

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 gemäß EAD	6
2.4	Optionale weitere Einbausituationen	8
3	Effizienzkriterium	8
4	Effizienzklasse	8
5	Energiekriterium	9
6	Temperaturkriterium	9
6.1	Berechnung von f_{Rsi}	10
7	Randbedingungen und Kennwertermittlung	10
7.1	Temperaturrandbedingungen und Wärmeübergangswiderstände	10
7.2	Materialkennwerte	10
8	Einzureichende Unterlagen	11
8.1	Ablauf der Zertifizierung	12
9	Literaturverzeichnis	13

1 Vorbemerkung

Passivhäuser bieten optimalen thermischen Komfort bei minimalem Energieaufwand, was sie unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten wirtschaftlich vorteilhaft macht. 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. Für die Bewertung wird eine vordefinierte Wandkonstruktion herangezogen, die auf der jeweiligen Klimazone basiert. Die Dämmstärke und damit der Wärmedurchgangskoeffizient des ungestörten Wandaufbaus variieren je nach Klimazone.

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

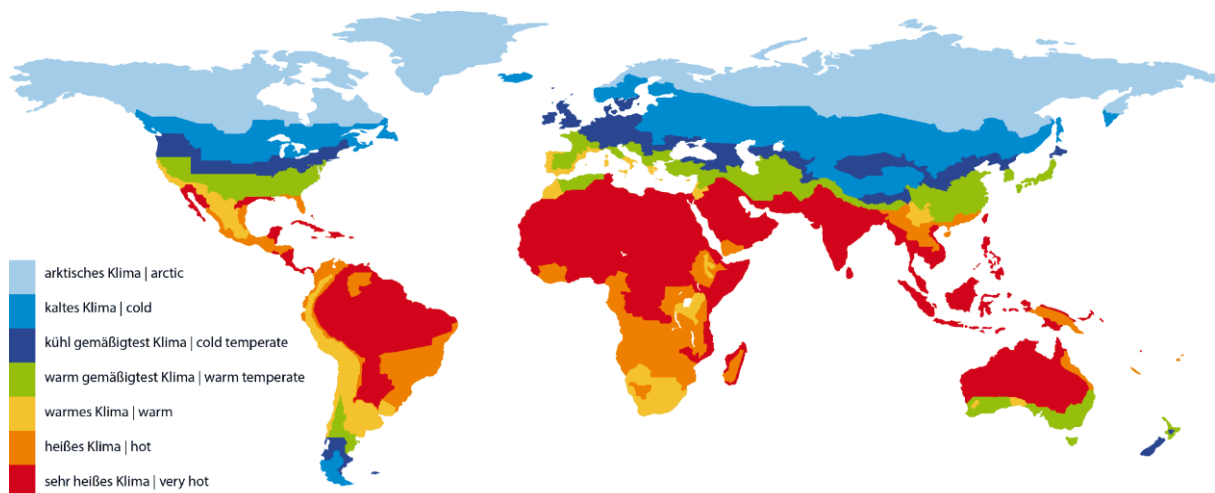


Abbildung 1: Klimazonen

Tabelle 1: Referenz-Wandaufbau

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

¹ Basierend auf dem nächstliegenden PHPP-Klimadatensatz

Entsprechend der jeweiligen Klimazone wird die Dämmstärke des Referenz-Wand-aufbaus 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/(m²K)]	Dämmstärke [mm]	Hygienekriterium* Minimaler Temperaturfaktor $f_{Rsi} = 0,25$ m²K/W [-]	Temperaturkriterium (rein opake Konstruktionen) Minimaler Temperaturfaktor $f_{Rsi} = 0,25$ m²K/W [-]
 arktisch	0,09	380	0,80	0,90
 kalt	0,12	280	0,75	0,88
 kühl-gemäßigt	0,13	250	0,70	0,86
 warm-gemäßigt	0,23	140	0,65	0,82
 warm	0,48	60	0,55	0,74

*Das Hygienekriterium gilt nur für Details mit transparentem Anteil (z. B. Anschluss an eine Fensterbank).

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

1. Anschlusselementen, die Momente (Kragplatten) aufnehmen können
2. Anschlusselementen, 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, so sind die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten vom Hersteller bereitzustellen. Diese Werte werden durch eine qualitative Vergleichssimulation validiert.

