

Notiz

Betrifft: ψ -Werte im 3-Raum-Fall; Spezialfall: **unbeheizte Pufferräume**

Behandelt wird ein 3-Raum-Fall, wobei angenommen wird, dass einer dieser drei Räume unbeheizt ist.

Die Räume seien durch folgende Indizes gekennzeichnet:

- i ... innen
- e ... außen
- p ... Pufferraum (unbeheizt)

Ausgegangen wird von einer 2D-Berechnung für eine Baukonstruktion, die diese drei Räume thermisch miteinander verbindet. Als Ergebnis der Berechnung liegen die thermischen Leitwerte $L_{i,e}^{2D}$, $L_{p,i}^{2D}$ und $L_{p,e}^{2D}$ vor.

Anmerkung: Hier wird vorausgesetzt, dass ein Wärmebrückenprogramm verwendet wurde, das die Leitwert-Matrix als eines der wesentlichen Ergebnisse direkt ausgibt (siehe z. B. die Programme WAEBRU oder AnTherm).

Der längenbezogene Wärmeverlust Φ_i^{2D} des Innenraums i durch die betrachtete Baukonstruktion ergibt sich nach dem Leitwert-Konzept im stationären, also zeitunabhängigen Fall zu

$$\Phi_i^{2D} = L_{i,e}^{2D} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + L_{p,i}^{2D} \cdot (\Theta_i - \Theta_p) \quad (1)$$

Θ_i ... Innenlufttemperatur

Θ_e ... Außenlufttemperatur

Θ_p ... Lufttemperatur im Pufferraum

In eindimensionaler Näherung kann der längenbezogene Wärmeverlust des Raums i durch die betrachtete Baukonstruktion mit einem Ansatz der Form

$$\Phi_i^{1D} = U_{i,e} \cdot l_{i,e} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + U_{p,i} \cdot l_{p,i} \cdot (\Theta_i - \Theta_p) \quad (2)$$

beschrieben werden.

$U_{i,e}$... Wärmedurchgangskoeffizient eines plattenförmigen Bauteils, der Raum i mit Raum e thermisch verbindet

$l_{i,e}$... Längserstreckung des plattenförmigen Bauteils, der Raum i mit Raum e thermisch verbindet

$U_{p,i}$... Wärmedurchgangskoeffizient eines plattenförmigen Bauteils, der Raum p mit Raum i thermisch verbindet

$l_{p,i}$... Längserstreckung des plattenförmigen Bauteils, der Raum p mit Raum i thermisch verbindet

Bekanntlich ist die Wahl der Längen $l_{i,e}$ und $l_{p,i}$ im allgemeinen Fall nicht eindeutig; sie sollte normativen Vorgaben entsprechen und plausibel sein.

Der Fehler, der durch die eindimensionale Berechnung entsteht, ergibt sich offenkundig durch die Differenz

$$\Delta\Phi_i = \Phi_i^{2D} - \Phi_i^{1D} \quad , \quad (3)$$

wobei $\Delta\Phi_i$ sowohl positive als auch negative Werte annehmen kann.

Als Korrektur zur Berücksichtigung von Wärmebrückeneinflüssen wird üblicherweise ein Ansatz der Form

$$\Delta\Phi_i = \psi \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \quad (4)$$

verwendet. Unter Berücksichtigung der Beziehung (3) und Einsetzen der Gleichungen (1) und (2) ergibt sich unmittelbar

$$\psi \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = (L_{i,e}^{2D} - U_{i,e} \cdot l_{i,e}) \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + (L_{p,i}^{2D} - U_{p,i} \cdot l_{p,i}) \cdot (\Theta_i - \Theta_p) \quad . \quad (5)$$

Hieraus ergibt sich die Definitionsgleichung für den längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten ψ für den 3-Raum-Fall:

$$\psi = (L_{i,e}^{2D} - U_{i,e} \cdot l_{i,e}) + (L_{p,i}^{2D} - U_{p,i} \cdot l_{p,i}) \cdot \frac{\Theta_i - \Theta_p}{\Theta_i - \Theta_e} \quad . \quad (6)$$

