

Hinweis: Derzeit werden nur Zertifikate für die Klimaregionen arktisch, kalt, kühl-gemäßigt, warm-gemäßigt und warm ausgegeben.

Rechtliche Hinweise: Bei allen Konstruktionsdetails wird ausschließlich der Wärmestrom untersucht. Die Tauwasserfreiheit bzw. die inneren Feuchtetransportprozesse und der Schutz vor Feuchteintritt sowie andere bauphysikalische, baupraktische oder statische Aspekte sind nicht Gegenstand der Prüfungen. Dies obliegt bei Bedarf dem Antragsteller, Planer oder Hersteller. Das PHI geht davon aus, dass die eingereichten Unterlagen frei von Rechten Dritter sind. Der Antragsteller erklärt durch das Einreichen der Unterlagen zur Prüfung, dass er die Rechte an diesen vollumfänglich besitzt.

Inhalt

1	Vorbemerkung	2
2	Vorgehensweise	2
2.1	3D-FEM Wärmestromsimulation.....	4
2.2	2D-Ersatzverfahren	5
2.3	Kennwertermittlung der Ersatzgeometrie gem. EAD	7
2.4	Optionale weitere Einbausituationen	8
3	Effizienzkriterium.....	8
4	Effizienzklasse	9
5	Energiekriterium.....	9
6	Hygiene- und Komfortkriterium	10
6.1	Berechnung von fR_{si}	10
7	Randbedingungen und Kennwertermittlung.....	11
7.1	Temperaturrandbedingungen und Wärmeübergangswiderstände.....	11
7.2	Materialkennwerte	11
8	Einzureichende Unterlagen.....	11
8.1	Ablauf der Zertifizierung	12
9	Literaturverzeichnis	13

1 Vorbemerkung

Passivhäuser stellen aufgrund der Möglichkeit, auf ein separates Heizsystem zu verzichten, hohe Anforderungen an die Qualität der verwendeten Bauteile. Neben einer exzellenten Wärmedämmung, hoher Luftdichtheit, hocheffizienter Lüftungswärmerückgewinnung und Passivhausfenstern ist die Vermeidung oder Reduktion von Wärmebrücken von herausragender Bedeutung für die Funktionsfähigkeit des Passivhauses. Um an dieser Stelle eine zuverlässige Qualität zu definieren, wird vom Passivhaus Institut das Qualitätssiegel "Zertifizierte Passivhaus-Komponente – Balkonanschluss" vergeben.

2 Vorgehensweise

Die Ermittlung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten wird durch eine FEM-Wärmestromsimulation durchgeführt. Hierfür wird eine von der Klimazone abhängige Wandkonstruktion vorgegeben, die sich hinsichtlich der Dämmstärke, respektive Wärmedurchgangskoeffizienten des ungestörten Wandaufbaus unterscheidet.

Die Zuordnung in die jeweilige Klimaklasse richtet sich nach dem Hauptstandort¹ des Applikanten, eine Übersicht der Klimazonen kann nachstehender Grafik entnommen werden.