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

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

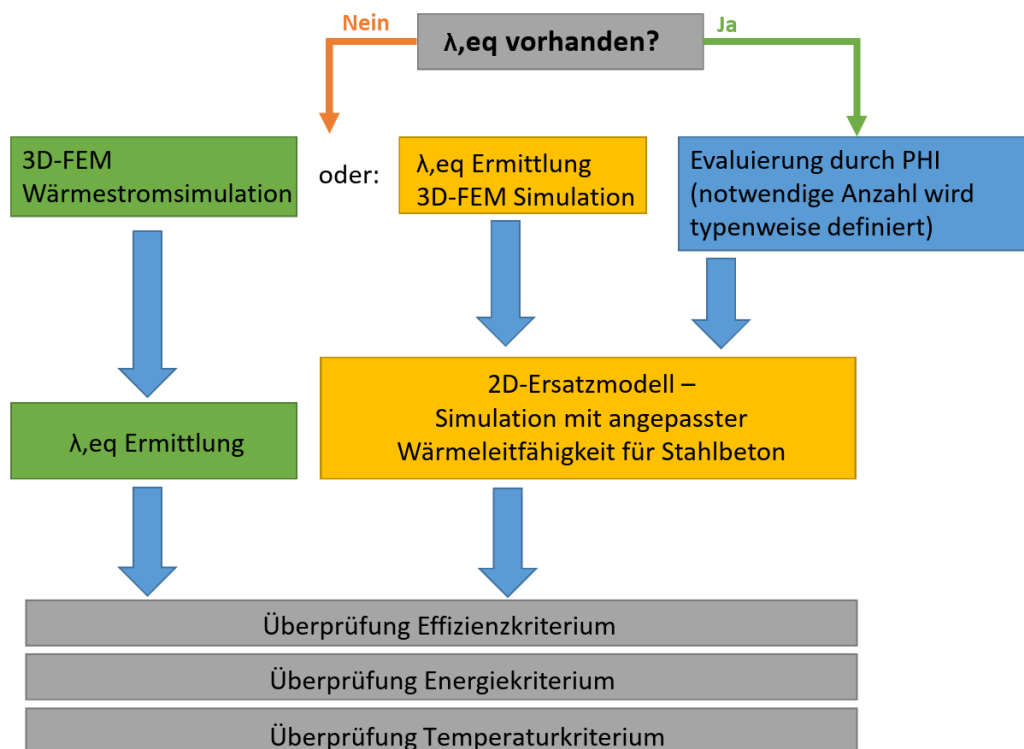


Abbildung 2: Ablaufdiagramm Zertifizierung

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:

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

mit:

- Ψ = linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(m K)]
- Φ_{1D} = Wärmestrom der ungestörten Konstruktion [W]
- Φ_{3D} = Wärmestrom der Konstruktion [W]
- ΔT = Temperaturdifferenz [K]
- χ = punktueller Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/K]
- l = Balkonbreite (entspricht der Tiefe 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/(m K)
2. Balkone mit einer Höhe von $h > 200$ mm: $+ \Delta\lambda_c = +0,3$ W/(m K)

