

DÄMMWERK
Bauphysik-Software

Berechnungsbeispiele Wärmebrücken

- ▶ Schimmelpilzbildung 2D und 3D
- ▶ Wärmebrückenkonstruktion
- ▶ Bauteilanschlüsse und Isothermen

Inhalt

1. Wärmebrücken	3
1.1 Konstruktion Flachdachanschluss mit Attika	5
1.2 Schimmelpilzuntersuchung	6
1.3 Konstruktion und Isothermenberechnung	9
für eine Wand mit Betonstütze	9
2. Bauteilanschlüsse und Isothermen	12
2.1 Konstruktion für einen Fensteranschluss	12
2.2 Konstruktion Geschossdeckenanschluss mit Balkonplatte	14
2.3. Berechnung von Wärmebrückenverlustkoeffizienten	16
2.4 Übungsbeispiel psi-Wert für einen Kellerdeckenanschluss	18

1. Wärmebrücken

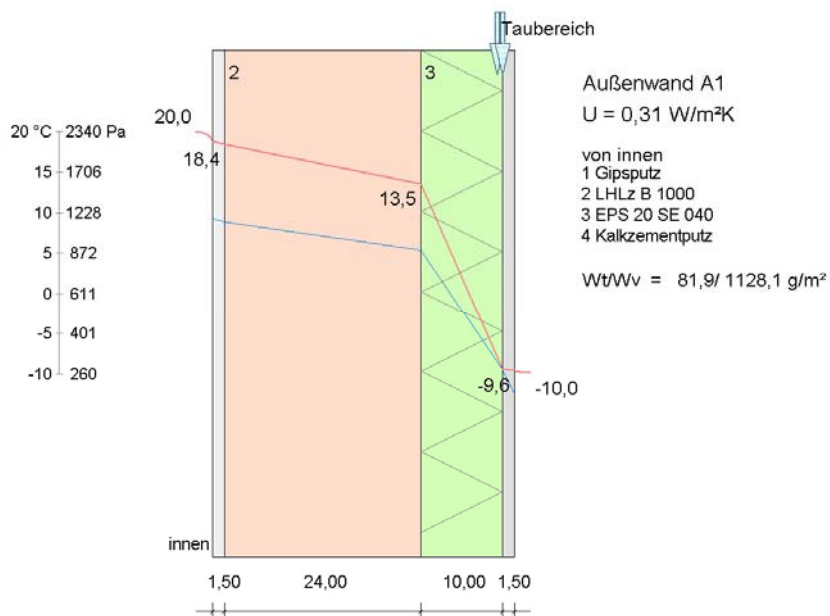
Legen Sie sich ein neues Projekt mit dem Namen „Bauteilanschlüsse“ an.

Folgende Bauteile werden benötigt, Außenwand A1 und Flachdach A2. Geben Sie den Schichtaufbau wie unten gezeigt ein.

Außenwand A1

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	[kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	
R_{Si}					0,13	
01 Gipsputz	1,500	1200	18,0	0,350	0,04	
02 LHLz B 1000	24,000	1000	240,0	0,450	0,53	
03 EPS 20 SE 040	10,000	20	2,0	0,040	2,50	
04 Kalkzementputz	1,500	1800	27,0	0,870	0,02	
R_{Se}					0,04	
$d = 37,000$					$G = 287,0$	$R_T = 3,26$



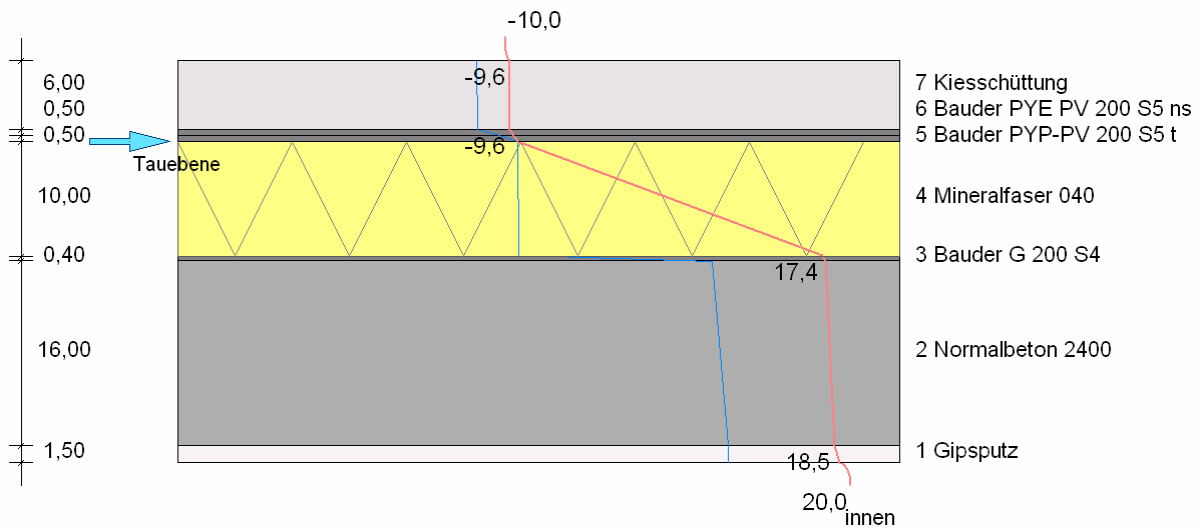
Flachdach A2

Querschnitt

Bauteiltyp "Decke gegen die Außenluft"

mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,10$ und $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

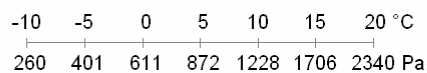
von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R_{si}					0,10
01 Gipsputz	1,500	1200	18,0	0,350	0,043
02 Normalbeton 2400	16,000	2400	384,0	2,100	0,076
03 Bauder G 200 S4	0,400	1350	5,4	0,170	0,024
04 Mineralfaser 040	10,000	20	2,0	0,040	2,500
05 Bauder PYP-PV 200 S5 t	0,500	1150	5,8	0,170	0,029
06 Bauder PVE PV 200 S5 ns	0,500	1250	6,3	0,170	0,029
07 Kiesschüttung	6,000	1800	108,0	-	0,001
R_{se}					0,04
d = 34,900 G = 529,4 $R_T = 2,84$					