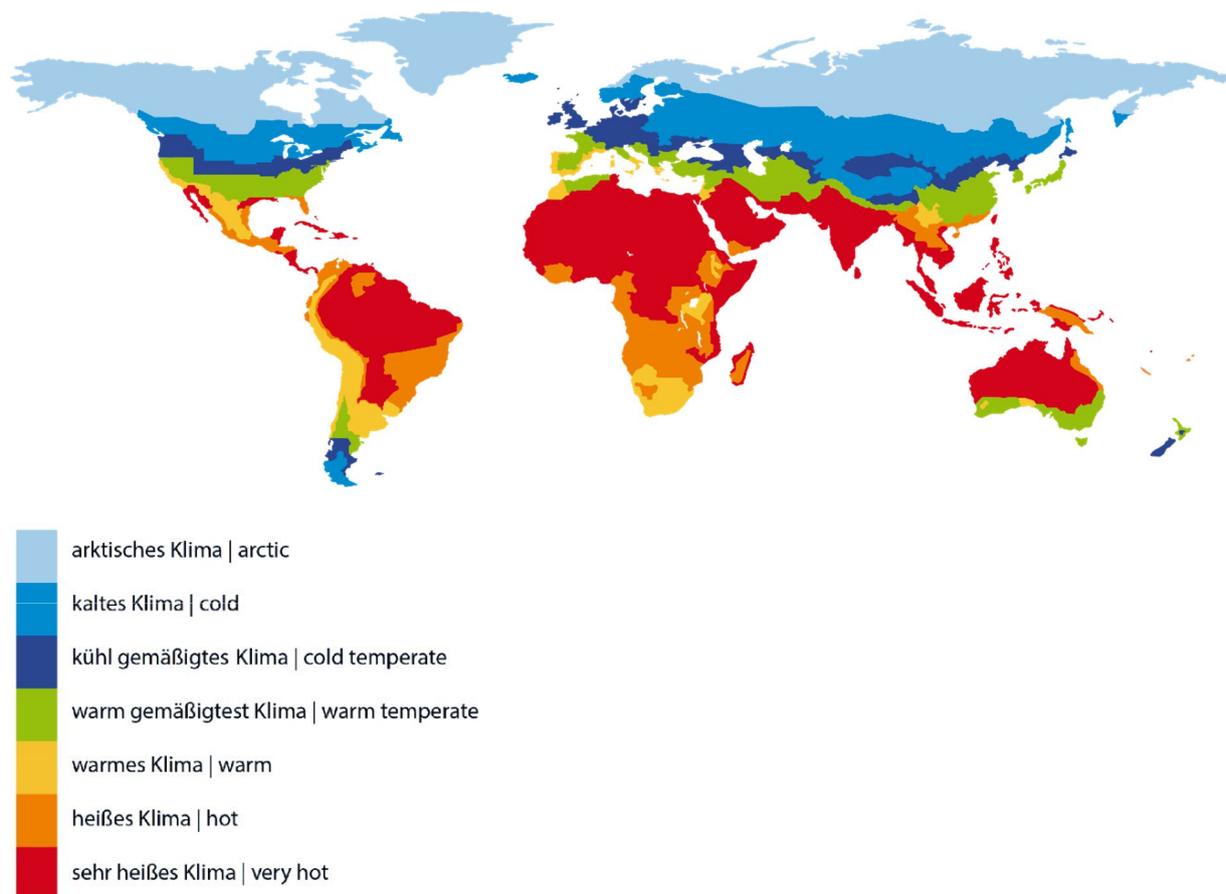


Abbildung 1: Klimazonen Zuordnung

¹ Basierend auf dem nächstliegenden PHPP-Klimadatensatz

Tabelle 1: Wandaufbau Referenz

Schicht	d [mm]	λ [W/(mK)]
Innenputz	15	0,51
Stahlbeton	200	2,3
Wärmedämmung	variiert	0,035
Außenputz	10	0,7

Entsprechend der jeweiligen Klimazone wird die Dämmstärke des Referenz-Wandaufbaus entsprechend Tabelle 2 angepasst. Die Tabelle listet die jeweilige Dämmstärke, den jeweiligen entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizienten und die Anforderungen an den minimalen Temperaturfaktor in Abhängigkeit von der Klimazone auf.

Tabelle 2: Referenz-Wärmedurchgangskoeffizienten / -Dämmstärken, zu erreichende Temperaturfaktoren in Abhängigkeit der Klimazone

Klimazone	U-Wert Referenzfassade [W/(m ² K)]	Dämmstärke [mm]	Hygienekriterium Minimaler Temperaturfaktor $f_{R_{Si}} = 0,25 \text{ m}^2\text{KW} [-]$	Komfortkriterium (rein opake Konstruktionen) Minimaler Temperaturfaktor $f_{R_{Si}} = 0,25$ $\text{m}^2\text{KW} [-]$
 arctic climate CERTIFIED COMPONENT Passiv House Institute	0,09	380	0,80	0,90
 cold climate CERTIFIED COMPONENT Passiv House Institute	0,12	280	0,75	0,88
 cool, temperate climate CERTIFIED COMPONENT Passiv House Institute	0,13	250	0,70	0,86
 warm, temperate climate CERTIFIED COMPONENT Passiv House Institute	0,23	140	0,65	0,82
 warm climate CERTIFIED COMPONENT Passiv House Institute	0,48	60	0,55	0,74

Die Balkonanschlüsselemente werden realgetreu modelliert und in die Konstruktion eingesetzt. Unterschieden wird zwischen:

1. Anschlüsselementen die negative Momente (Kragplatten)
2. Anschlüsselementen die ausschließlich Querkräfte (wie bei gestützten Balkonen) aufnehmen können.

Dabei steht es dem Hersteller frei, die Ermittlung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten durch eine dreidimensionale FEM-Wärmestromsimulation ermitteln zu lassen, oder durch eine zweidimensionale FEM-Wärmestromsimulation mit Ersatzmodellen äquivalenter Wärmedurchgangswiderstände.