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

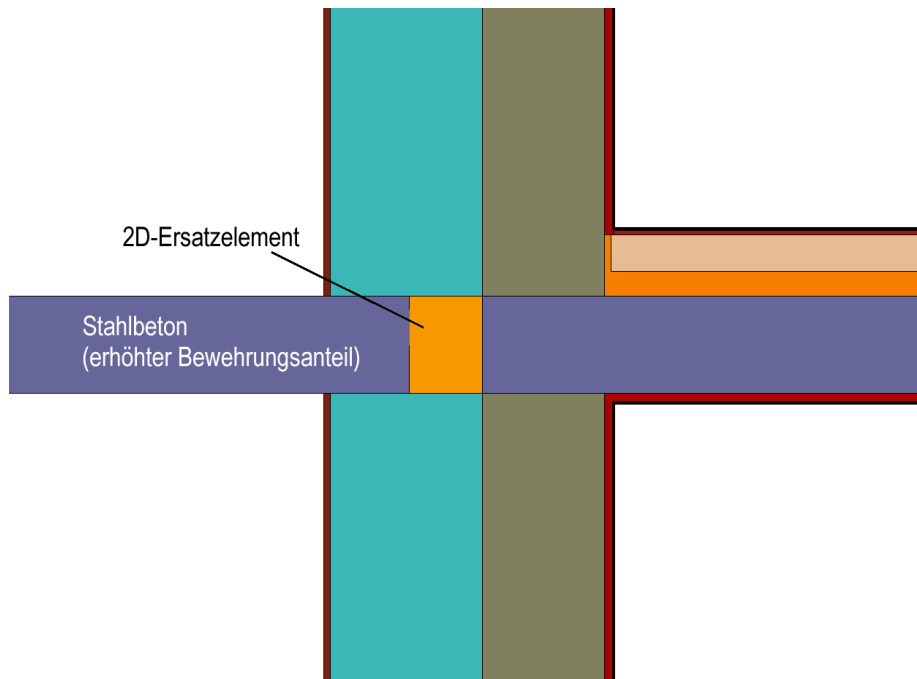


Abbildung 3: 2D-Ersatzmodell – Berücksichtigung der Bewehrungsstäbe durch Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit des Stahlbetons im Bereich des Anschlusselements

Es gilt bei linearen Anschlusselementen:

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

mit:

Ψ = linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient [W/(m K)]

Φ_{1D} = Wärmestrom der ungestörten Konstruktion [W]

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 gemäß EAD³

Das Passivhaus Institut bietet die Ermittlung von äquivalenten Ersatzwärmeleitfähigkeiten λ_{eq} gemäß (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

³ European Assessment Document

vom Passivhaus Institut in Simulationsmodellen gemäß den Randbedingungen der E-OTA⁴ 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 (DIN EN ISO 6946:2018, 2018) und (DIN EN ISO 10211:2018, 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. Hierbei werden Einrückungen und Vertiefungen berücksichtigt, ebenso etwaige Auswölbungen. Die Wärmeleitfähigkeit der Komponenten sind Bemessungswerte, die aus (DIN EN ISO 10456:2010-05, 2010) entnommen wurden. Die Wärmeleitfähigkeit von nichtrostendem Stahl wird (DIN EN 10088-1) entnommen. Die Kennwerte der Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung sind gemäß (DIN EN 13162) und (DIN EN 13163) spezifiziert, Bemessungswerte werden gemäß (DIN EN ISO 10456:2010-05, 2010) bestimmt.

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

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

mit:

Q_{3D} = Wärmestrom aus dreidimensionalen Simulationen [W]

ΔT = Temperaturdifferenz = 20 K

R_{se} = Wärmeübergangswiderstand außen = $10^{-6} \text{ m}^2\text{K/W}$

R_{si} = Wärmeübergangswiderstand innen = $10^{-6} \text{ m}^2\text{K/W}$

⁴ European Organisation for Technical Assessment

R_{con} = Thermischer Widerstand Beton = $0,06 \text{ m}/(2,3 \text{ W}/(\text{mK})) = 0,026087 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
 h = Höhe der Komponente [m]
 d = Tiefe der Komponente [m]

2.4 Optionale weitere Einbausituationen

Optional können auf Anfrage weitere Wärmebrückenverlustkoeffizienten 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 einzureichen, auf Anfrage mit der jeweiligen nationalen Zulassung.

Für Balkonanschlusselemente, die negative Drehmomente aufnehmen können, gilt:

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

Für Balkonanschlusselemente, die ausschließlich Querkräfte aufnehmen können, gilt:

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

mit:

ψ = linearer Wärmebrückenverlustkoeffizient [$\text{W}/(\text{mK})$]
 M_{Rd} = Bemessungswiderstand Drehmoment [kNm/m]
 V_{Rd} = Bemessungswiderstand Querkraft [kN/m]
 $Eff.t.$ = Effizienzklasse (*turning moment*, Drehmoment) [$\text{W}/(\text{kNmK})$]
 $Eff.s.f.$ = Effizienzklasse (*shear force*, Querkraft) [$\text{W}/(\text{kNK})$]

4 Effizienzklasse

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

Tabelle 3: Effizienzklassenzuordnung

Effizienz- klasse	Bezeichnung	Anforderung Gestützte Balkone	Anforderung freikragende Balkone
 phC	noch zertifizierbar	< 3,0 W/(kNm K)	< 10,0 W/(kN K)
 phB	Standard	< 2,5 W/(kNm K)	< 6,0 W/(kN K)
 phA	fortschrittlich	< 1,5 W/(kNm K)	< 3,0 W/(kN K)
 phA+	sehr fortschrittlich	< 1,0 W/(kNm K)	< 2,0 W/(kN K)

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 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 Temperaturkriterium

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. Dadurch steigt die relative Feuchte im Bereich der Oberfläche und es kann zu Schimmelbildung

und Bauschäden kommen. Wird der vorgegebene minimale Temperaturfaktor eingehalten, können Schimmel und Kondensat bei üblichen Außen- und Innentemperaturen sowie 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 mit einem definierten inneren Wärmeübergangswiderstand von $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ bestimmt (vgl. Tabelle 2).

