
		d = 19 cm	0,14
		d = 29 cm	0,20
	Leichtbetonhohlblockstein mit $\rho \leq 1200 \text{ kg/m}^3$	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	
<i>Die spezifische Wärme c beträgt 1000 J/(kg.K)</i>			

## Anlage C Standardwerte des Feuchtegehalts und Umrechnungsfaktoren für Baustoffe aus Stein

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

Werkstoff	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Feuchtegehalt bei 23°C und 50% HR (NBN EN ISO 10456:2008)		Feuchtegehalt bei 20°C und 75% des kritischen Sättigungsgrads		Feuchteumrechn ungsfaktor (NBN EN 12524)	
		$u_{2i}$ kg/kg	$\Psi_{2i}$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	$u_{2e}$ kg/kg	$\Psi_{2e}$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	$f_u$ kg/kg	$f_\Psi$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Mauerwerk aus Ziegeln	700-2100	-	0,007	-	0,075	-	10
Mauerwerk aus Kalksandstein	900-2200	-	0,012	-	0,090	-	10
Beton mit gebräuchlichen Zuschlagstoffen	1600-2400	-	0,025	-	0,090	-	4
Beton mit Blähton	400-1700	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	250-2000	-	0,040	-	0,150	-	4

## Anlage 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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** 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.

Um festzustellen, welche Art von Holzarten gehört, wird die Tabelle D.2 verwendet.

**Tabelle D.1 - Wärmedurchgangskoeffizient von Rahmenprofilen aus Holz,  $U_f$  in  $W/m^2K$**

Dicke des Rahmenprofils $d_f$ (in mm) (siehe Abb. [33])	$U_f$ $W/(m^2.K)$ (1)		
	Typ 1 $\lambda_U = 0,18 W/(m.K)$	Typ 2 $\lambda_U = 0,16 W/(m.K)$	Typ 3 $\lambda_U = 0,13 W/(m.K)$
50	2,36	2,22	2,00
60	2,20	2,10	1,93
70	2,08	1,96	1,78
80	1,96	1,85	1,67
90	1,86	1,75	1,58
100	1,75	1,65	1,48
110	1,68	1,57	1,40
120	1,58	1,48	1,32
130	1,50	1,40	1,25
140	1,40	1,32	1,18
150	1,34	1,26	1,12

(1) Vereinbarungen für Rahmenprofile aus Holz:

- Standardwert für die Rahmenprofildicke ist 50 mm;
- Standardwert für typ des Holzes, dass diese Art von Holz als 1.

Die Dicke ( $d_f$ ) von Rahmenprofilen aus Holz ist als mittlere Dicke der Rahmenprofilkomponenten (Blendrahmen und Flügel) zu bestimmen, wie in Abb. [33] dargestellt.

Abb. [33]: Definition der Dicke  $d_f$  verschiedener Holzrahmen

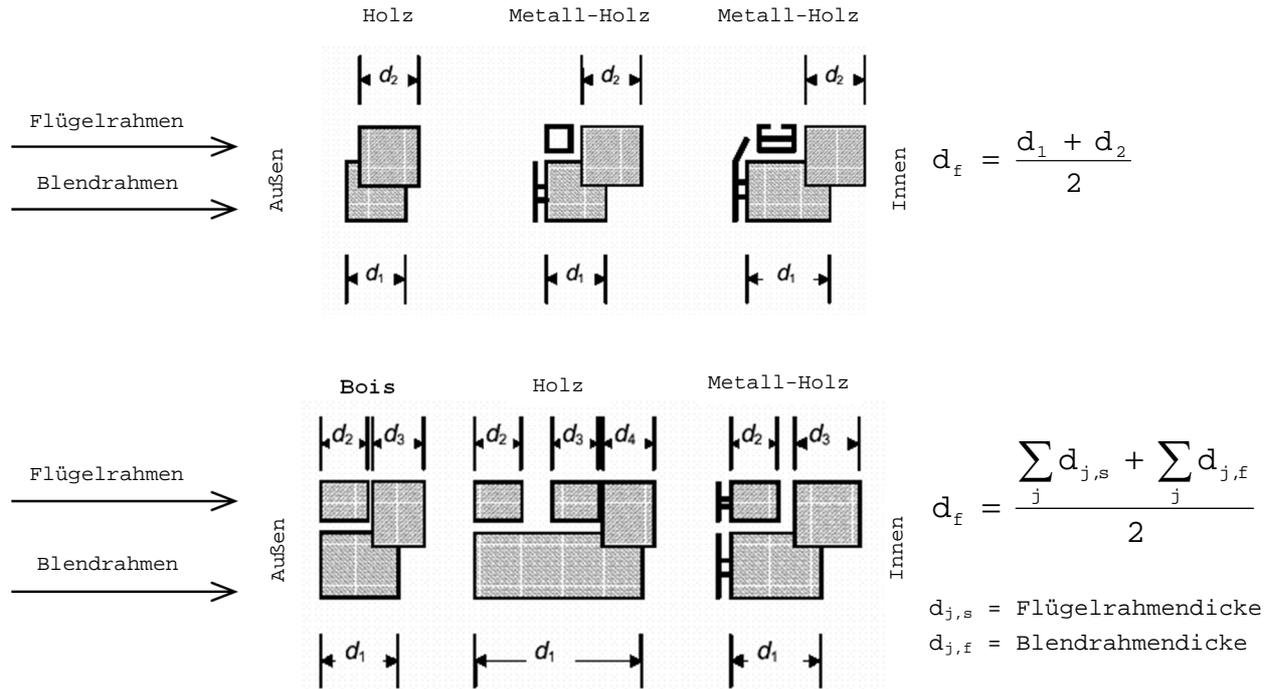


Tabelle D.4 - Typ des Holzes

Typ 1 $\lambda_U = 0,18 \text{ W/(m.K)}$	Typ 2 $\lambda_U = 0,16 \text{ W/(m.K)}$	Typ 3 $\lambda_U = 0,13 \text{ W/(m.K)}$
Afzelia	Sapelli	African Mahagoni
Bintangor	Sipo	Lärche
Blau Eukalyptus	Tasmanian Oak	Eastern Spruce
Eukalyptus	Mengkulang	White Seraya
Merbau	Niangon	Föhre
Gerutu	Iroko	Douglas (Oregon Pine)
Kasai	Louro Vermelho	Light Red Meranti
Eiche	Dark Red Meranti	Amerikan Mahagoni
Robinie	Teck	Framiré
a	Makoré	Western hemlocktanne
Nicht belaubt erwähnt an anderer Stelle in der Tabelle		A Nicht genannte Harz in der übrigen Tabelle

**D.2 Rahmenprofile aus Metall**

**D.2.1 Begriffsbestimmung**

Der Wärmedurchlasswiderstand  $R_f$  eines Rahmenprofils aus Metall wird ausgedrückt durch:

G1. 54  $R_f = \frac{1}{U_{f0}} - 0,17$  m<sup>2</sup> .K/W

Dabei ist:

$U_{f0}$  U-Wert des Rahmenprofils, in  $W/(m^2.K)$ , bestimmt mit der Annahme abgewinkelte Fläche gleich Projektionsfläche (siehe Tabelle D.2).