Werden die Wärmebrückenverlustkoeffizienten mit Ersatzmodellen berechnet, deren äquivalente Wärmeleitfähigkeit vom Hersteller bereitgestellt werden, so werden diese durch eine qualitative Vergleichssimulation validiert.

Werden die Wärmebrückenverlustkoeffizienten durch eine 3D-Simulation ermittelt, werden die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten für Ersatzmodelle aus der Wärmestromsimulation abgeleitet.

Bei linearen Balkonanschlusselementen wird die Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit eines Ersatzmodells gemäß Kapitel 2.3 durchgeführt.

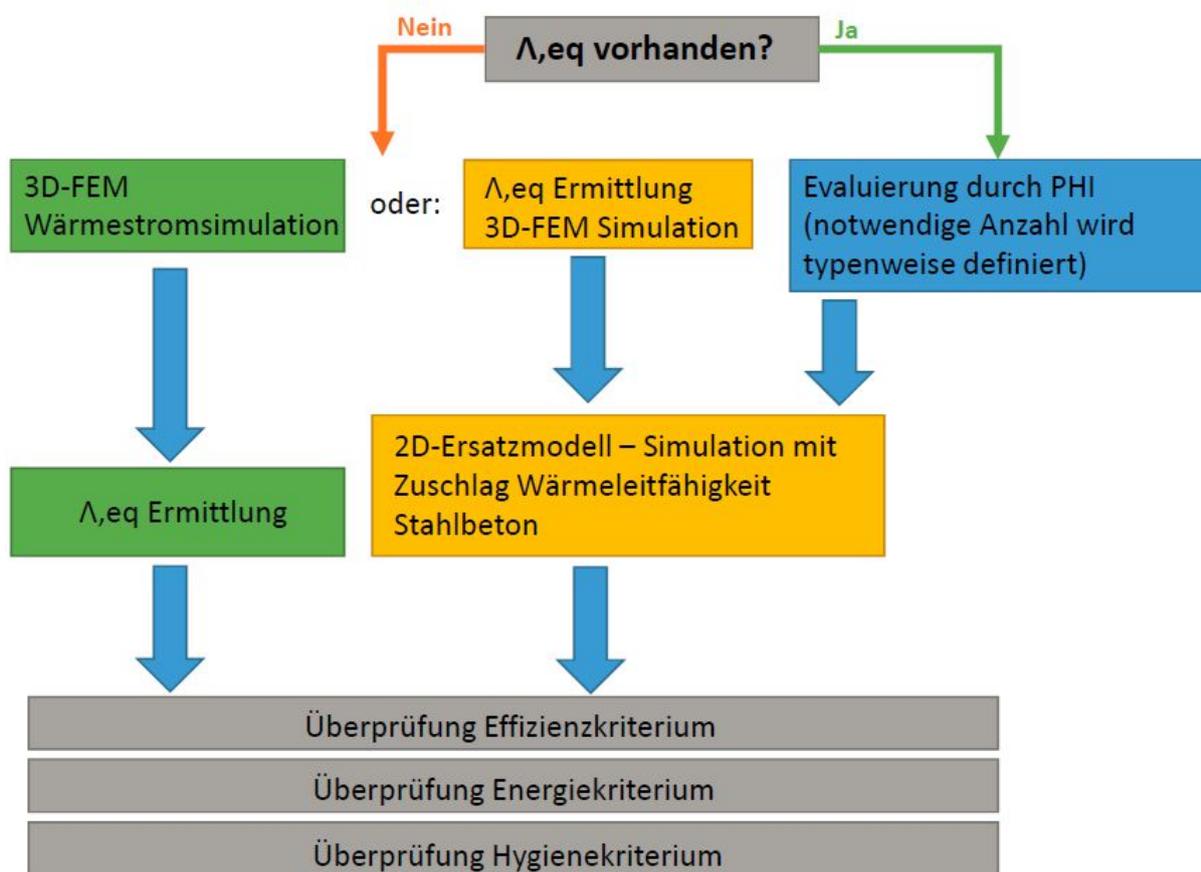


Abbildung 2: Ablaufdiagramm Zertifizierung

2.1 3D-FEM Wärmestromsimulation

Hierzu werden vom Hersteller originalgetreue, dreidimensionale Modelle zur Verfügung gestellt, in die Wandkonstruktion eingesetzt und der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ermittelt. Bei punktuellen Durchdringungen wird der punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ermittelt, und in Abhängigkeit des Abstandes in einen längenbezogenen Koeffizienten umgerechnet.