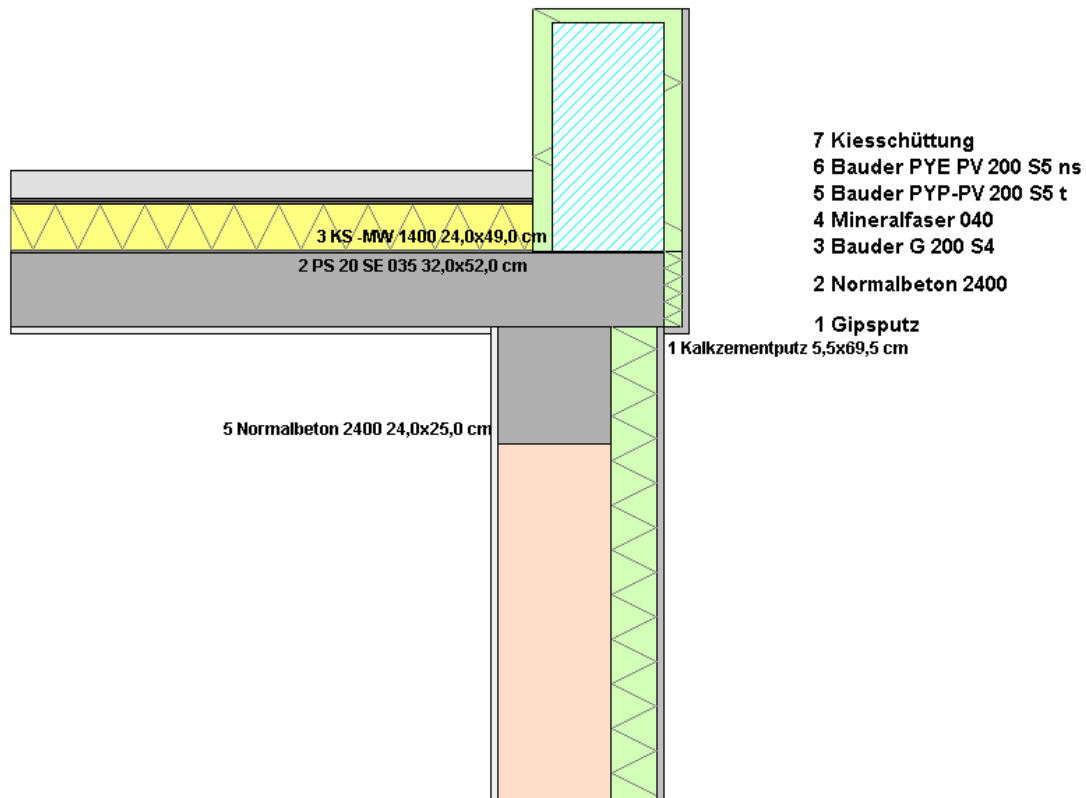
Flachdach A2

$U = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

$Wt/Wv = 9,0 / 27,3 \text{ g/m}^2$



1.1 Konstruktion Flachdachanschluss mit Attika



Konstruieren Sie nun die Attikasituation unter Verwendung der Flachdachkonstruktion A2 und der Außenwand A1 als Anschluss mit zwei Bauteilen. Ringanker (24 x 25 cm), Aufmauerung (24 x 48 cm, KS-MW 1400), 4 cm Wärmedämmung EPS 035 und Kalkzementputz wird mit Einbauteilen dargestellt.

Laden Sie die Flachdachkonstruktion „Flachdach A2“ und speichern diese unter dem Namen „Attika B4“. Wählen Sie im Wärmebrücken-Modul über das Klappmenü einen Anschluss mit 2 Bauteilen. Das Anschlussbauteil ist die „Außenwand A1“. Bevor Sie die Einbauteile entsprechend der Vorgaben wählen (siehe oben), sollten Sie die Netzabmessungen überprüfen und gegebenenfalls ein 5 x er Netz mit den Abmessungen: horizontal 140 cm, ab OK Bauteil 100 cm einstellen.

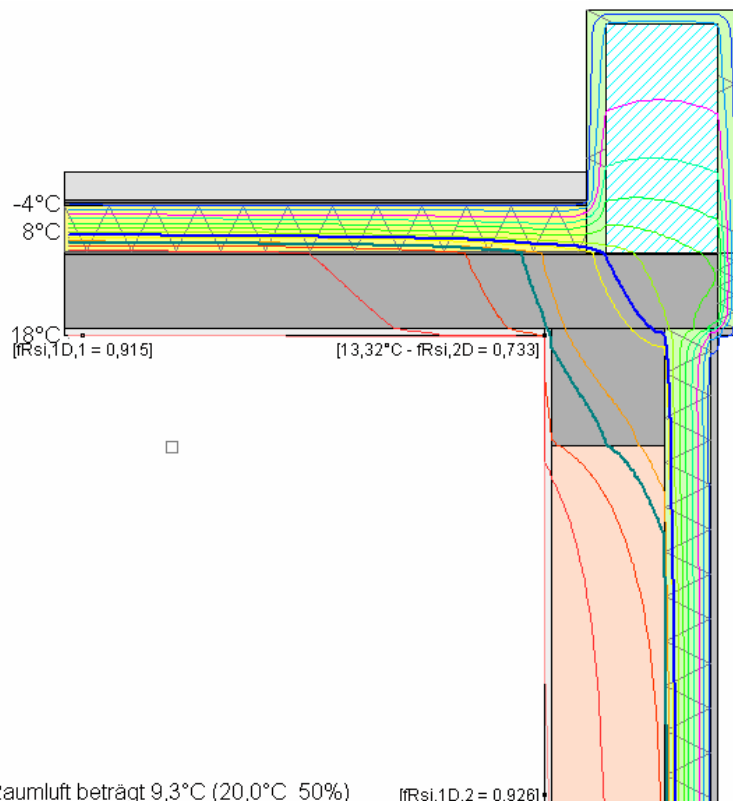
Vertiefung

Testen Sie die Funktionen „Beschriftungen“ im Fenster „Wärmebrücke konstruieren“.

Anleitung Vertiefung

Mit dieser Funktion können Sie Einbauteile beschriften und deren Ausdehnung angeben. Der Bildschalter „Beschriftungen“ befindet sich im Fenster „Wärmebrücken konstruieren“, rechter oberer Bildschalter. Um ein Einbauteil zu beschriften, muss es vor Betätigen des Schalters „Beschriftungen“ markiert sein. Hierzu das entsprechende Einbauteil mit der Maus anklicken (die Eckpunkte sind markiert) und den Bildschalter „Beschriftungen“ betätigen. Im Dialogfeld erscheinen Schalter für verschiedene Beschriftungsoptionen. Betätigen Sie den Schalter „Einbauteil“, im erscheinenden Eingabedialog werden das Material und dessen Ausdehnung vorgeschlagen. Hier können Sie durch Löschen des Vorschlages, eine andere Beschriftung / Bezeichnung wählen. Sobald das Dialogfeld geschlossen wird, erscheint eine Rückfrage bezüglich der Positionierung der Beschriftung. Sie haben verschiedene Positionen zur Auswahl, um gegebenenfalls Überschneidungen zu vermeiden. Die Beschriftung löschen Sie, indem das Feld des Eingabedialoges leer bleibt (Text entfernen). Über die Schalter „Hauptquerschnitt“, „Hauptmaßlinie“ und „Anschlussbauteil“ können weitere Legenden in ähnlicher Weise zu- und abgeschaltet werden.

1.2 Schimmelpilzuntersuchung



Die Taupunkttemperatur der Raumluft beträgt $9,3^{\circ}\text{C}$ ($20,0^{\circ}\text{C}$ 50%)
 80% relative Luftfeuchte werden bei einer Abkühlung der Raumluft auf $12,6^{\circ}\text{C}$ erreicht
 $R_{si} / R_{se} = 0,25 / 0,04 \text{ m}^2\text{KW}$ $\vartheta_i / \vartheta_e = 20,0 / -5,0^{\circ}\text{C}$

Vermeidung von Schimmelpilzbildung in Raumecken nach DIN 4108-2

2D-Betrachtung nach EN ISO 10211-2:2001

Randbedingungen für die Berechnung des Temperaturfaktors

$R_{si} = 0,25$ $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\vartheta_i = 20^{\circ}\text{C}$ $\vartheta_e = -5^{\circ}\text{C}$ $\phi_i = 50\%$ (DIN 4108-2:2003, 6.2)

Schnittkante "[$13,32^{\circ}\text{C} - f_{Rsi,2D} = 0,733$]" (sh. Isothermenberechnung)

$\vartheta_{si(x,y)} = 13,32^{\circ}\text{C}$ mit $R_{si} = 0,25$ $R_{se} = 0,04$ $\vartheta_i = 20,00^{\circ}\text{C}$ $\vartheta_e = -5,00^{\circ}\text{C}$

Temperaturfaktor

$f_{Rsi,2D} = (\vartheta_{si} - \vartheta_e) / (\vartheta_i - \vartheta_e) = 0,73 \geq 0,70$ ausreichend nach DIN 4108-2

Aufgabenstellung

Für eine Schimmelpilzuntersuchung an der Anschlusssituation Flachdachanschluss mit Attika (s. 1.1) müssen die Randbedingungen der Isothermenberechnung geändert werden. Welche Änderungen sind notwendig? Nehmen Sie die Änderungen vor und rechnen Sie neu. Bestimmen Sie den kritischen Punkt für die Schimmelpilzbetrachtung. Bringen Sie den gezeigten Nachweis „Vermeidung von Schimmelpilzbildung in Raumecken“ zur Anzeige und bewerten Sie das Ergebnis.