Der Wert  $U_f$  eines Rahmenprofils aus Metall wird ausgedrückt durch:

$$\text{Gl. 55} \quad U_f = \frac{1}{\left( \frac{R_{si} \cdot A_{f,i}}{A_{d,i}} + R_f + \frac{R_{se} \cdot A_{f,e}}{A_{d,e}} \right)} \quad W/(m^2.K)$$

Dabei ist:

$A_{d,i}$ ,  $A_{d,e}$ , Profilflächen des Rahmens, in  $m^2$ , definiert in § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**;

$A_{f,i}$ ,  $A_{f,e}$

$R_{si}$  innerer Wärmeübergangswiderstand des Rahmenprofils, in  $m^2.K/W$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (oder siehe Tabelle [1]);

$R_{se}$  äußerer Wärmeübergangswiderstand des Rahmenprofils, in  $m^2.K/W$ , bestimmt nach § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (oder siehe Tabelle [1]);

$R_f$  Wärmedurchlasswiderstand des Rahmenprofils, in  $m^2.K/W$ , bestimmt nach Gl. 54.

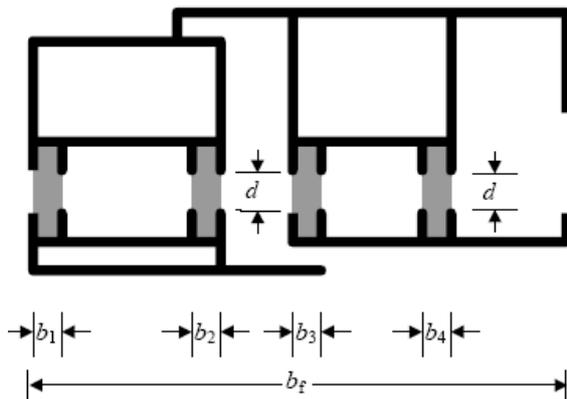
#### D.2.2 Rahmenprofile aus Metall mit wärmetechnischer Trennung

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  $\lambda$  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. [34] und Abb. [35] dargestellten Typen von Rahmenprofilen aus Metall zu verwenden sind, für die die nachstehenden Bedingungen gelten:

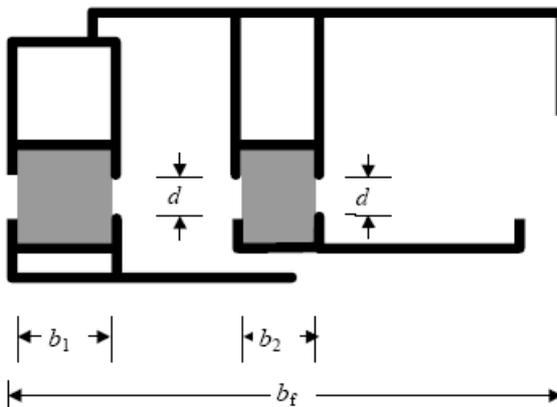
Abb. [34]: Abschnitt Typ 1: wärmetechnische Trennung mit  $0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/(m.K)}$ 

Die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs der wärmetechnischen Trennung ist:

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

- 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. [35]: Abschnitt Typ 2: wärmetechnische Trennung mit  $0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/(m.K)}$ 

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

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

Tabelle D.2 - Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmenprofilen aus Metall mit wärmetechnischer Trennung,  $U_{f0}$  en  $U_f$  in  $W/(m^2.K)$ 

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 abgewickelten 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

### D.2.3 Rahmenprofile aus Metall ohne wärmetechnische Trennung

Für Rahmenprofile ohne wärmetechnische Trennung gilt die allgemeine Regel  $R_f = 0$   $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$  und  $U_{f0} = 5,90$   $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ .

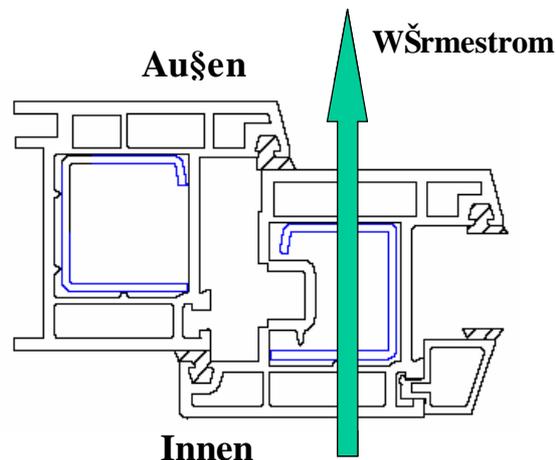
Je nach den Flächenverhältnissen  $A_{f,i}/A_{d,i}$  und  $A_{f,e}/A_{d,e}$ , schwankt der entsprechende, nach Gl. 55 berechnete  $U_f$ -Wert der Rahmenprofile aus Metall zwischen:

- $U_f = 5,9$   $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  (bei  $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$  und  $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$ );
- $U_f = 9,0$   $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  (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

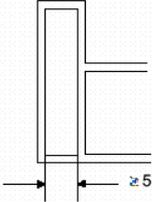
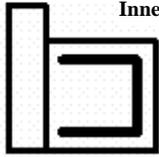
In Abb. [36] ist ein Beispiel für ein Rahmenprofil aus Kunststoff dargestellt, mit drei Kammern, die in Richtung Wärmestrom hintereinander angeordnet sind, wobei die mittlere Kammer mit einer Metallverstärkung versehen ist.

**Abb. [36]:** 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.

**Tabelle D.3 - Wärmedurchgangskoeffizienten von Rahmenprofilen aus Kunststoff,  $U_f$  in  $W/m^2 \cdot K$**

Rahmenprofilwerkstoff und -typ		$U_f$ $W/(m^2 \cdot K)^{(1)}$
<b>PVC-Rahmenprofil</b>  mindestens 5 mm zwischen den Kammerwänden <sup>(2)</sup> , 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
	<b>PUR-Rahmenprofil</b>  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.

## **Anlage E Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ( $\Psi$ -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 ( $\Psi$ -Wert) beschreibt den zusätzlichen Wärmedurchgang zwischen Rahmen, Verglasung (oder Paneel) und dem Abstandhalter. Der  $\Psi$ -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  $\Psi$ -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  $\Psi$  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:

$$\text{Gl. 56} \quad \sum (d \cdot \lambda)_f \leq 0,007 \quad \text{W/K}$$

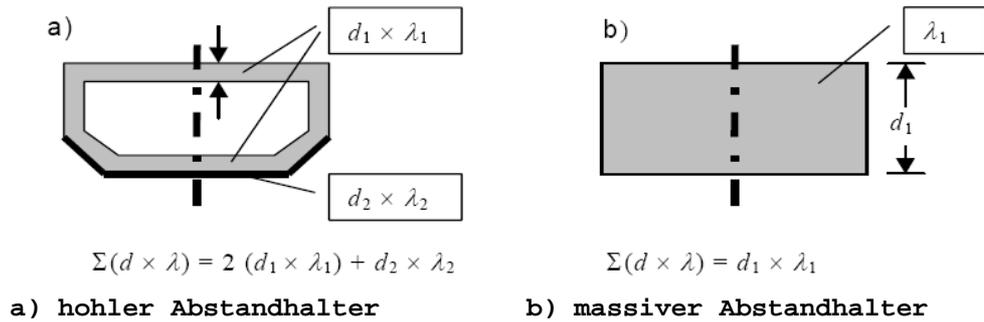
Dabei ist:

$d$  Wanddicke des Abstandhalters, in m;

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit des Abstandhalterwerkstoffs, in W/(m.K).