6.1 Berechnung von f_{Rsi}

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

Mit:

θ_{si} = Minimale Innenoberflächentemperatur aus mehrdimensionaler Wärmestromberechnung [$^{\circ}\text{C}$]

θ_a = Außentemperatur aus mehrdimensionaler Wärmestromberechnung [$^{\circ}\text{C}$]

θ_i = Innentemperatur aus mehrdimensionaler Wärmestromberechnung [$^{\circ}\text{C}$]

7 Randbedingungen und Kennwertermittlung

7.1 Temperaturrandbedingungen und Wärmeübergangswiderstände

Für die Berechnung der Wärmebrückenverlustkoeffizienten werden die Wärmeübergangswiderstände aus Abbildung 4 verwendet.

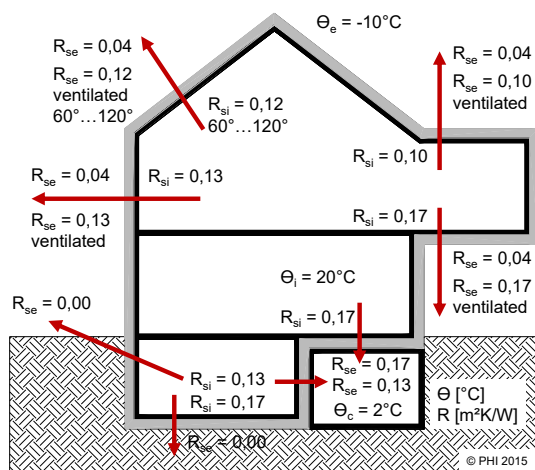


Abbildung 4: Randbedingungen

Für die Berechnung der Temperaturfaktoren wird immer $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ angesetzt.

7.2 Materialkennwerte

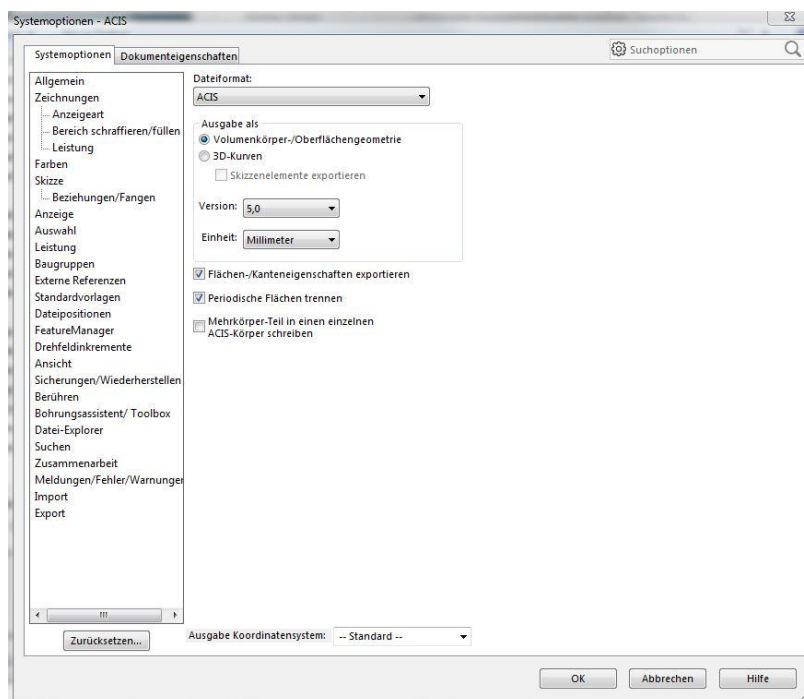
Grundsätzlich wird bei der Berechnung der U-Werte und der Wärmeflussimulationen der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit herangezogen. Dies gilt, solange keine anderen Vorschriften des Passivhaus Instituts veröffentlicht werden.

Liegt kein Bemessungswert vor, kann der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit (nach einschlägigen Normen von einer anerkannten Materialprüfanstalt ermittelt) nach (DIN EN ISO 10456:2010 Anhang C) statistisch bewertet werden. Dabei ergeben sich Zuschläge von bis zu 25%.