Es gilt bei linearen Anschlusselementen:

$$\psi = \frac{\Phi_{3D} - \Phi_{1D}}{\Delta T * l}$$

Es gilt bei punktuellen Anschlusselementen:

$$\psi = \frac{\chi * l}{a} = \frac{\Phi_{3D} - \Phi_{1D}}{\Delta T * l}$$

mit:

Ψ = linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(mK)]

Φ_{1D} = Wärmestrom der ungestörten Konstruktion [W] (s. dazu Tabelle 2)

Φ_{3D} = Wärmestrom der Konstruktion [W]

ΔT = Temperaturdifferenz [K]

X = punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/K]

l = Balkonbreite (entspricht der Tiefes des Berechnungsmodells) [m]

a = Abstand der punktuellen Anschlusselemente [m]

2.2 2D-Ersatzverfahren

Bei der Wärmestromsimulation mit Ersatzmodellen werden die Balkonanschlusselemente in zweidimensionale (Rechteck-)Ersatzkörper konvertiert, deren thermische Eigenschaften der realen Komponente gleichen. Der Wärmedurchlasswiderstand der Ersatzgeometrie mit der Wärmeleitfähigkeit λ_{eq} entspricht dabei dem Wärmedurchlasswiderstand des 3D-Originalmodells. Das Verfahren zur Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit kann dem Abschnitt 2.3 entnommen werden. Die Modelle werden analog zu den 3D-Modellen modelliert, eine Berücksichtigung der Bewehrung (der Anschlusselemente) im Stahlbeton erfolgt durch eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Stahlbetons λ_c^2 im Anschlussbereich (Balkon und Decke) des Anschlusselements. Der Bewehrungsanteil verändert sich mit der Balkonhöhe, sodass zwei Bereiche definiert werden:

1. Balkone mit einer Höhe von $h \leq 200$ mm: $+\Delta\lambda_c = +0,7$ W/(mK)
2. Balkone mit einer Höhe von $h > 200$ mm: $+\Delta\lambda_c = +0,3$ W/(mK)

² $\lambda_c = 2,3$ W/(mK) ohne Zuschlag

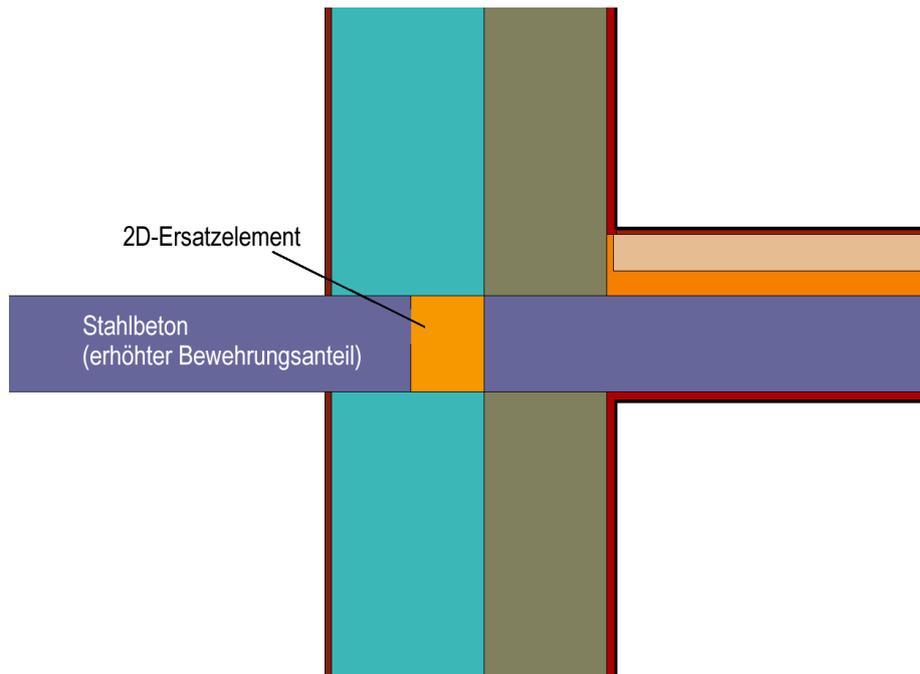


Abbildung 3: 2D-Ersatzmodell – Berücksichtigung der Bewehrungsstäbe durch Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Stahlbetons im Bereich des Anschlusselements

Es gilt bei linearen Anschlusselementen:

$$\psi = \frac{\Phi_{2D} - \Phi_{1D}}{\Delta T * l}$$

mit:

Ψ = linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(mK)]

Φ_{1D} = Wärmestrom der ungestörten Konstruktion [W] (s. dazu Tabelle 2)

Φ_{2D} = Wärmestrom der Konstruktion [W]

ΔT = Temperaturdifferenz [K]

l = Balkonbreite [m]

Werden punktuelle Befestigungen untersucht, bedarf es zunächst einer dreidimensionalen Wärmestromsimulation zur Ermittlung einer äquivalenten Ersatzwärmeleitfähigkeit λ_{eq} für einen definierten Abstand der Elemente. Kennwerte zwischen den ermittelten Abständen können interpoliert werden.