Das Kriterium gilt für alle Wärmeströme, die parallel zum Hauptwärmestrom verlaufen, wobei die Dicke  $d$  senkrecht zum Hauptwärmestrom zu messen ist (siehe Abb. [37]).

Abb. [37]: Beispiele für die Bestimmung des Kriteriums eines thermisch verbesserten Abstandhalters



In Tabelle E.1 sind vereinfachte  $\Psi_g$ -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.

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

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.2 -  $\Psi_g$ -Werte [W/m.K] für Verbindungsbereiche zwischen Profilen und Verglasungen mit konventionellen und mit thermisch verbesserten Abstandhaltern, Variante 2

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

### 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.

Abb. [38]: Innentiefe der Riegel

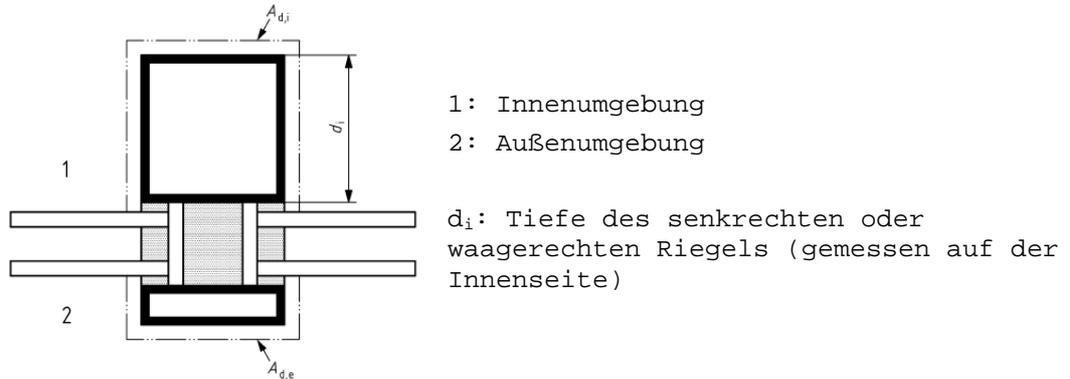


Tabelle E.3 -  $\Psi_{m(t),g}$ -Werte [W/m.K] für den Verbindungsbereich zwischen Riegeln und Verglasungen mit konventionellen und mit thermisch verbesserten Abstandhaltern

Riegeltyp (Werkstoff)	$d_i$ (mm) (1)	Mehrfachverglasung (6-mm-Scheibe)			
		unbeschichtete Verglasung		beschichtete Verglasung	
		konvent. Abstand- halter	dämmender Abstand- halter	konvent. Abstand- halter	dämmender Abstand- halter
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

(1)  $d_i$  ist die Innentiefe des Riegels (siehe Abb. [38])

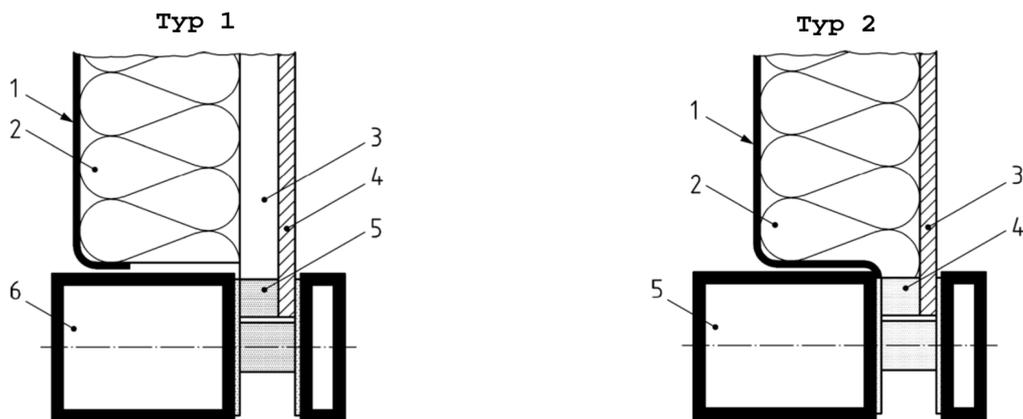
#### E.4 Verbindungsbereich zwischen Profil und Füllung

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

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

Massivbauteiltyp	Wärmeleitfähigkeit des Abstandhalters (W/m.K)	$\Psi_{f,p}$ -Wert (W/m.K)
<b>Type 1</b> (siehe Abb. [39]) (Aluminium/Aluminium) - (Aluminium/Glas) - (Stahl/Glas)	-	0,13
<b>Type 2</b> (siehe Abb. [39])	Aluminium / Aluminium (beschichtet)	0,2 0,4
	Aluminium / Glas (beschichtet)	0,2 0,4
	Stahl / Glas (beschichtet)	0,2 0,4

**Abb. [39]: Paneeltypen: Typen 1 und 2**



- 1 Aluminium 2,5 mm / Stahl 2,0 mm  
 2 Dämmung:  $\lambda = 0,025 - 0,04$  W/(m K)  
 3 Luftspalt: 0 - 20 mm  
 4 Aluminium 2,5 mm / Glas 6 mm  
 5 Abstandhalter:  $\lambda = 0,2 - 0,4$  W/(m K)  
 6 Aluminium

- 1 Aluminium 2,5 mm / Stahl 2,0 mm  
 2 Dämmung:  $\lambda = 0,025 - 0,04$  W/(m K)  
 3 Aluminium: 2,5 mm / Glas 6 mm  
 4 Abstandhalter:  $\lambda = 0,2 - 0,4$  W/(m K)  
 5 Aluminium