Anleitung Schritt für Schritt

Laden Sie den Dachrandanschluss „Attika“. Die Randbedingungen für die Schimmelpilzbetrachtung sind in DIN 4108-2:2001, 6.2 festgelegt. Hiernach ist für die Innentemperatur mit 20°C und 50% Luftfeuchtigkeit zu rechnen. Der innere Wärmeübergangswiderstand R_{si} ist mit $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ anzusetzen. Man berücksichtigt damit unter anderem, dass Möbel, Vorhänge oder geometrische Umstände die Luftzirkulation behindern. Die Außentemperatur wird mit -5°C angegeben, der äußere Wärmeübergangswiderstand mit $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Ändern Sie diese Angaben bevor Sie eine

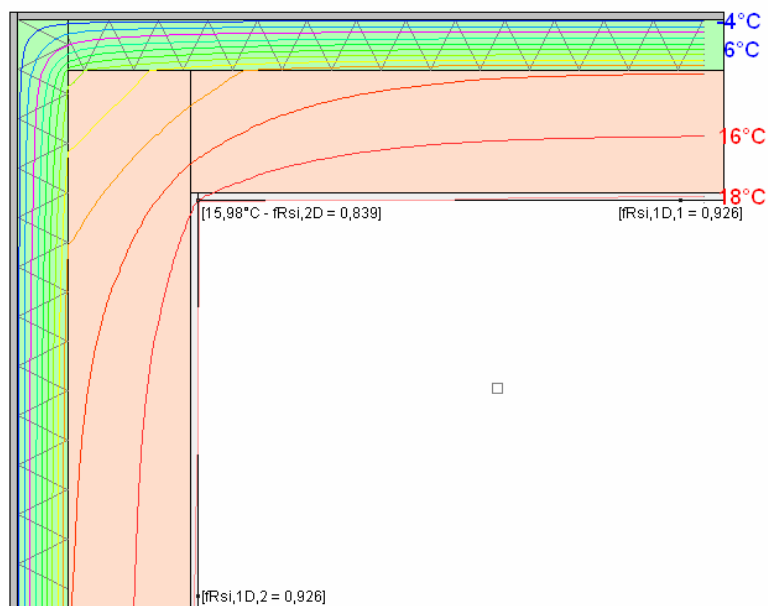
neue Berechnung durchführen (blauer Schriftzug „...mit Rsi“ „für Schimmelpilz“ im Fenster „Isothermen“). Führen Sie die Isothermenberechnung durch. Der kritische Punkt für die Schimmelpilzbetrachtung ist die Raumecke. Der Punkt muss manuell markiert werden, da er nicht zweifelsfrei maschinell bestimmt werden kann. Setzen Sie eine Markierung für den Eckpunkt mit der Maus. Die Markierung kann mit den blauen Richtungspfeilen schrittweise verschoben werden (Feinjustage). Die Markierung wird für Randknoten rot, für Außen- und Innenknoten grau dargestellt. Betätigen Sie anschließend den Schalter „fRsi“ und wählen im Dialogfenster „fRsi,2D“. Die berechnete Oberflächentemperatur des markierten Eckpunktes und die Randbedingungen werden damit gesichert. Markieren Sie außerdem (für die spätere 3D-Betrachtung) einen Oberflächenpunkt im ungestörten Deckenbereich und notieren Sie die Werte mit „fRsi – fRsi,1D“.

Ungestörte Oberflächentemperaturen sollten Sie am Netzrand vorfinden, wo die Isothermen parallel zur Bauteiloberfläche verlaufen und dem stationären Temperaturverlauf entsprechen (wenn die Netzausdehnungen groß genug gewählt wurden).

Schließen Sie das Grafikfenster und öffnen Sie das Berechnungsblatt Feuchteschutz. Über den Bildschalter „Inhalt“ markieren Sie „Schimmelpilzbildung 2D“ und schalten die übrigen Berechnungen zum Feuchteschutz ab. Die 2D-Betrachtung kann mit der zuvor markierten Ecktemperatur nachvollzogen werden.

Vertiefung

Die kritischen Bereiche sind meistens die dreidimensionalen Raumecken. Die dort auftretende Oberflächentemperatur und der f_{Rsi} -Faktor können näherungsweise nach EN ISO 10211-2 ermittelt werden. Laden Sie dazu die Außenwandkonstruktion A1, fertigen Sie eine Bauteilkopie an, erzeugen Sie eine Wandkante und berechnen Sie dafür den f_{Rsi} -Faktor. Bringen Sie dann die zweidimensional gerechnete Wandkante mit der Attikasituation rechnerisch zum Schnitt und ermitteln Sie den f_{Rsi} -Faktor für die 3D-Ecke wie unten gezeigt.



$$R_{si} / R_{se} = 0,25 / 0,04 \text{ m}^2\text{K/W} \quad \vartheta_i / \vartheta_e = 20,0 / -5,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3D-Betrachtung nach EN ISO 10211-2, Anhang B

Schnittpunkt zweidimensional berechneter, linienförmiger Wärmebrücken
2D-Schnittkante "[15,98°C - $f_{Rsi,2D} = 0,839$]" wird geschnitten
mit "Attika", Kante [13,32°C - $f_{Rsi,2D} = 0,733$]
und "Attika", Kante [13,32°C - $f_{Rsi,2D} = 0,733$]

mittlerer Temperaturfaktor der angrenzenden, homogenen Außenbauteile
informativ. Temperaturfaktoren $f_{Rsi,1D} = (R_t + R_{se}) / (R_t + R_{se} + R_{si})$ in der Umgebung der Wärmebrücke:
0,926
(Außenwanddecke), 0,916 (Attika), 0,926 (AußenwandA1)
 $f_{Rsi,1D,Mittel} = (0,926 + 0,926 + 0,916) / 3 = 0,92$

xxx

Temperatur im Schnittpunkt

Temperaturfaktor $f_{Rsi,3D} = 1 / (1 / f_{Rsi,2D,x} + 1 / f_{Rsi,2D,z} + 1 / f_{Rsi,2D,y} - 2 / f_{Rsi,1D}) = 0,57$

Die Temperatur im 3D-Schnittpunkt beträgt mindestens **9,3°C**

$f_{Rsi,3D} = 0,57 < 0,70$ nicht ausreichend

Bessere Werte werden mit einer dreidimensionalen Berechnung des Temperaturfeldes erzielt.

Wesentlichen Einfluss auf die Berechnung hat der Mittelwert der eindimensionalen Temperaturfaktoren der angrenzenden Bauteile, also der Außenwand auf zwei Seiten und von oben der Dachdecke. Markieren Sie geeignete Oberflächenpunkte $f_{Rsi,1D}$ im ungestörten Bauteilbereich (Grafik). Die Berechnung des Mittelwertes wird angegeben und muss ggf. korrigiert werden. Dabei müssen die Außenbauteile in der korrekten, flächenanteiligen Gewichtung Berücksichtigung finden.