2.3 Kennwertermittlung der Ersatzgeometrie gem. EAD³

Das Passivhaus Institut bietet die Ermittlung von äquivalenten Ersatzwärmeleitfähigkeiten λ_{eq} gem. (EAD 050001-00-0301, Februar 2018) an. Das Vorgehen und die Simulations- und Berechnungsrandbedingungen können dem nachstehenden Abschnitt entnommen werden. Hierfür werden vom Auftraggeber realgetreue, dreidimensionale Balkonanschlussmodelle zur Verfügung gestellt, deren Kennwertermittlung vom Passivhaus Institut in Simulationsmodellen gemäß den Randbedingungen der EOTA⁴ mittels FEM-Wärmestromsimulation durchgeführt werden. Die für die Ermittlung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten mit Ersatzmodellen mit äquivalenter Wärmeleitfähigkeit nach EAD erforderliche Rechteckgeometrie leitet sich aus der Realgeometrie des linearen Balkonanschlussprofils ab. Die Geometrie entspricht einem idealisierten Rechteck. Das Ersatzmodell weist dabei einen Wärmedurchlasswiderstand auf, der dem Originalmodell entspricht. Entsprechend der geometrischen Kennwerte, kann hieraus eine äquivalente Wärmeleitfähigkeit ermittelt werden, mit der zweidimensionale Wärmestromberechnungen/Wärmebrückenberechnungen durchgeführt werden können. Die Kennwertermittlung nach EAD sieht die Verwendung eines konstruktionsunabhängigen Berechnungsmodells vor. In der nationalen bauaufsichtlichen Zulassung ist als Berechnungsmodell eine typische Wandkonstruktion mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) vorgegeben. Durch die Ermittlung der Kennwerte nach EAD und das konstruktionsunabhängige Berechnungsmodell werden vom Einbauzustand unabhängige Produktkennwerte ermittelt.

Die Wärmebrückenverlustkoeffizienten aus der zweidimensionalen Wärmestromsimulation mit den Ersatzmodellen nach EAD, werden qualitativ mit Kennwerten aus der 3D-Referenzsimulation verglichen und ausgewertet.

Der thermische Widerstand wird gemäß den Randbedingungen der (EN ISO 6946, 2018) und (EN ISO 10211, 2018) ermittelt. Der äquivalente Wärmedurchlasswiderstand R_{eq} wird mittels numerischer Lösungen (Finite-Elemente-Methode) und einem detailliertem 3D-Modell des thermischen Trennelements bestimmt. Die nominale Stärke $d_{n,TI}$ wird ermittelt, dabei werden Einrückungen und Vertiefungen berücksichtigt, ebenso etwaige Auswölbungen. Die Wärmeleitfähigkeit der Komponenten sind Bemessungswerte, Kennwerte sind der EN ISO 10456 entnommen, Wärmeleitfähigkeit von nichtrostendem Stahl der EN 10088-1. Die Kennwerte der Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung sind gemäß EN 13162 und EN 13163 spezifiziert, Bemessungswerte werden gemäß DIN EN ISO 10456 bestimmt.

Gem. dieser Vorgaben werden die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten des Ersatzmodells λ_{eq} und der äquivalente Wärmedurchlasswiderstand R_{eq} ermittelt. Es gilt:

³ European Assessment Document

⁴ European Organisation for Technical Assessment

$$\lambda_{eq, EAD} = \frac{\left[\frac{Q_{3D}}{\Delta T * h} \right]^{-1} - R_{se} - R_{si} - R_{con}}{d}$$

Mit:

Q_{3D}	=	Wärmestrom aus der dreidimensionalen Simulation	
ΔT	=	Temperaturdifferenz = 20 K	
R_{se}	=	Wärmeübergangswiderstand außen =	10^{-6} (m ² K)/W
R_{si}	=	Wärmeübergangswiderstand innen =	10^{-6} (m ² K)/W
R_{con}	=	Thermischer Widerstand Beton =	0,06 m / 2,3 W/(mK) = 0,026087 m ² K/W
h	=	Höhe der Komponente [m]	
d	=	Tiefe der Komponente [m]	

2.4 Optionale weitere Einbausituationen

Optional können weitere Wärmebrückenverlustkoeffizienten auf Anfrage für weitere Anschlusssituationen ermittelt werden, z. B. für einen Balkonaustritt. Die Kennwerte werden nur informativ ausgewiesen und sind nicht Bestandteil der Zertifizierung.