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

#### E.5 Verbindungsbereich zwischen Profil und Riegel

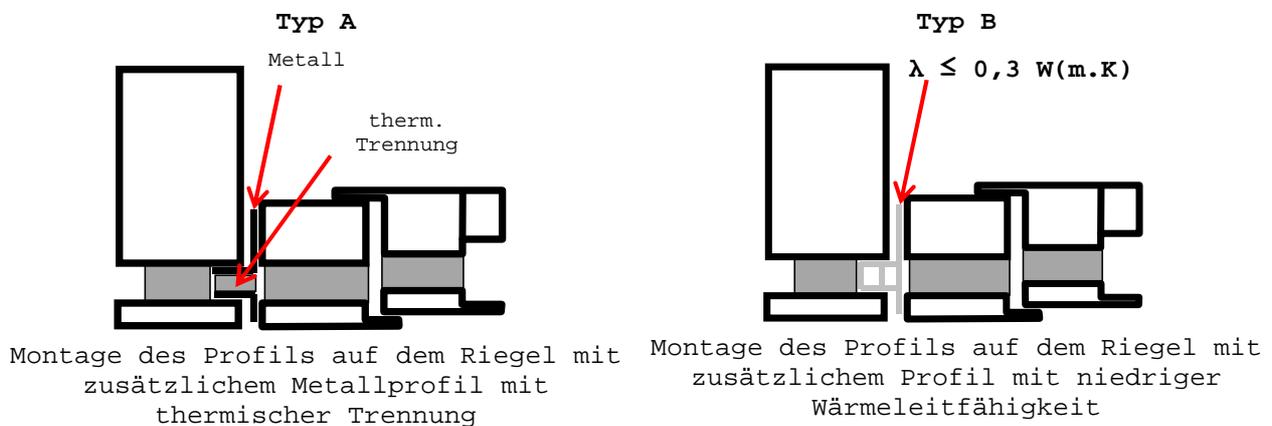
##### E.5.1 Aluminium- und Stahlprofile

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

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

Typ (siehe Abb. unten)	Beschreibung des Verbindungsbereichs zwischen Profil und Riegel	$\Psi_{m,f}$ - oder $\Psi_{t,f}$ -Wert (W/m.K)
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

**Abb. [40]: Verbindungsbereich Riegel/Profil: Typen A und B**



**Abb. [41]: Verbindungsbereich Riegel/Profil: Typen C1 und C2**

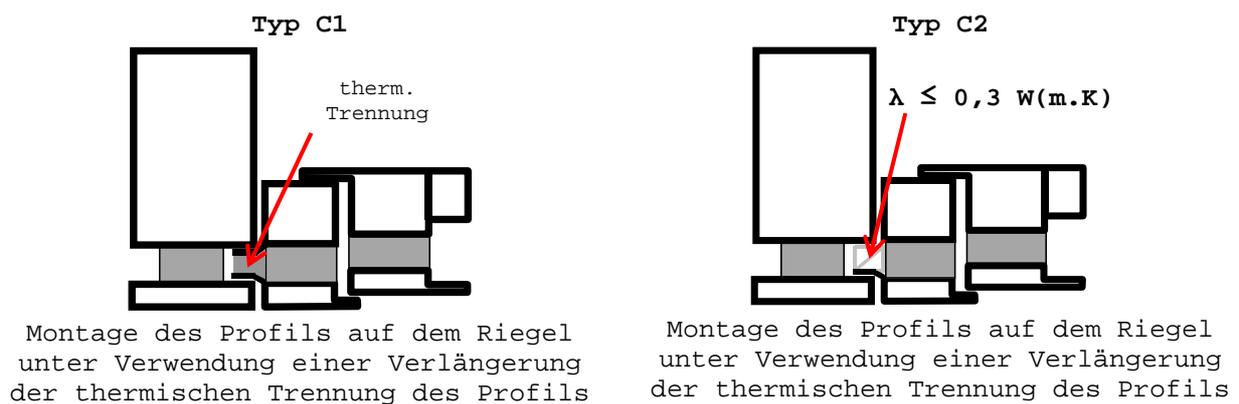
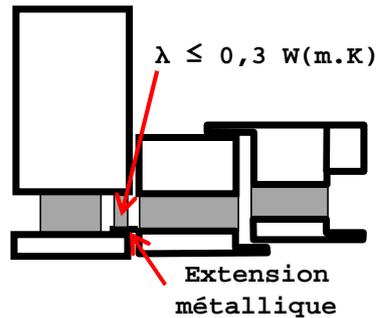


Abb. [42]: Verbindungsbereich Riegel/Profil: Typ D



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

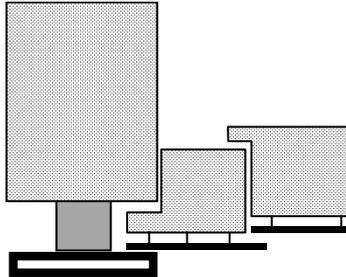
### E.5.2 Holzprofile und Holz-Aluminiumprofile

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

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

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/m.K)
Typ A	$U_m > 2,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ und $U_t > 2,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	0,02
Typ B	$U_m \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ und/oder $U_t \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	0,04

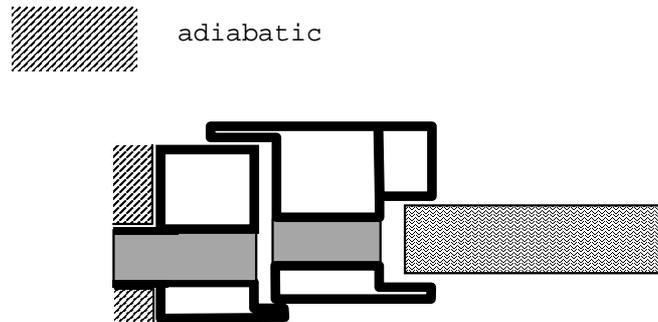
Abb. [43]: Verbindungsbereich Riegel/Profil: Typ A und Typ B



### E.6 Bestimmung von $U_f$ bei in eine Vorhangsfassade eingebauten Profilen

Der  $U_f$ -Wert von Profilen, die über ein zusätzliches Profil (Typ A und Typ B - siehe Abb. [40]) in der Fassade in eine Vorhangsfassade 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. [44]: Randbedingungen für die Bestimmung des  $U_f$ -Werts eines Rahmens, der direkt in eine Vorhangsfassade eingebaut ist (Metallprofil - Typ C und Typ D)**



Das allgemeine Berechnungsverfahren für die Bestimmung des  $U_f$ -Werts von Profilen, die direkt in eine Vorhangsfassade eingebaut sind (Typ C und Typ D - siehe Abb. [41] und Abb. [42] 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 Vorhangsfassade 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.