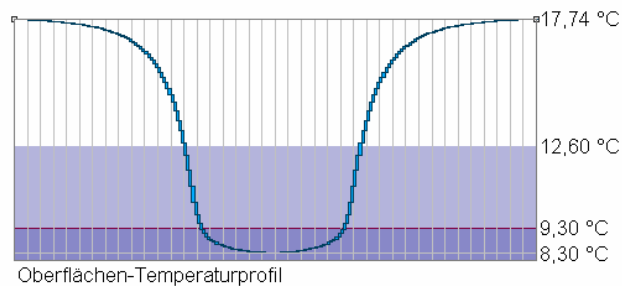
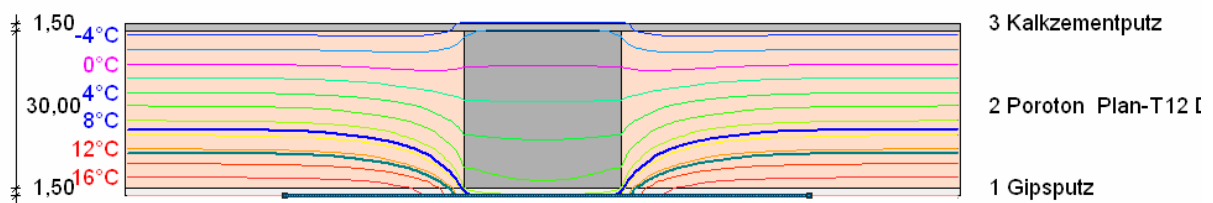
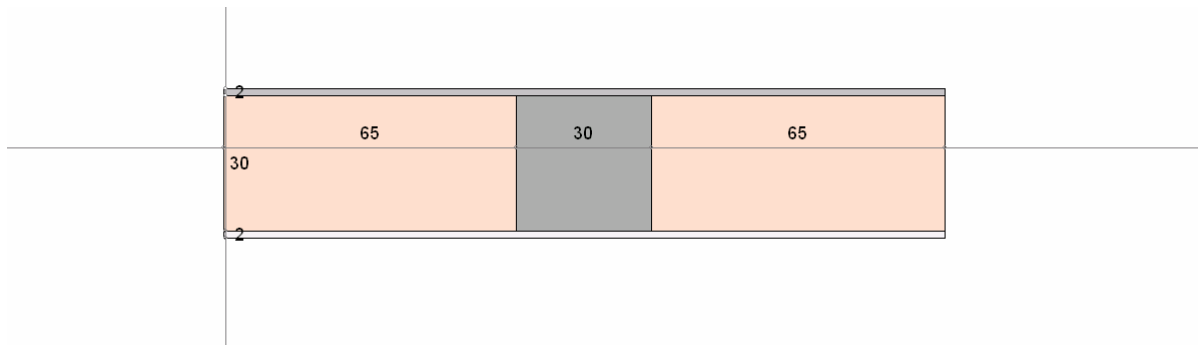
Anleitung Vertiefung

Für die Betrachtung einer 3D-Ecke wird die Wandkante konstruiert und die Ecktemperatur zweidimensional berechnet. Laden Sie dazu das Bauteil „Außenwand A1“ und wählen im Fenster „Wärmebrücke konstruieren“ „Wandkante“. Denken Sie auch hier an die Randbedingungen (siehe oben). Stellen Sie ein 5 mm Berechnungsnetz ein, Einflussbreite horizontal 100 und ab OK Bauteil 80. Berechnen Sie das Temperaturfeld. Markieren und speichern Sie die Temperaturen für die kritische Wandecke ($f_{Rsi,2D}$) und zwei Oberflächenpunkte im ungestörten Bereich ($f_{Rsi,1D}$), wie oben beschrieben.

Die beiden zweidimensional berechneten Wärmebrücken können nun räumlich geschnitten werden. Über eine Näherungsformel kann dann auf die Temperatur in der dreidimensionalen Ecke geschlossen werden. Hierzu wechseln Sie in das Berechnungsblatt Feuchteschutz, rufen das Auswahlmü „173. 3D-Raumecke“ auf und laden die zuvor berechnete Dachrandkonstruktion als zweite, linienförmige Wärmebrücke (2. Isothermenberechnung -> laden). Laut EN ISO 10211-2 werden obere Gebäudeecken aus drei linienförmigen Wärmebrücken berechnet. Die Dachkante muss also auch als 3. Isothermenberechnung (3. berechnete, linienförmige Wärmebrücke) ausgewählt werden (Auswahl 173). Der Mittelwert der Temperaturfaktoren der angrenzenden, homogenen Bauteile wird aus den markierten $f_{Rsi,1D}$ berechnet. Die Formel ist angegeben und kann ggf. korrigiert werden. Im Regelfall sind drei homogene Bauteile, im betrachteten Fall auf zwei Seiten die Außenwand und von oben die Dachdecke, zu berücksichtigen. Nur die angrenzenden *Außenbauteile* beeinflussen den 3D-Temperaturfaktor. Aus dem Kehrwert der Summe (Kehrwerte ein- und zweidimensional berechneter Temperaturfaktoren) wird nun der gesuchte dreidimensionale Faktor $f_{Rsi,3D}$ ermittelt. Er muss ebenfalls mindestens den Wert 0.7 erreichen. Die Ecktemperatur kann leicht zurückgerechnet werden.

Die Näherungsberechnung aus DIN EN ISO 10211-2 ergibt einen Wert auf der sicheren Seite. Man erhält günstigere Werte, wenn man eine reelle dreidimensionale Berechnung durchführt. Diese Option ist in DÄMMWERK wegen zu großem Speicher- und Rechenaufwand und wegen Problemen bei der Ergebnisdarstellung zurzeit nicht vorgesehen.

1.3 Konstruktion und Isothermenberechnung für eine Wand mit Betonstütze



Die Taupunkttemperatur der Raumluftr beträgt 9,3°C (20,0°C 50%)
 80% relative Luftfeuchte werden bei einer Abkühlung der Raumluftr auf 12,6°C erreicht
 $R_{si} / R_{se} = 0,25 / 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ $\vartheta_{gi} / \vartheta_{ge} = 20,0 / -5,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Außenwand A4

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	λ_R [W/mK]	R [m ² K/W]
R_{si}				0,13
01 Gipsputz	1,500	1200	0,350	0,04
02 Poroton Plan-T12 DM	30,000	650	0,120	2,50
03 Kalkzementputz	1,500	1800	0,870	0,02
R_{se}				0,04
$d = 33,000$		$G = 240,0$		$R_T = 2,73$

Aufgabenstellung

Konstruieren Sie die dargestellte Situation „Betonstütze in monolithischer Außenwand“. Geben Sie dazu zunächst eine Außenwand mit oben angegebenem Aufbau ein, mit der Bauteilbezeichnung „Außenwand A4“. Verwenden Sie ein Konstruktions- und Berechnungsnetz mit 5 mm Maschenweite und einer horizontalen Ausdehnung von 160 cm. Die Betonstütze ist 30 x 30 cm groß. Positionieren Sie die Stütze in der Mitte des Konstruktionsnetzes. Bringen Sie das Netz dazu zur Anzeige. Der Dämmstreifen (WLG 035) an der Innenseite ist 30 * 5 cm groß.

Führen Sie die Isothermenberechnung durch und stellen Sie das Oberflächen-Temperaturprofil wie gezeigt dar. Bewerten Sie das Oberflächen-Temperaturprofil.

Anleitung Schritt für Schritt

Öffnen Sie im Berechnungsblatt „Bauteil“ die Bauteilübersicht und laden Sie das Bauteil „Außenwand A4“. Speichern Sie das Bauteil unter dem Namen „Außenwand B2 mit Betonstütze“ ab. Ändern Sie die Bezeichnung im Bauteilformular.

Richten Sie das Konstruktions- und Berechnungsnetz ein, indem Sie das Grafikfenster öffnen und den Schalter „Wärmebrücke konstruieren“ anklicken. Der Bauteilquerschnitt muss für die Berechnung gedreht werden. Klicken Sie anschließend auf die blaue Schrift „xx er Netz ...“ und Stellen Sie über den Schalter „5 mm“ für die Einflussbreite 160 cm und für die Einflusshöhe ab OK Bauteil 60 cm ein. Die Eingaben werden mit „OK“ bestätigt. Mit dem Schiebebalken „Maßstab“ stellen Sie die Querschnittsbreite so ein, dass das Bauteil unter dem Konstruktions-/ Berechnungsnetz liegt.