3 Effizienzkriterium

Als wesentliches Kriterium werden die Wärmeverluste in Abhängigkeit der möglichen Lastaufnahme (Haupttragstufe) bewertet. Die Bemessungswiderstände sind vom Hersteller herzureichen, auf Anfrage mit der jeweiligen nationalen Zulassung.

Für Balkonanschlusselemente, die negative Drehmomente aufnehmen können, gilt:

$$Eff.t. = \frac{\psi}{M, Rd} * -1000 < 10 W/(kNmK)$$

Für Balkonanschlusselemente, die ausschließlich Querkräfte aufnehmen können, gilt:

$$Eff.s.f. = \frac{\psi}{V, Rd} * 1000 < 3 W/(kNK)$$

mit:

Ψ = linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(mK)]

$V_{,Rd}$ = Bemessungswiderstand Querkraft [kN/m]

$M_{,Rd}$ = Bemessungswiderstand Drehmoment [kNm/m]

Eff.t. = Effizienzklasse (*turning moment*, Drehmoment) [W/(kNmK)]

Eff.s.f. = Effizienzklasse (*shear force*, Querkraft) [W/(kNK)]

4 Effizienzklasse

Tabelle 3: Effizienzklassenzuordnung

Effizienzklasse	Bezeichnung	Anforderung Gestützte Balkone	Anforderung freikragende Balkone
	certifiable component	< 3,0 W/(kNm K)	< 10,0 W/(kN K)
	basic component	< 2,5 W/(kNm K)	< 6,0 W/(kN K)
	advanced component	< 1,5 W/(kNm K)	< 3,0 W/(kN K)
	very advanced component	< 1,0 W/(kNm K)	< 2,0 W/(kN K)

Entsprechend der ermittelten Kennwerte werden die Komponenten in Effizienzklassen eingeordnet. Tabelle 3 listet die Anforderungskennwerte an die jeweilige Klasse.

5 Energiekriterium

Für die korrekte Energiebilanz eines konkreten Gebäudes ist die Erfassung und Quantifizierung von Wärmebrücken entscheidend. Das Passivhaus Institut weist daher Wärmebrückenverlustkoeffizienten zertifizierter Komponenten als wesentlichen Teil der Untersuchungen in den Zertifikaten aus. Neben der Einhaltung der Effizienz werden auch die absoluten Wärmeverluste begrenzt.

Für Balkonanschlusselemente die negative Momente aufnehmen können gilt:

$$\psi_{\text{Grenz}} \leq 0,25 \text{ W/(mK)}$$

Für Balkonanschlusselemente die ausschließlich Querkräfte aufnehmen können gilt:

$$\psi_{\text{Grenz}} \leq 0,20 \text{ W/(mK)}$$

6 Hygiene- und Komfortkriterium

Wärmebrücken sind thermische Schwachstellen in der Gebäudehülle. Aus diesen Schwachstellen resultieren ein höherer Wärmestrom und damit verbunden eine niedrigere Temperatur der Innenoberfläche des betroffenen Bauteils. Zu niedrige Oberflächentemperaturen können sich störend auf die Behaglichkeit auswirken und zudem hohe relative Luftfeuchtigkeit verursachen und damit die Gefahr von Schimmelbildung und Bauschäden erhöhen. Wird der Temperaturfaktor erreicht, können Schimmel und Kondensat bei üblichen Außentemperaturen, Innentemperaturen und Innenluftfeuchten sicher vermieden werden. Je kälter das Außenklima, umso höher sind die Anforderungen an den Temperaturfaktor.

Um diesen Effekten vorzubeugen, wird der minimale auftretende Temperaturfaktor f_{Rsi} in Abhängigkeit der Klimazone bestimmt, mit einem definierten inneren Wärmeübergangswiderstand von $R_{Si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, vgl. Tabelle 2.

6.1 Berechnung von f_{Rsi}

Berechnung des Temperaturfaktors f_{Rsi} :
$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_a}{\theta_i - \theta_a}$$

Mit θ_{si} : Minimale Temperatur der Innenoberfläche aus mehrdimensionaler Wärmestromberechnung [°C]

θ_a : Außentemperatur aus mehrdimensionaler Wärmestromberechnung [°C]

θ_i : Innentemperatur aus mehrdimensionaler Wärmestromberechnung [°C]

Für rein opake Details wird zudem ein Anforderungswert zur Erfüllung der Komfortanforderungen definiert. Die Randbedingungen zur Kennwertbestimmung können nachfolgender Tabelle entnommen werden.