## Anlage 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:  $\lambda_g = 2,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ;
- 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 Fläche des angrenzenden Bodens ( $A$  in  $\text{m}^2$ ) und dem halben Umfang ( $P$  in m):

$$\text{Gl. 57} \quad B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad \text{m}$$

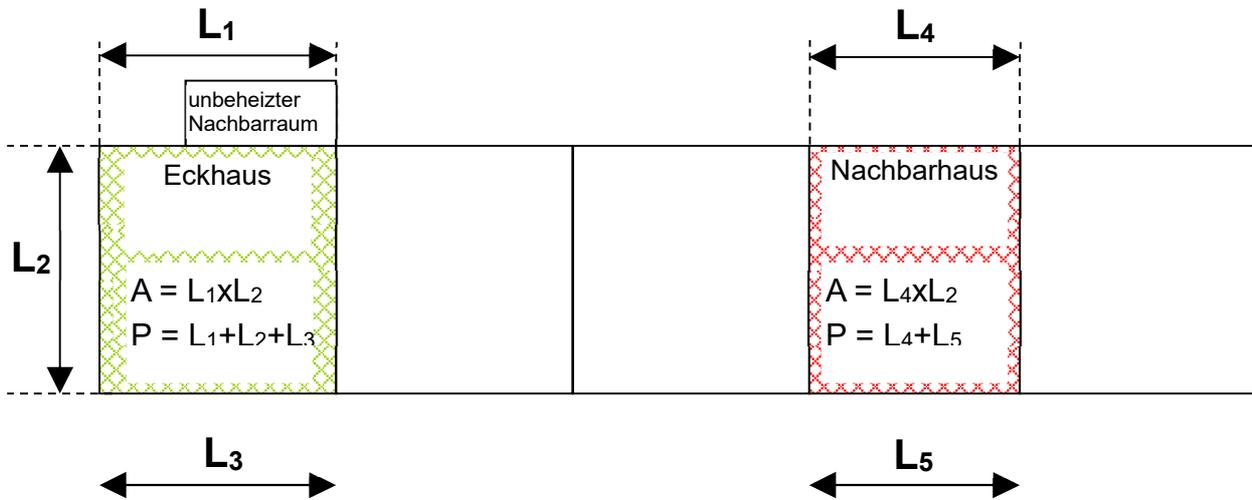
Der Umfang  $P$  (oder die Bodenkontur) der Bodenplatte eines geschützten Volumens ist die gemessene waagerechte Gesamtlänge, über die der angrenzende Boden  $A$  dieser Bodenplatte die Außenumgebung oder einen unbeheizten Nachbarraum berührt (AUR).

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

- die Fläche des angrenzenden Bodens  $A$  kann nur als Teile des Bodens mit derselben Zusammensetzung oder demselben Wert  $R$  gelten, die sich innerhalb desselben geschützten Volumens befinden, die angrenzend sind und die dieselbe Umgebung haben (Boden, Leerräume oder Keller). Die Teile des Bodens eines AUR oder sonstiger geschützter Volumen (in derselben Parzelle oder auf einer angrenzenden Parzelle) können nicht Teil der Fläche des angrenzenden Bodens sein. Neue oder renovierte Böden können niemals eine an bestehende Böden angrenzende Bodenfläche ausmachen, auch wenn sie dieselbe Zusammensetzung oder denselben Wert  $R$  haben;
- bei einem neuen gedämmten Gebäude mit derselben Zusammensetzung der Bodenplatte auf Erdreich ist  $P$  = die gesamte Gebäudekontur und  $A$  = die Gesamtfläche der Bodenplatte auf Erdreich;
- bei einem Teil eines Gebäudekomplexes (z. B. Reihenhäuser mit derselben Zusammensetzung der Bodenplatte auf Erdreich) 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. [45]);
- $P$  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  $P \cdot \Psi_g$ .

Abb. [45]: Beispiele für die Bestimmung der Bodenfläche und der freigelegten Umfang



Das Konzept der "wirksamen Dicke" ( $d_t$  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:

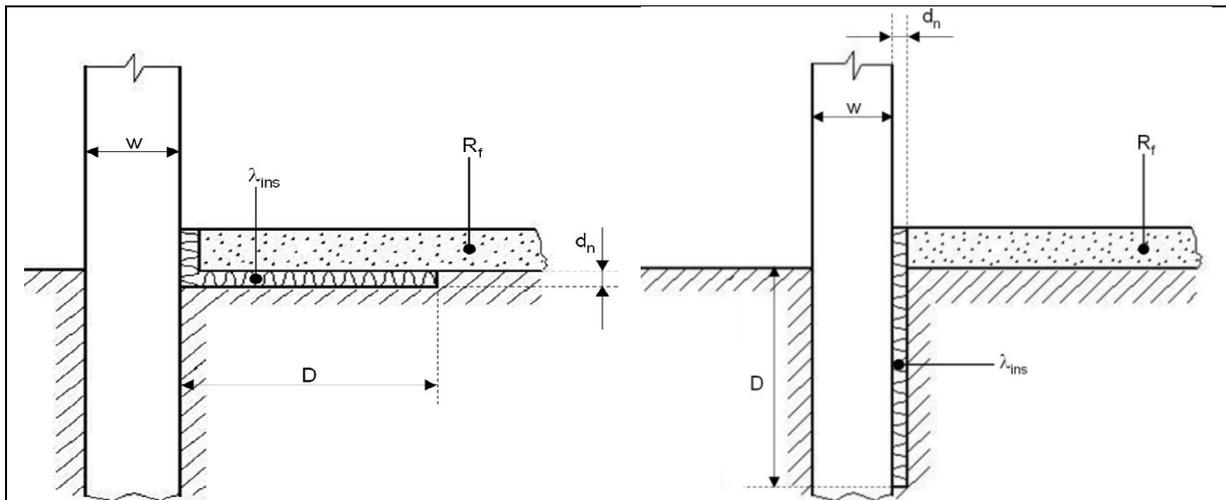
- Bodenplatten auf Erdreich (siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**);
- aufgeständerte Bodenplatten (siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**);
- Kellerwände (siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

### 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).

Um die umgebende Isolierung über die in diesem Absatz beschriebenen Formeln berücksichtigen zu können, muss die umgebende Isolierung mindestens einer der in Abbildung [46] gezeigten Konfigurationen entsprechen und die umgebende Isolierung und die Isolierschicht der Mauer müssen über die Grundregeln 1 oder 2 von Anlage B1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 verbunden sein.

Abb. [46]: Bodenplatten auf Erdreich



Notwendige Daten für die Berechnung:

- Erdreich (siehe § **Erreuer ! Source du renvoi introuvable.**):
  - $\lambda_g$ :  $\lambda$ -Wert, in W/(m.K);
  - $G_w$ : Grundwasserfaktor, (-);
- Außenwand:
  - $w$ : Gesamtdicke, in m;
- Bodenplatte:
  - $P$ : Umfang  $P$ , in m;
  - $A$ : Fläche, in  $m^2$ ;
  - $R_f$ : Wärmedurchgangswiderstand der Bodenplatte (von der Innenfläche bis zur erdberührenden Fläche), in  $m^2 \cdot K/W$ ;
- Randdämmung:
  - $D$ : Breite oder Tiefe  $D$ , in m;
  - $d_n$ : Dicke, in m;
  - $\lambda_{ins}$ :  $\lambda$ -Wert, in W/(m.K).