Die Betonstütze wird als Einbauteil konstruiert, betätigen Sie dazu den Schalter „neues Einbauteil“ in der Menüwahl „2. Baustoffe“ wählen Sie „2. Beton → 2.1 Beton DIN EN 206 → Normalbeton 2400“. Nachdem Sie das neue Einbauteil Beton (30 x 30 cm) dimensioniert haben, verschieben Sie es mit der Maus in die Mitte der Querschnittsdarstellung, Ansatzpunkt ist Oberkante Gipsputz.

Führen Sie die Isothermenberechnung durch. Schließen Sie das Fenster „Wärmebrücke konstruieren“ und klicken Sie auf den Bildschalter „Isothermen“ für die Randbedingungen stellen Sie für das Schimmelpilzkriterium ein Rsi 0,25 und Außentemperatur -5°C. Die Berechnung wird über den Schalter „neu“ gestartet.

Die Grafik des Oberflächen-Temperaturprofils erzeugen Sie über den Bildschalter „Oberflächen-Temperaturprofil“ im Isothermenfenster, unten rechts, Schalter mit Kurvengrafik. Markieren Sie zunächst mit der Maus den Startpunkt für das Oberflächenprofil, einen Punkt der inneren Bauteiloberfläche links von der Stütze (Markierung muss rot sein).

Im Dialogfenster geben Sie folgende Einstellungen ein:

Länge (Abwicklung)	= 100cm
Ordinatenhöhe	= 20
Abszisse	= 10
niedrigste Temperatur	= 8
Abstand vertikale Längsmarkierung	= 5

Falls die Querschnittsgrafik vom Fenster „Isothermen berechnen“ zu sehr verdeckt wird, kann dieses verschoben werden. Klicken Sie mit der Maus an den oberen dunkelblauen Rahmen und ziehen Sie das Fenster in die gewünschte Position. Die Querschnittsgrafik und das Diagramm des Oberflächen-Temperaturprofils können ebenfalls mit der Maus entsprechend positioniert werden.

Vertiefung

Überprüfen Sie, wie sich die Oberflächentemperatur ändert wenn, wir eine Sichtbetonstütze mit Versatz konstruiert wird. Bauen Sie zusätzlich einen Mineralfaserdämmstreifen an der Innenseite ein und berechnen die Oberflächentemperatur erneut.

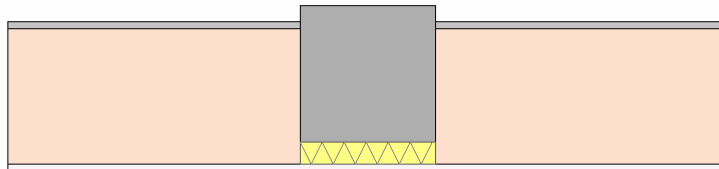
Anleitung Vertiefung

Speichern Sie das Bauteil zweimal, vergeben Sie als zweiten Namen „Außenwand B2V“.

Den Stützenversatz realisieren Sie, indem Sie die Position der Stütze über die Wippschalter „y-Position“ um 10 Netzmaschen (5 mm Netz) nach oben verschieben.

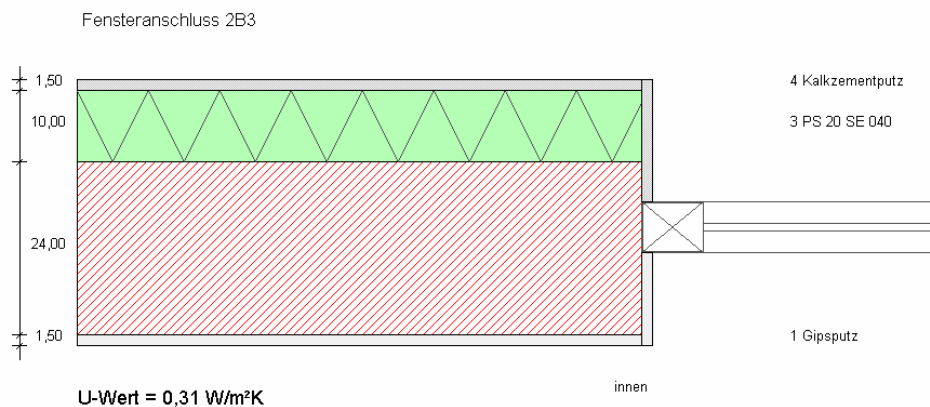
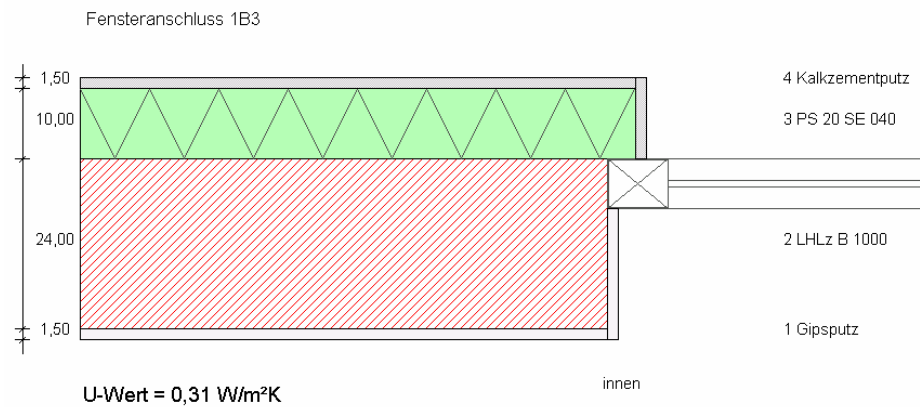
Für den eingebauten Dämmstreifen verwenden Sie einen Dämmstoff der WLG 035 (z.B. Mineralfaser), dimensionieren (30 x 5 cm) und positionieren ihn wie in der Aufgabenstellung (Grafik) gezeigt.

Führen Sie nun eine weitere Isothermenberechnung durch. Erzeugen Sie für diese Berechnung das Oberflächen-Temperaturprofil wie oben beschrieben.



2. Bauteilanschlüsse und Isothermen

2.1 Konstruktion für einen Fensteranschluss



Aufgabenstellung

Konstruieren Sie den dargestellten Fensteranschluss aus der Außenwand A1 aus Kapitel 1. Der U_w -Wert des Fensters soll $1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ betragen. Das Konstruktions- / Berechnungsnetz stellen Sie mit 5 mm Maschen und mit einer horizontalen Ausdehnung von mindestens 80 cm ein.

Fertigen Sie eine weitere Bauteilkopie an und variieren Sie die Anschlagposition des Fensters wie unten gezeigt. Die äußere Laibung ist 17 cm tief.

Berechnen Sie für beide Fälle den Isothermenverlauf.

Anleitung Schritt für Schritt

Laden Sie über die Bauteilübersicht die erstellte „Außenwand A1“ in das Bauteilberechnungsblatt. Speichern Sie das Bauteil unter dem Namen „Fensteranschluss 1B3“. Schalten Sie über Inhalt die Fensterberechnung nach EN ISO 10077 hinzu. Im Berechnungsblatt wird ein weiterer Abschnitt für Fenster angezeigt. Über das Menü „3. Verglasung“ wird eine beschichtete Isolierverglasung nach der EN ISO 10077-1 mit den Scheibenwerten 4-12-4, Kryptonfüllung und einem U-Wert des Glases von $U_g=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ gewählt. Der Fensterrahmen besteht aus Weichholz mit einer Breite von 70 mm nach EN ISO 10077-1 D.2. Anschließend wird der Tabellenwert für das zweifachverglaste Fenster mit 20 % Rahmenanteil ermittelt.