Region Nr.	Bezeichnung	Bedingungen für Hygienekriterium		Hygienekriterium		Taupunkt-kriterium		Außentemp. für Behaglichkeitskriterium [°C]	Maximale Wärmedurchgangskoeffizienten			
		θ_a	rHi	$\theta_{Si,min}$	f_{Rsi} =0,25m²K/W	$\theta_{Si,min}$	f_{Rsi} =0,25m²K/W		Orientierung	[°]	$U_{W,eingeb.}$	U_W
1	Arktisch	-34,00	0,40	9,20	0,80	6,00	0,74	-50	vertikal	90	0,45	0,40
									geneigt	45	0,50	0,50
									horizontal	0	0,60	0,60
2	Kalt	-16,00	0,45	11,00	0,75	7,80	0,66	-28	vertikal	90	0,65	0,60
									geneigt	45	0,70	0,70
									horizontal	0	0,80	0,80
3	Kühl-gemäßigt	-5	0,50	13	0,70	9	0,57	-16	vertikal	90	0,85	0,80
									geneigt	45	1,00	1,00
									horizontal	0	1,10	1,10
4	Warm-gemäßigt	3,00	0,55	14,00	0,65	10,70	0,45	-9	vertikal	90	1,05	1,00
									geneigt	45	1,10	1,10
									horizontal	0	1,20	1,20
5	Warm	10,00	0,70	15,50	0,55	14,30	0,43	-4	vertikal	90	1,25	1,20
									geneigt	45	1,30	1,30
									horizontal	0	1,40	1,40
6	Heiß	nicht relevant		nicht definiert		nicht definiert		nicht relevant			1,25	1,20
7	Sehr heiß	nicht relevant		nicht definiert		nicht definiert		nicht relevant			1,05	1,00

Abbildung 4 - Randbedingungen Anforderungswerte

7 Randbedingungen und Kennwertermittlung

7.1 Temperaturrandbedingungen und Wärmeübergangswiderstände

Außentemperatur:	-10 °C
Innentemperatur :	20 °C
Wärmeübergangswiderstand außen:	0,04 m ² K/W
Wärmeübergangswiderstand innen:	0,13 m ² K/W
Wärmeübergangswiderstand innen (f _{Rsi}):	0,25 m ² K/W

7.2 Materialkennwerte

Grundsätzlich wird der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit bei der Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten und der Wärmestromsimulation in Ansatz gebracht.

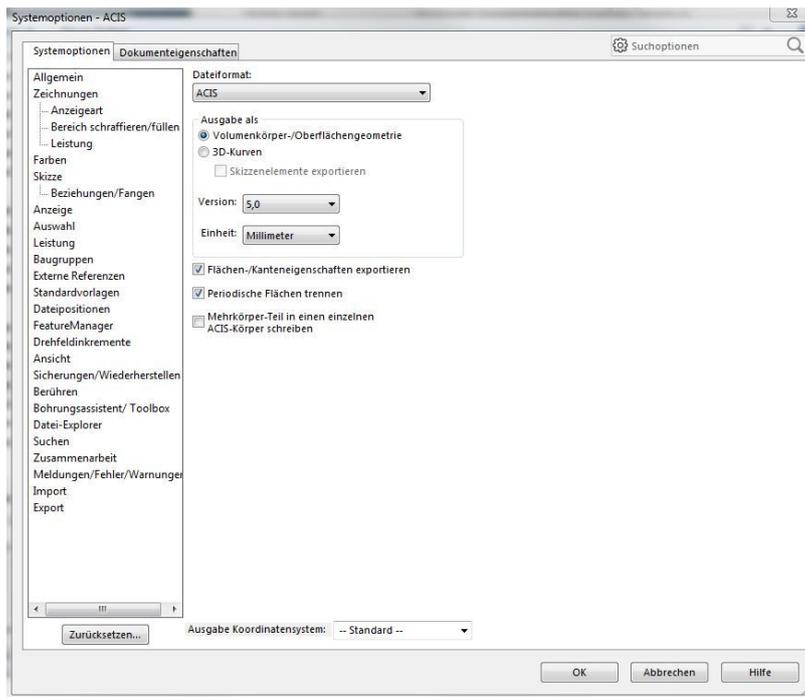
Liegt kein Bemessungswert vor, kann ein von einer anerkannten Materialprüfanstalt nach einschlägigen Normen ermittelter Nennwert der Wärmeleitfähigkeit als Grundlage verwendet werden. Die Wärmeleitfähigkeit ist der aus den Messdaten ermittelte Nennwert (aus Messungen an mindestens drei unterschiedlichen Proben aus verschiedenen Chargen, die für die üblichen Produktvariationen repräsentativ sind, unter Berücksichtigung der Alterung). Hierzu wird eine statistische Bewertung, wie in ISO 10456:2007 Anhang C, beschrieben, mit einem 90-%-Fraktile angewendet.