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

#### Vorbereitende Schritte:

- Berechnen die charakteristische Dimension des Bodens  $B'$ , in m, nach Gl. 57.
- Berechnen der Wärmewiderstand der Perimeterdämmung,  $R_n$ , von:

$$\text{Gl. 58} \quad R_n = d_n / \lambda_{ins} \quad m^2 \cdot K/W$$

#### Schritt 1

Berechnen Sie  $d_t$  nach:

$$\text{Gl. 59} \quad d_t = w + \lambda_g (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad m$$

**Schritt 2**

Berechnen Sie  $U_0$ :

$$\text{Gl. 60} \quad \text{wenn } dt < B': U_0 = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right)$$

$$\text{wenn } dt \geq B' \text{ (gut gedämmte Bodenplatte): } U_0 = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

**Schritt 3**

Berechnen Sie den U-Wert des Bodens gegenüber dem Boden nach:

$$\text{Gl. 61} \quad \text{wenn Ohne Randdämmung: } U = U_0$$

$$\text{wenn Mit Randdämmung: } U = U_0 + 2 \Psi_e / B' \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

**Gl. 62** Für waagerechte Randdämmung:

$$\Psi_e = - \frac{\lambda_g}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]$$

**Gl. 63** Für senkrechte Randdämmung:

$$\Psi_e = - \frac{\lambda_g}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2 \cdot D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2 \cdot D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad \text{W/(m} \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

$$\text{Gl. 64} \quad d' = R_n \cdot \lambda_g - d_n \quad \text{m}$$

Die Formeln zur Bestimmung von  $\Psi_{e,edge}$  oben können nur angewendet werden, wenn die umgebende Isolierung genau einer der Konfigurationen aus Abbildung [46] entspricht und wenn die umgebende Isolierung mit der Isolierschicht der Mauer gemäß den Grundregeln 1 oder 2 von Anhang B1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 verbunden ist.

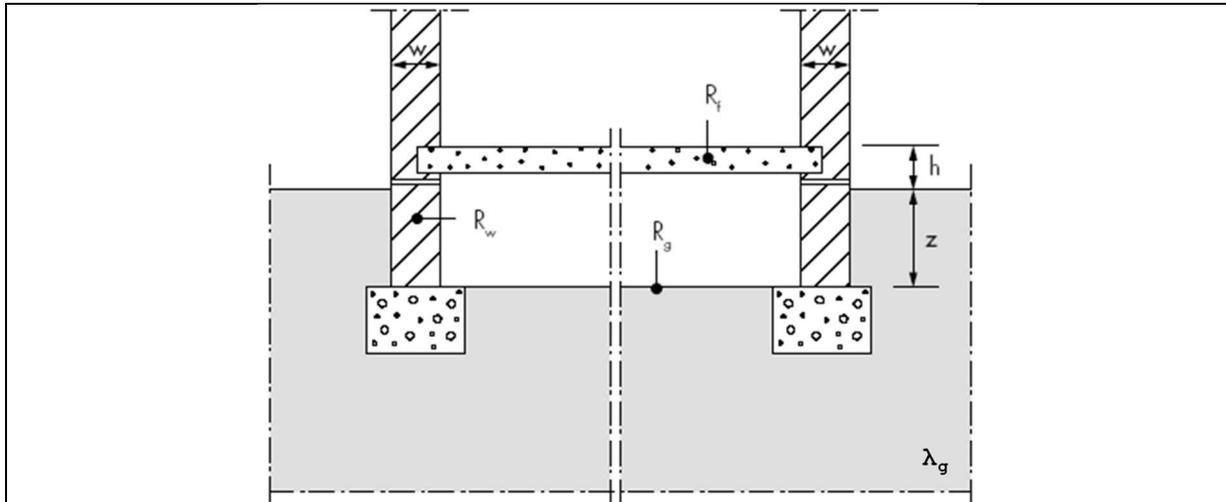
Bei kombinierter waagerechter und senkrechter Randdämmung ist der  $\Psi_e$ -Wert mit dem größten Einfluss (Reduktion) auf U zu verwenden.

Bei der Beurteilung der Anforderung  $U_{max}$  nach Anhang C1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 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.

Abb. [47]: Aufgeständerte Bodenplatten



Notwendige Daten für die Berechnung:

- Erdreich (siehe § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**):
  - $\lambda_g$ :  $\lambda$ -Wert, in W/(m.K);
  - $G_w$ : Grundwasserfaktor, (-);
- Kriechkellerwand:
  - $w$ : Dicke auf Bodengleiche, in m;
  - $R_w$ : Wärmedurchlasswiderstand, in  $m^2.K/W$ ;
  - $z$ : durchschnittliche Tiefe im Erdreich, in m;
- aufgeständerte Bodenplatten:
  - $P$ : Umfang, in m;
  - $A$ : Fläche, in  $m^2$ ;
  - $R_f$ : Wärmedurchlasswiderstand, in  $m^2.K/W$ ;
  - $h$ : durchschnittliche Höhe über Geländeoberkante, in m;
- Boden des Kriechkellers:
  - $R_g$ : Wärmedurchlasswiderstand, in  $m^2.K/W$ ;
- Belüftung des Kriechkellers:
  - $\varepsilon$ : Fläche der Lüftungsöffnungen geteilt durch den Umfang, in  $m^2/m$ ;
  - $v$ : Windgeschwindigkeit, in m/s;
  - $f_w$ : Windschutzfaktor, (-).

Das Berechnungsverfahren ist nachstehend angegeben.

### Vorbereitende Schritte:

Berechnen die charakteristische Dimension des Bodens  $B'$ , in m, nach Gl. 57.

#### Schritt 1

Berechnen Sie  $U_f$  (aufgeständerte Bodenplatte):

$$\text{Gl. 66} \quad U_f = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{si}} \quad \text{dabei ist: } R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

#### Schritt 2

Berechnen Sie  $U_w$  (Wandteil unterhalb der Geländeoberkante):

$$\text{Gl. 67} \quad U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad \text{dabei ist: } R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

#### Schritt 3

Berechnen Sie  $d_g$  nach:

$$\text{Gl. 68} \quad d_g = w + \lambda_g (R_{si} + R_g + R_{se}) \quad \text{m}$$

#### Schritt 4

Berechnen Sie  $d_w$  nach:

$$\text{Gl. 69} \quad d_w = \lambda_g (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad \text{m}$$

#### Schritt 5

Berechnen Sie  $U_g$  nach:

$$\text{Gl. 70} \quad \text{wenn } z \leq 0,5 \text{ m: } U_g = G_w \cdot \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot B' + d_g} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_g} + 1 \right)$$

$$\text{wenn } z > 0,5 \text{ m: } U_g = G_w \cdot \left( U_{bf} + Z \cdot P \cdot \frac{U_{bw}}{A} \right) \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Dabei ist:

$$\text{Gl. 71} \quad U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot B' + d_g + 0,5 \cdot z} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_g + 0,5 \cdot z} + 1 \right) \quad \text{W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\text{Gl. 72} \quad U_{\text{bw}} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot z} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_g}{d_g + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### Schritt 6

Berechnen Sie  $U_x$ :

$$\text{Gl. 73} \quad \begin{aligned} \text{für belüfteter Kriechkeller: } U_x &= 2 \cdot h \cdot U_w / B' + 1450 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w / B' \\ \text{für unbelüfteter Kriechkeller: } U_x &= 2 \cdot h \cdot U_w / B' \end{aligned} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

mit, im Rahmen der GEE-Reglementierung sind die nachstehenden Fixwerte zu verwenden:

- $v = 4 \text{ m/s}$  (durchschnittliche Windgeschwindigkeit);
- $f_w = 0,05$ .