Öffnen Sie das Grafikfenster und wählen Sie die Funktion „Wärmebrücke konstruieren“, der Wandquerschnitt muss gedreht werden. Im Klappmenü treffen Sie die Einstellung „Fensteranschluss“. Für die spätere Berechnung des Wärmbrückenverlustkoeffizienten der Fensterlaibung kann der einheitliche U-Wert für das gesamte Fenster angenommen werden. Dazu wird über den Bildschalter „Paneel-Berechnungsmodell für Fenster“ ein Berechnungsmodell vorgeschlagen. Klicken Sie auf „U Wert Fenster“ und bestätigen den Wert 1,39. Das Paneelmodell wird anschließend in die etwaige Position gebracht. Über den blauen Schriftzug „xx er Netz ...“ stellen Sie das Berechnungsnetz auf eine Maschenweite von 5 mm, einer horizontalen Einflussbreite von 80 cm und einer Einflusshöhe ab Oberkante Bauteil von 60 cm ein. Lassen Sie sich das Berechnungsnetz anzeigen und betätigen Sie den Maßstabsschalter, sodass der Querschnitt vollständig überdeckt wird.

Der Laibungsputz wird durch Einbauteile konstruiert. Öffnen Sie über „neues Einbauteil“ die Menüwahl 2. Baustoffe und wählen Sie aus der Hauptgruppe „1. Putz-Estrich-Anstrich“ den jeweiligen Außen- und Innenputz. Die Abmaße für den Kalkzementputz sind mit ($b=1,5 \text{ cm}$, $h=11,5 \text{ cm}$) und für den Gipsputz ($b=1,5 \text{ cm}$, $h=18,5 \text{ cm}$) zu wählen. Der Putz wird vor der Wand positioniert, da für die spätere Psi-Wert-Berechnung Rohbaumaße angesetzt werden.

Nach Anklicken des Fenster-Paneels kann durch Betätigen des Wippschalters „Anschlag“ die Position entsprechend der Vorgabe geändert werden. Positionieren Sie alle Teile wie gezeigt.

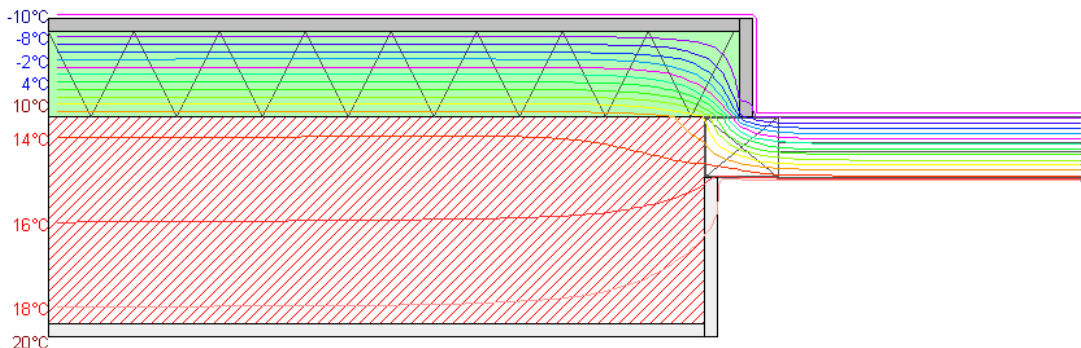
Speichern Sie die Konstruktion mit Klick auf die schwarze Diskette im Grafikfenster. Sichern Sie ein zweites Mal und vergeben Sie die Bezeichnung „Fensteranschluss 2B3“ (Kopie anlegen). Öffnen Sie das Fenster „Wärmebrücke konstruieren“ und verändern Sie die Konstruktion, wie in der unteren Abbildung gezeigt.

Um die äußere Laibung auf ein Maß von 17 cm zu bringen, ändern Sie die Höhe des Laibungsputzes auf 17 cm und positionieren anschließend die Einbauteile entsprechend.

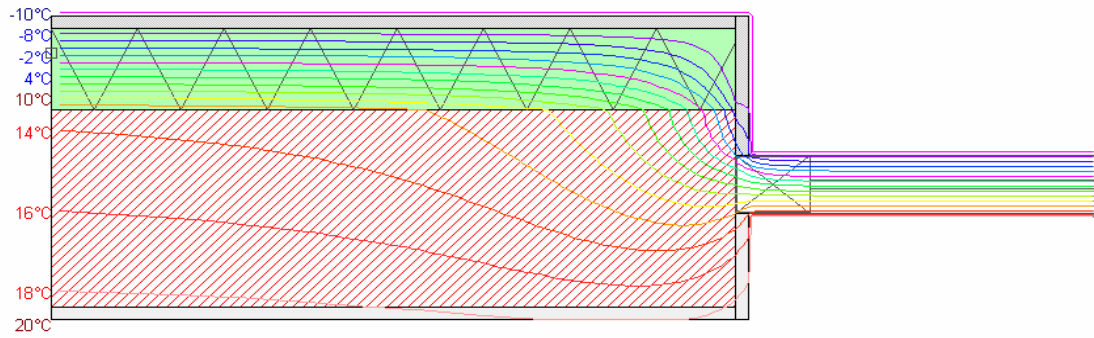
Öffnen Sie das Fenster „Isothermen berechnen“ und führen Sie die Isothermenberechnung (Schalter „neu“) durch.

Im zweiten Fall ist eine Wärmebrücke zwischen Fensterrahmen und Wärmedämmverbundsystem zu beobachten. An dieser Stelle klafft eine thermische Fuge (kurzer Weg zwischen Außenluft und Raumluft ohne Dämmschicht).

Fensteranschluss 1B3



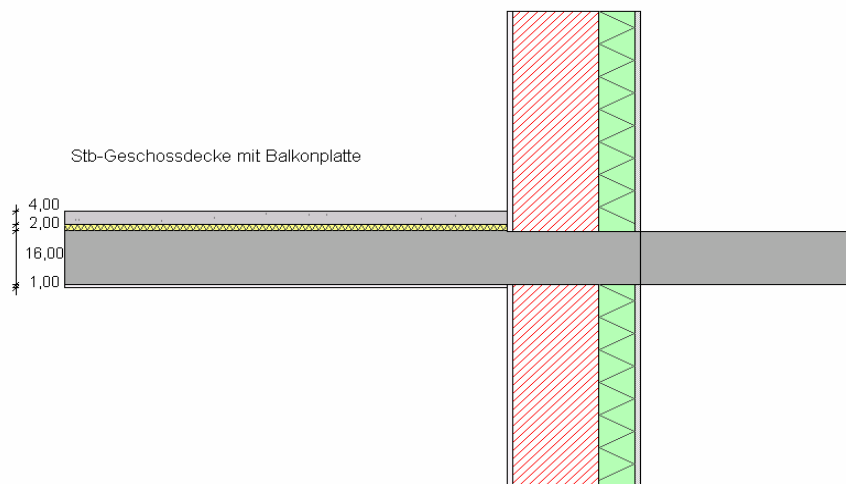
Fensteranschluss 2B3



2.2 Konstruktion Geschossdeckenanschluss mit Balkonplatte

Querschnitt

von innen	s [cm]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ²]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
R _{si}					0,10
01 Gipsputz	1,000	1200	12,0	0,350	0,03
02 Normalbeton 2400	16,000	2400	384,0	2,100	0,08
03 Floorrock SE 35-5	2,000	90	1,8	0,035	0,57
04 Zementestrich	4,000	2000	80,0	1,400	0,03
R _{se}					0,10
d = 23,000 G = 477,8 R _T = 0,90					



Aufgabenstellung

Konstruieren Sie die dargestellten Anschlüsse. Geben Sie dazu zunächst eine „Geschossdecke nach oben“ mit den Werten in der gezeigten Querschnittstabelle ein. Wählen Sie für die Geschossdecke einen Anschluss mit drei Bauteilen. Die Außenwand im unteren und oberen Stockwerk ist die Konstruktion Außenwand A1 aus Kapitel 1. Die Stahlbeton-Kragplatte wird 60 cm breit aus einem Einbauteil gebildet. Wie breit dürfte die Kragplatte maximal sein? Wo liegen die Grenzen des Konstruktionsnetzes, dessen Ausdehnung 140 cm horizontal und 80 cm ab OK Bauteil (10 mm Maschen) sein soll?