Liegt kein ordentlich ermittelter Nennwert vor, kann ein glaubhafter Messwert, im Regelfall mit 1,25 multipliziert, für die Berechnung verwendet werden.

8 Einzureichende Unterlagen

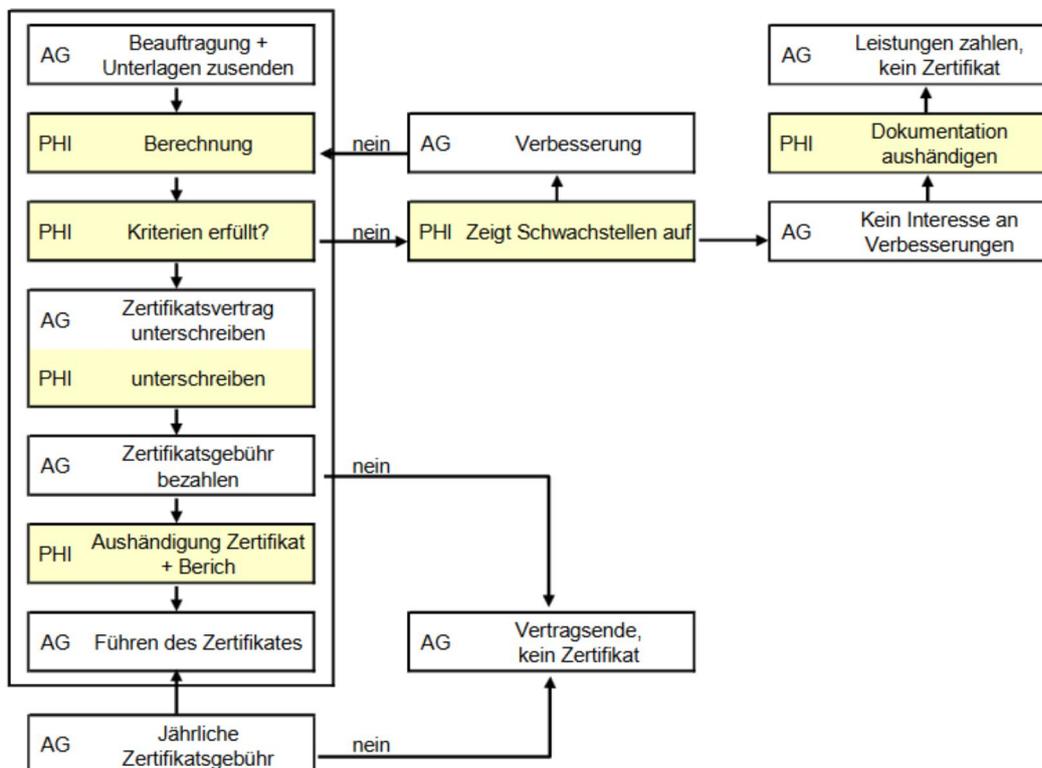
Die folgenden, und auf Anfrage weitere Unterlagen, sind dem PHI vom Antragsteller für die Berechnung zur Verfügung zu stellen:

1. Detailzeichnungen der Balkonanschlusselemente sind als dxf- oder dwg-Dateien einzureichen. Materialien mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten sind mit unterschiedlichen Darstellungen zu kennzeichnen. Tabellen mit den Angaben von Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit, Schichtdicken und Materialbezeichnungen aller Bauteilaufbauten sind einzureichen. Sämtliche Materialien, auch außerhalb der Regelaufbauten der Bauteile, sind aufzuführen und zu spezifizieren.
2. Vollständige allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder vergleichbare Dokumente, Bemessungswiderstände
3. 3D-Modelle im ACIS-Format (.sat) oder dwg-Zeichnungsdatei mit geschlossenen Volumenkörpern.



4. Prüfbare Dokumentation zur Statik, Lastenaufnahme.

8.1 Ablauf der Zertifizierung



9 Literaturverzeichnis

EAD 050001-00-0301, E. (Februar 2018). *Load bearing thermal insulating elements which form a thermal break between balconies and internal floors*. EOTA.

EN ISO 10211. (2018). *Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations*.

EN ISO 6946. (2018). *Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method*.