### Schritt 7

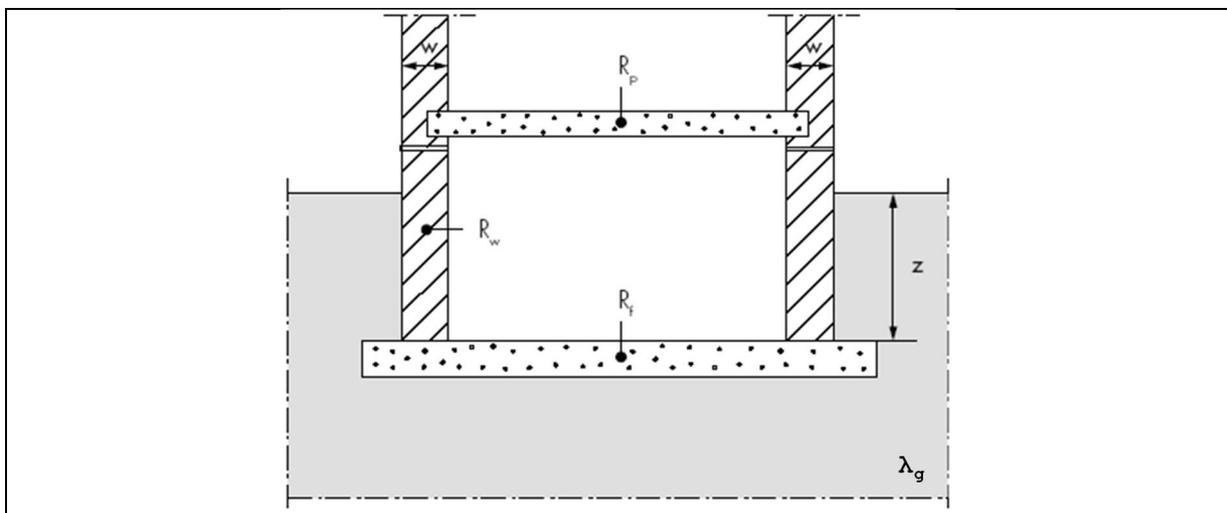
Für die Evaluierung der Anforderung  $U_{\text{max}}$  gemäß Anhang C1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 muss der Wert  $U$  der Bodenplatte außerhalb des Kriechkellers wie unten bestimmt berücksichtigt werden:

$$\text{Gl. 74} \quad \frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### 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.

Abb. [48]: Kellerwände



Notwendige Daten für die Berechnung:

- Erdreich (siehe § **Erreuer ! Source du renvoi introuvable.**):
  - $\lambda_g$ :  $\lambda$ -Wert, in W/(m.K);
- Kellerdecke:
  - $R_p$ : Wärmedurchlasswiderstand, in  $m^2.K/W$ ;
  - $h$ : durchschnittliche Höhe über Geländeoberkante, in m;
- Kellerwand:
  - $w$ : Dicke auf Bodengleiche, in m;
  - $R_w$ : Wärmedurchlasswiderstand, in  $m^2.K/W$ ;
  - $z$ : durchschnittliche Tiefe im Erdreich, in m;
- Kellerboden:
  - $P$ : Umfang, in m;
  - $A$ : Fläche, in  $m^2$ ;
  - $R_f$ : Wärmedurchlasswiderstand, in  $m^2.K/W$ ;
- Kellerbelüftung:
  - $n$ : Luftwechselrate, in  $h^{-1}$ ;
  - $V$ : Volumen, in  $m^3$ .

Das Berechnungsverfahren ist nachstehend angegeben.

Vorbereitende Schritte:

Berechnen die charakteristische Dimension des Bodens  $B'$ , in m, nach Gl. 57.

Schritt 1

Berechnen Sie  $d_t$  für den Kellerboden nach:

$$\text{Gl. 76} \quad d_t = w + \lambda_g (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad m$$

Schritt 2

Berechnen Sie  $U_{bf}$  für den Kellerboden nach:

$$\text{Gl. 77} \quad \text{wenn } (d_t + 0,5.z) < B' : U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5.z} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5.z} + 1 \right)$$

wenn  $(d_t + 0,5.z) \geq B'$  (gut gedämmter Boden):

$$U_{bf} = \frac{\lambda_g}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5.z}$$

W/( $m^2 \cdot K$ )

Schritt 3

Berechnen Sie  $d_w$  für die Kellerwand nach:

$$\text{Gl. 78} \quad d_w = \lambda_g (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad m$$

**Schritt 4**

Berechnen Sie  $U_{bw}$  für die Kellerwand nach:

$$\text{Gl. 79} \quad \text{si } d_w \geq d_t: U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot z} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right)$$

$$\text{si } d_w < d_t: U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot z} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_w}{d_w + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**Schritt 5**

Bei einem beheizten Keller müssen für die Evaluierung der Anforderung  $U_{\max}$  gemäß Anhang C1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 für die Bodenplatte des Kellers und die Kellerwand jeweils die Werte  $U_{bf}$  und  $U_{bw}$  wie oben festgelegt berücksichtigt werden.

Bei einem Keller außerhalb des geschützten Volumens muss für die Evaluierung der Anforderung  $U_{\max}$  gemäß Anhang C1 des Erlasses vom 15. Mai 2014 für die Bodenplatte auf dem Keller der Wert  $U$  wie oben festgelegt berücksichtigt werden.

- Berechnen Sie den Wert  $U_f$  der Bodenplatte auf dem Keller folgendermaßen:

$$\text{Gl. 82} \quad U_f = \frac{1}{R_{si} + R_p + R_{si}} \quad \text{mit } R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

- Berechnen Sie den Wert  $U_w$  des Teils der Mauer auf der Ebene des Außenbodens folgendermaßen:

$$\text{Gl. 83} \quad U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad \text{avec } R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

- Berechnen Sie den Wert  $U$  des Bodens auf dem Keller folgendermaßen:

$$\text{Gl. 84} \quad \frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{A \cdot U_{df} + z \cdot P \cdot U_{bw} + h \cdot P \cdot U_w + 0,33 \cdot n \cdot V} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

mit: im Rahmen der PEB-Richtlinien dem Festwert  $n$  von  $0,3 \text{ h}^{-1}$  als Lüftungsrate.

---

## Anlage G Vereinbarungen für die Bestimmung der U-Werte

### G.1 Einleitung

Dieser Anhang enthält die Vereinbarungen, die bei der Bestimmung der  $\lambda$ -, 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 Berechnungsmethoden

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 $\lambda_U$ -Wert von Mauerwerk

Eine Schicht (gemauert oder geklebt), die Fugen enthält, ist ein Sonderfall einer inhomogenen Schicht, siehe § 6.2. Bauteile, die eine oder mehrere Schichten mit Fugen enthalten, können ganz allgemein nach den in § 6.2 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 § 0).

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 § 6.2.