Anleitung Schritt für Schritt

Im Berechnungsblatt „Bauteil“ betätigen Sie den Bildschalter „neu“. Wählen Sie im folgenden Dialog „Decke nach oben“ als Bezeichnung „Stb-Geschossdecke B4“. Geben Sie die Baustoffe, wie in der Querschnittstabelle angegeben ein. Speichern Sie anschließend das Bauteil zweimal, als zweiter Name wird „Stb-Geschossdecke mit Balkonplatte“ vergeben.

Klicken Sie auf die Grafik, um an den Schalter „Wärmebrücke konstruieren“ zu gelangen (oder Bildschalter „Grafikfenster öffnen“). Stellen Sie im Klappenmenü „Anschluss mit 3 Bauteilen“ ein.

An der rechten Seite der Grafik ist jetzt eine vertikale rote Linie zu sehen, die Sie auf die noch fehlenden Anschlussbauteile aufmerksam machen soll. Unter dem Klappenmenü sind zwei zusätzliche blaue Schriftzüge „Anschlussbauteil“ erschienen, über die Sie die entsprechenden Bauteile zuordnen. In dieser Aufgabe wählen Sie die „Außenwand A1“ als jeweiliges Anschlussbauteil. Alternativ können Sie beliebige, andere Bauteile, auch aus anderen Projekten oder der Bauteildatenbank wählen.

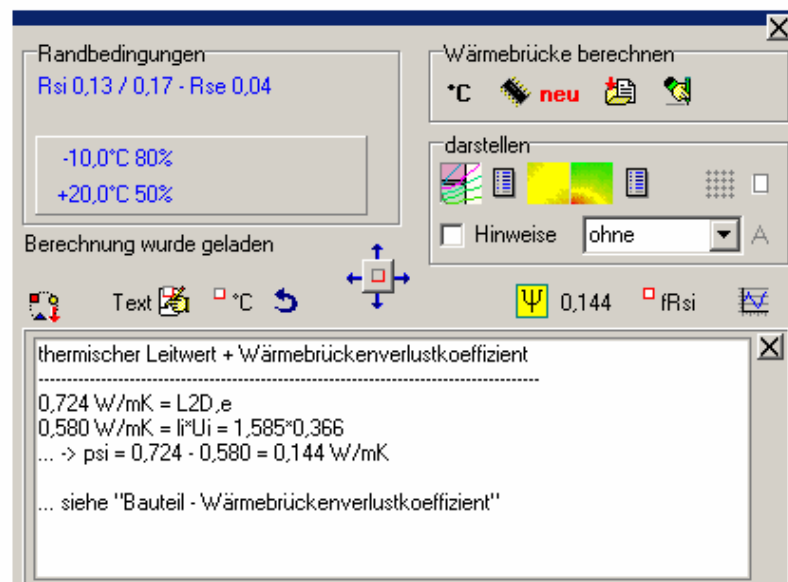
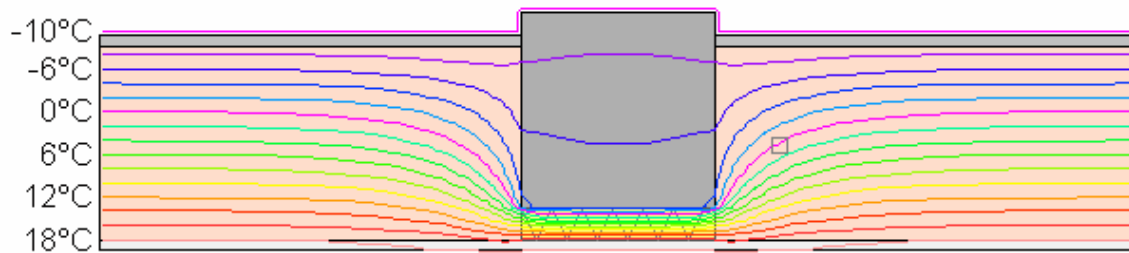
Die Netzausdehnung wird über den Netzschalter eingestellt. 10er Netzmasche, horizontal 140 cm, ab OK-Bauteil 80 cm. Beenden Sie den Dialog.

Stellen Sie die Größe der Grafik mit dem Schiebebalken „Maßstab“ geeignet ein.

Verändern Sie die vertikale Lage der Wände so, wie sich die Situation im eingebauten Zustand darstellt, durch ziehen mit der Maus oder betätigen der Wippschalter neben dem Schriftzug „Anschlussbauteil“.

Für die Kragplatte wählen Sie ein „neues Einbauteil“ aus Normalbeton 2400. Erzeugen Sie die abgebildete Situation. Für auskragende Bauteile stehen maximal 80 Netzknoten zur Verfügung, d.h. bei 10 mm-Maschen maximal 80 cm. Längere Auskragungen würden die Außenumgebung teilen und zu falschen Isothermen führen. Die Außenluft muss die Kragplatte (allgemein Einbauteile) umspülen können.

2.3. Berechnung von Wärmebrückenverlustkoeffizienten



Aufgabenstellung

Berechnen Sie für die in Kapitel 1.3 verwendete Außenwand mit Beton-Stütze den Wärmebrückenverlustkoeffizienten. Ändern Sie die Maschenweite des Konstruktionsnetzes von 5 auf 10mm und rechnen Sie erneut. Sie sollten in der ersten Berechnung einen psi-Wert von 0,144 W/mK, mit 10 mm – Maschenweite einen Wert von 0,164 W/mK ermitteln.

Betrachten Sie die Notierung des psi-Wertes im Berechnungsblatt Bauteil. Welchen Differenzwert stellt der psi-Wert dar? Spielt es eine Rolle, mit welcher Außentemperatur gerechnet wird? Ändern Sie die Außenlufttemperatur auf - 5°C / 80% und rechnen Sie erneut.

Vertiefung

Berechnen Sie die psi-Werte der Flachdachkonstruktion A2 und der Konstruktion Flachdachanschluss mit Attika aus Kapitel 1. Sie sollten etwa die folgenden Ergebnisse erhalten:

Fenster mit Anschlag	$\psi = - 0,01$
Fenster stumpf angeschlagen	$\psi = 0,15$
Anschluss Decke-Außenwand mit Kragplatte	$\psi = 0,40$
Attikasituation	$\psi = 0,22$

Fensterlaibungen und Stürze sind wegen großer Längen und positiver psi-Werte die wichtigsten Wärmebrücken im Gebäude.

Anleitung Schritt für Schritt

Laden Sie das erzeugte Bauteil „Außenwand B2 mit Betonstütze“. Ändern Sie die Putzstärke auf 2 cm. Überprüfen Sie das Berechnungs- / Konstruktionsnetz. Geben Sie für die Netzmaschenweite 10 mm, für die Einflussbreite horizontal 160 cm und vertikal 30 cm an. Unter Umständen müssen Sie die Einbauteile anders positionieren. Beenden Sie den Dialog. Wechseln Sie von „Wärmebrücke konstruieren“ in das Isothermen-Modul. Überprüfen Sie die Einstellungen (R_{si} , Temperaturrandbedingungen etc.) und ändern Sie diese gegebenenfalls, wie in der Aufgabenstellung abgebildet. Starten Sie die Berechnung mittels rotem Bildschalter „neu“ (Iteration starten / fortsetzen). Wählen Sie im Dialogfeld den Schalter „beschleunigte Iteration“. Wenn die Berechnung beendet ist, speichern Sie den aktuellen Temperaturzustand. Betätigen Sie den Bildschalter „ ψ psi“ (Wärmebrückenverlustkoeffizient). Im folgenden Dialogfenster können Sie den Berechnungsgang über verschiedene Möglichkeiten beeinflussen. Betätigen Sie den Schalter „L2D,e“ (außenbezogen). In der Bauteilgrafik wird jetzt die gerechnete Länge durch rote Punkte dargestellt. Im Informationsfenster wird das Ergebnis der Berechnung angezeigt.