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, inklusive Tragfähigkeitswerte
3. 3D-Modelle im ACIS-Format (.sat) oder dwg-Zeichnungsdatei mit geschlossenen Volumenkörpern; für den Export bitte folgende oder ähnliche Einstellungen verwenden:



4. Prüfbare Dokumentation zur Statik und Lastenaufnahme.

8.1 Ablauf der Zertifizierung

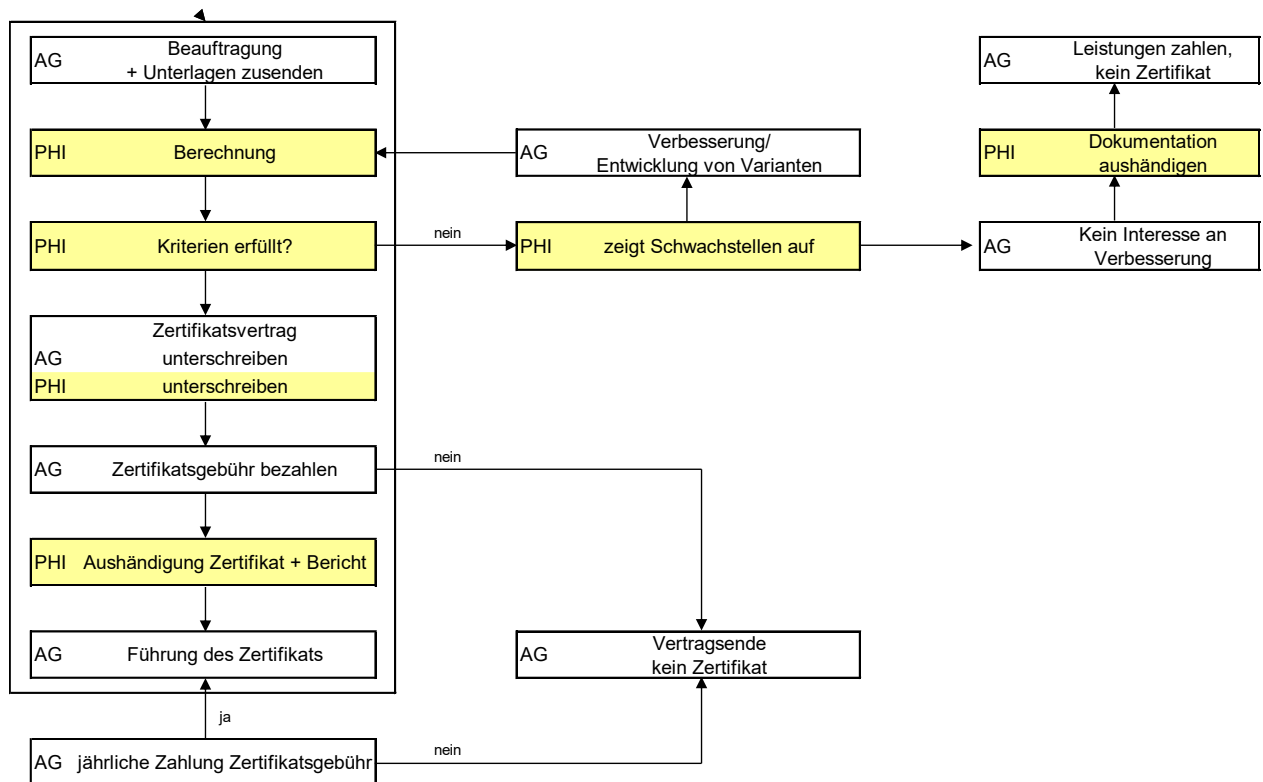


Abbildung 5: Ablaufdiagramm für das Zertifizierungsverfahren

9 Literaturverzeichnis

- DIN EN 13163. (kein Datum). *Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) - Spezifikation.*
- DIN EN 10088-1. (kein Datum). *Nichtrostende Stähle - Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle.*
- DIN EN 13162. (kein Datum). *Wärmedämmstoffe für Gebäude - Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) - Spezifikation.*
- DIN EN ISO 10211:2018. (2018). *Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations.*
- DIN EN ISO 10456:2010-05. (2010). *Baustoffe und Bauprodukte - Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte.*
- DIN EN ISO 6946:2018. (2018). *Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method.*
- EAD 050001-00-0301, E. (Februar 2018). *Load bearing thermal insulating elements which form a thermal break between balconies and internal floors.* EOTA.