Im allgemeinen Fall von 3 Räumen mit beliebig vorgebbaren Temperaturen wird bei Berücksichtigung des Ansatzes (4) das ψ -Wert-Konzept insofern fragwürdig, als ψ zu einer Funktion der Temperaturen Θ_i , Θ_e und Θ_p wird – siehe Definitionsgleichung (6). Der große Vorteil des Arbeitens mit Größen, die von den Randbedingungen (d. h. den Lufttemperaturen) unabhängig sind, geht hier verloren.

Im Spezialfall eines unbeheizten Pufferraums p ergibt sich die Pufferraumtemperatur Θ_p durch Aufstellen und Lösen der stationären Wärmebilanzgleichung für diesen Raum p . Diese Bilanzgleichung hat die Form

$$\sum_k U_{p,e} \cdot A_{p,e} \cdot (\Theta_p - \Theta_e) + L_{p,e}^V \cdot (\Theta_p - \Theta_e) + \sum_j U_{p,i} \cdot A_{p,i} \cdot (\Theta_p - \Theta_i) + L_{p,i}^V \cdot (\Theta_p - \Theta_i) = \Phi_s + \Phi_n \quad . \quad (7)$$

- $U_{p,e}$... Wärmedurchgangskoeffizient des k -ten plattenförmigen Bauteils, der Raum p mit Raum e thermisch verbindet
- $A_{p,e}$... Fläche des k -ten plattenförmigen Bauteils, der Raum p mit Raum e thermisch verbindet
- $L_{p,e}^V$... Lüftungsleitwert für die von Raum e in Raum p strömende Luft
- $U_{p,i}$... Wärmedurchgangskoeffizient des j -ten plattenförmigen Bauteils, der Raum p mit Raum i thermisch verbindet
- $A_{p,i}$... Fläche des j -ten plattenförmigen Bauteils, der Raum p mit Raum i thermisch verbindet
- $L_{p,i}^V$... Lüftungsleitwert für die von Raum i in Raum p strömende Luft
- Φ_s ... Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung im Pufferraum p
- Φ_n ... nutzungsbedingte Wärmegewinne (durch Personen, Beleuchtung und Geräte) im Pufferraum p

Anmerkung: Die Lufttemperatur des Pufferraums Θ_p ergibt sich natürlich durch Bilanzierung über den gesamten Pufferraum. Es darf daher nicht der Fehler gemacht werden, nur über den Teilbereich, der mittels Wärmebrückenberechnung untersucht wurde, zu bilanzieren. So wird im Allgemeinen der in Gleichung (2) eingeführte U-Wert $U_{p,i}$ nur einer der Wärmeübergangskoeffizienten ${}_jU_{p,i}$ aus Gleichung (7) sein.

In Bilanzgleichung (7) wird die Hülle des Pufferraums fiktiv in plattenförmige Bauteile zerlegt, wobei zwischen Bauteilen mit unterschiedlichen Aufbauten aber auch Bauteilen mit unterschiedlicher Nachbarschaftsbeziehung (Außen- und Innenbauteile) zu unterscheiden ist. Das damit verwendete eindimensionale Berechnungsmodell wird in den meisten Fällen für die Berechnung der Pufferraumtemperatur ausreichend genau sein.