Der Wärmedurchlasswiderstand der Schicht mit Fugen wird angegeben durch:

$$\text{Gl. 86} \quad R = d/\lambda_U \quad \text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Dabei ist:

$\lambda_U$  eine äquivalente (homogene) Wärmeleitfähigkeit der Schicht. Diese wird bestimmt als der flächenanteilmäßig gewichtete Mittelwert der Wärmeleitfähigkeit des Baustoffs und der Fuge:

$$\text{Gl. 87} \quad \lambda_U = \frac{\lambda_{U,\text{mat}} \cdot A_{\text{mat}} + \lambda_{U,\text{joint}} \cdot A_{\text{joint}}}{A_{\text{mat}} + A_{\text{joint}}} \quad \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Dabei ist:

$d$  Schichtdicke, in m;

$\lambda_{U,\text{mat}}$  Wärmeleitfähigkeit des fugenlosen Baustoffs, in  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$\lambda_{U,\text{joint}}$  Wärmeleitfähigkeit der Fuge, in  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$A_{\text{mat}}$  Sichtfläche des fugenlosen Baustoffs, in  $\text{m}^2$ ;

$A_{\text{joint}}$  Sichtfläche der Fuge, in  $\text{m}^2$ .

L'Gl. 87 für die äquivalente Wärmeleitfähigkeit kann auch wie folgt angegeben werden:

$$\text{Gl. 88} \quad \lambda_U = \lambda_{U,\text{mat}} \cdot (1 - f_{\text{joint}}) + \lambda_{U,\text{joint}} \cdot f_{\text{joint}} \quad \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Dabei ist:

$f_{\text{joint}}$  der Fugenanteil, (-).

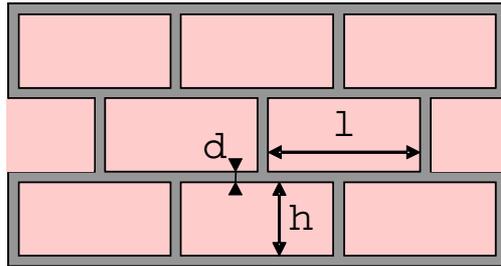
Bei einer repetitiven rechteckigen Geometrie, bei der die Binder- und Läuferfugen die gleiche Dicke haben (siehe Abb. [49]), wie es bei Mauerwerk im Allgemeinen der Fall ist, kann der Fugenanteil wie folgt bestimmt werden:

$$\text{Gl. 89} \quad f_{\text{joint}} = \frac{A_{\text{joint}}}{A_{\text{mat}} + A_{\text{joint}}} = 1 - \frac{l \cdot h}{(l + d) \cdot (h + d)} \quad (-)$$

Dabei ist (siehe Abb. [49]):

$l$  und  $h$  Länge und Höhe bei einem rechteckigen Baustoff, in mm;

$d$  Dicke der Fuge, in mm (häufig 6 oder 12 mm).

**Abb. [49]: Parameter für die Bestimmung des Mörtelanteils in Mauerwerk**

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

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

Bei sonstigen geometrischen Konfigurationen (z. B. ohne Binderfugen), ist der Anteil auf eine geeignete Weise zu bestimmen und muss in die Formel (Gl. 88) 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  $\lambda_{U,\text{joint}} < \lambda_{U,\text{mat}}$ :  $f_{\text{joint}} = 0.00$  (0%);
  - wenn  $\lambda_{U,\text{joint}} > \lambda_{U,\text{mat}}$ :
    - bei Innenmauern:  $f_{\text{joint}} = 0.16$  (16%);
    - bei Außenmauern:  $f_{\text{joint}} = 0.28$  (28%).

Beispiele für Baustoffe, die häufig mit Fugen gesetzt werden:

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

### G.3.2 $\lambda_U$ -Wert von Lochziegeln oder Hohlblocksteinen

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

Der  $\lambda_U$ -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  $\lambda_U$ -Wert ist der entsprechenden Tabelle zu entnehmen. Beispiel:
  - Eigenschaften: ein zertifizierter Backstein mit 30 % Lochanteil und einer Vollsteindichte von  $1800 \text{ kg/m}^3$ ;
  - Bestimmung: wenn der Vollstein eine Dichte von  $1800 \text{ kg/m}^3$  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  $1260 \text{ kg/m}^3$  entsprechende  $\lambda_{U1}$ -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  $\lambda_U$ -Wert direkt der entsprechenden Tabelle entnommen werden. Beispiel:

- Eigenschaften: ein zertifizierter Hohlziegel mit den Maßen 209 x 140 x 90 mm und einem Gewicht von 4,6 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  $\lambda_{U,i}$ -Wert für diese Dichte von  $1260 \text{ kg/m}^3$  kann direkt bestimmt werden, also 0,42 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:

$$\text{G1. 90} \quad \text{Holzanteil} = \frac{\text{Breite der Holzelemente}}{\text{Mittlerer Zwischenabstand (Mitte bis Mitte)}} \quad (-)$$

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).

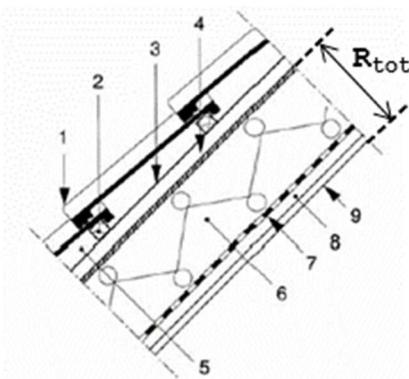
**Tabelle G.1 - Holzanteile (Standardwerte) bei Bauteilschichten mit Holzstruktur**

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

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

### G.5.1 Ziegel- oder Schieferdächer

Abb. [50]: Wärmedurchlasswiderstand eines Ziegel- oder Schieferdachs



- 1: Bedachung (Ziegel oder Schiefer)
- 2: Pfettenlatten
- 3: Windlatten
- 4: Unterdach
- 5: Luftschicht zwischen Abdeckung und Unterdach
- 6: Dämmung
- 7: Luftsperr-/Dampfsperre
- 8: Hohlraum für Leitungen
- 9: Innendeckschicht

Bei einem Ziegel oder Schieferdach (Abb. [50]) 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 § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**):

$$\text{Gl. 91} \quad 1/U = R_T = R_{si} + R_{tot} + R_{si} \quad \text{m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Dabei ist:

$R_{tot}$  Summe der Wärmedurchlasswiderstände aller Bauteilschichten zwischen der Innenumgebung und der stark belüfteten Luftschicht (Schichten 4, 6, 7, 8 und 9 im Abb. 50), in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

### 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  $0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (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.

Gesehen, um dem Erlass der wallonischen Regierung vom 11. April 2019 zur Änderung des Erlasses der wallonischen Regierung vom 15. Mai 2014 über die Umsetzung der Verordnung vom 28. November 2013 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beigefügt zu werden.

Namur, am

Für die Regierung:

Der Ministerpräsident,

Willy BORSUS

Der Minister für Energie

Jean-Luc CRUCKE