Werden die Innenwärmen im Pufferraum vernachlässigt, was für Pufferräumen ohne großen Verglasungsanteil wie z. B. manche Stiegenhäusern zulässig erscheint, so vereinfacht sich die Bilanzgleichung (7) zu

$$\sum_k {}_kU_{p,e} \cdot {}_kA_{p,e} \cdot (\Theta_p - \Theta_e) + L_{p,e}^V \cdot (\Theta_p - \Theta_e) + \sum_j {}_jU_{p,i} \cdot {}_jA_{p,i} \cdot (\Theta_p - \Theta_i) + L_{p,i}^V \cdot (\Theta_p - \Theta_i) = 0 \quad (8)$$

In diesem speziellen Fall ergibt sich die Pufferraumtemperatur als Gewichtsmittel der Innen- und der Außenlufttemperatur in der Form

$$\Theta_p = g \cdot \Theta_i + (1 - g) \cdot \Theta_e \quad (9)$$

Der Gewichtungsfaktor g nimmt hierbei die Form

$$g = \frac{\sum_j {}_jU_{p,i} \cdot {}_jA_{p,i} + L_{p,i}^V}{\sum_k {}_kU_{p,e} \cdot {}_kA_{p,e} + L_{p,e}^V + \sum_j {}_jU_{p,i} \cdot {}_jA_{p,i} + L_{p,i}^V} \quad (10)$$

an.

Ein zweiter, gerne verwendeter Ansatz basiert auf der Annahme, dass sich die Lüftungswärmeverluste und die Wärmegewinne im Pufferraum die Waage halten. Dieser vereinfachende Ansatz ist wird zulässig sein, wenn sowohl die Lüftungswärmeverluste als auch die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung und Nutzung klein im Vergleich zu den Transmissionswärmeverlusten sind. Natürlich muss dabei die Grundannahme, dass Lüftungswärmeverluste und Wärmegewinne in etwa gleich groß sind, plausibel sein. Hoch verglaste Pufferräume wie auch Pufferräume, deren Lüftungswärmeverluste per Wärmerückgewinnung reduziert werden, kommen für dieses Modell nicht in Frage.

Im Fall, dass sich die Lüftungswärmeverluste und die Wärmegewinn kompensieren, vereinfacht sich Bilanzgleichung (7) weiter zu

$$\sum_k {}_kU_{p,e} \cdot {}_kA_{p,e} \cdot (\Theta_p - \Theta_e) + \sum_j {}_jU_{p,i} \cdot {}_jA_{p,i} \cdot (\Theta_p - \Theta_i) = 0 \quad (11)$$

Ersichtlich ist auch in diesem Fall Gleichung (9) gültig. Der auftretende Gewichtungsfaktor g hat nun die Form:

$$g = \frac{\sum_j U_{p,i} \cdot A_{p,i}}{\sum_k U_{p,e} \cdot A_{p,e} + \sum_j U_{p,i} \cdot A_{p,i}} \quad (12)$$

Wie leicht nachzurechnen ist, verschwindet in den beiden besprochenen Spezialfällen die Temperaturabhängigkeit des ψ -Werts (siehe Gleichung (6)), da

$$\frac{\Theta_i - \Theta_p}{\Theta_i - \Theta_e} = 1 - g \quad (13)$$

gilt. Im allgemeinen Fall, in dem die Pufferraumtemperatur durch Lösen der Gleichung (7) errechnet wird, bleibt der ψ -Wert hingegen temperaturabhängig. Das ψ -Wert-Konzept stößt in diesem Fall an seine Grenzen.

Als Ergebnis dieser Untersuchung stellt sich heraus, dass das indirekte Verfahren („ ψ -Wert-Konzept“) dann und nur dann auf einen 3-Raum-Fall in sinnvoller Art angewendet werden kann, wenn

- einer der drei Räume unbeheizt ist und
- die Innenwärmen in diesem unbeheizten Raum entweder vernachlässigt oder mit den Lüftungswärmeverlusten gleich gesetzt werden können.

In diesem Fall erhält die Definitionsgleichung des ψ -Werts (6) die temperaturunabhängige Form

$$\psi = (L_{i,e}^{2D} - U_{i,e} \cdot l_{i,e}) + (L_{p,i}^{2D} - U_{p,i} \cdot l_{p,i}) \cdot (1 - g) \quad (14)$$

Der Gewichtungsfaktor g ist je nach verwendetem Ansatz nach Gleichung (10) oder Gleichung (12) zu berechnen.