Die genaue Berechnung lässt sich im Bauteilformular nachvollziehen, wenn mittels Bildschalter „Inhalt“ der Wärmebrückenverlustkoeffizient aktiviert ist.

Für die Berechnung mit 5 mm-Maschen fertigen Sie eine Bauteilkopie an (speichern unter neuem Namen Außenwand B2a) und ändern das Berechnungsnetz im Fenster „Wärmebrücke“.

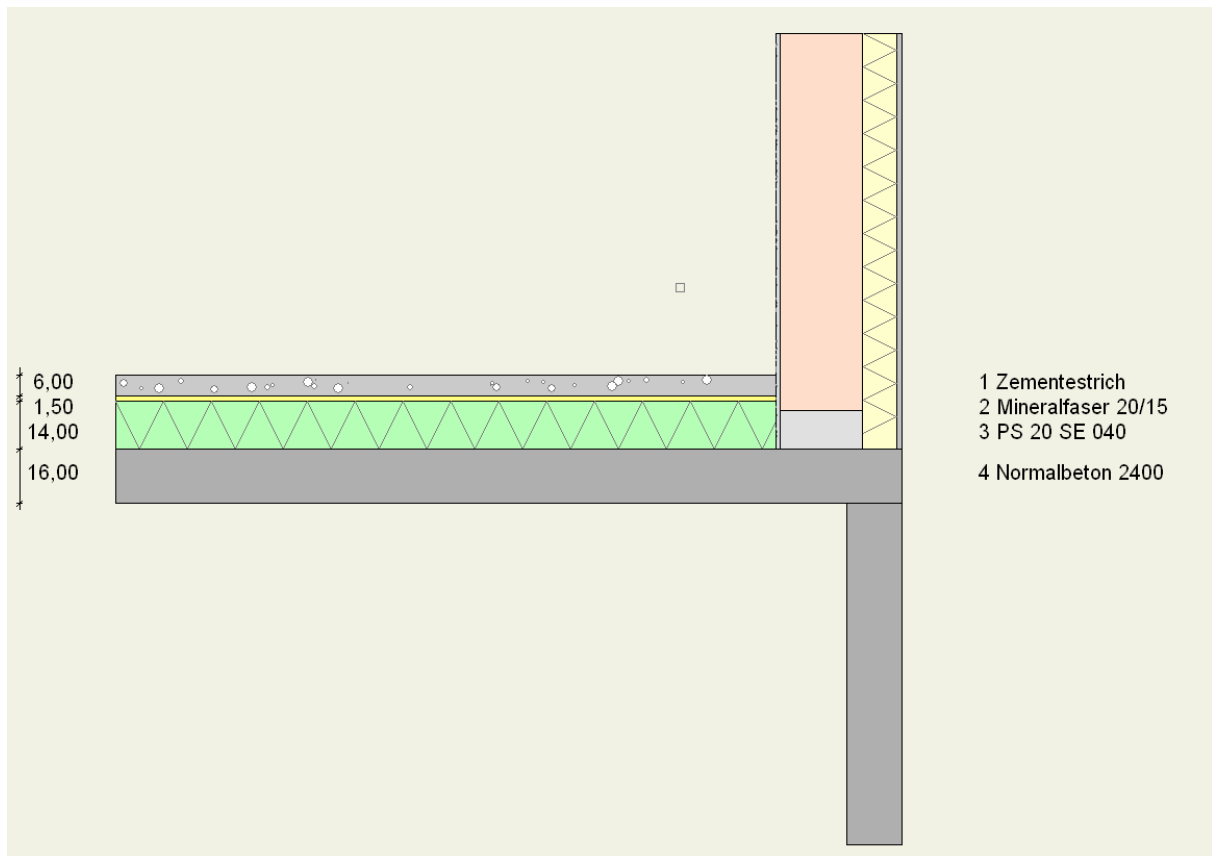
Ob eine Berechnung mit 5 mm Maschen notwendig ist, lässt sich anhand des psi-Wertes nicht erkennen. An den psi-Wert werden bisher keine Genauigkeitsanforderungen gestellt. Allerdings verlangt die EN ISO 10211-1, dass eine genauere Berechnung durchgeführt wird, wenn sich dadurch die kritische Oberflächentemperatur wesentlich ändert. Das EN-Kriterium bedeutet etwa, dass man an der kritischen Stelle einen Temperaturunterschied von mehr als 0.1 °K berechnet. Die kritische Temperatur befindet sich unter der Stütze an der inneren Bauteiloberfläche. Sie lässt sich mit der Beschriftung „Tmin / Tmax“ anzeigen. Mit 10 mm-Maschen berechnet man 17.07 °C und mit 5 mm Maschen 17,06 °C. Dieser Unterschied ist kleiner als 0.1 K, die genauere und länger dauernde Berechnung mit 5 mm-Maschen also nicht gefordert.

Anleitung Vertiefung

Laden Sie über die „Bauteilübersicht“ die Bauteile „Fensteranschluss 1B3“, „Fensteranschluss 2B3“, „Geschossdecke mit Balkonplatte“ und „Flachdach A2“, führen Sie die Isothermen- und psi-Wert-Berechnungen durch.

Der psi-Wert stellt die Differenz zwischen L2D-Wert und „ $U_i \cdot l_i$ “ dar. Der 2D-Leitwert in [W/mK] wird nach der Isothermenberechnung aus der äußeren Oberflächentemperatur zurückgerechnet. U_i sind die U-Werte der beteiligten Bauteile mit der jeweils berücksichtigten Länge. Die Temperaturrandbedingungen haben keinen Einfluss auf den psi-Wert. Der psi-Wert einer Wandkante des unteren Gebäudeabschlusses ist ebenso groß, wie der psi-Wert einer oben liegenden Wandkante, wenn die Konstruktion dieselbe ist. Der Wärmeverlust nach unten ist aber wegen der geringeren Temperaturdifferenz kleiner.

2.4 Übungsbeispiel psi-Wert für einen Kellerdeckenanschluss



Laden Sie aus dem Verzeichnis „Beispiele Wärmebrücken“ (Bildschalter links von „Wärmebrücken“) den Querschnitt „Kellerdecke1“. Rufen Sie im Wärmebrücke berechnen Fenster die Beschriftungsfunktion „Text“ auf, löschen sie alle vorhandenen Beschriftungen durch die Eingabe „del“. Betrachten Sie sich im Bearbeitungsfenster „Wärmebrücke konstruieren“ das Berechnungsmodell und die verwendeten Einbauteile. Zurück im Fenster „Wärmebrücken berechnen“ stellen sie die Randbedingungen pauschal für „psi-Wert“ ein (Übergangswiderstände und Temperaturen). Die Kellertemperatur ist mit 5°C niedrig angesetzt (EN ISO 10211 +10°C), bei ungedämmter Keller-Außenwand ohne Erdanschüttung aber realistisch, über die Formel $li \cdot Ui$ editierbar.

Berechnen Sie die Wärmebrücke. Wählen Sie anschließend „psi“ Wärmebrückenverlustkoeffizient und berechnen Sie „L2D,i“. Der Leitwert kann nur an der inneren Bauteiloberfläche abgenommen werden, weil außen mehrere Bereiche mit wärmeleitenden Oberflächen (Keller, Außenluft) vorhanden sind. Das Berechnungsergebnis wird in einem Informationsfenster angezeigt:

thermischer Leitwert + Wärmebrückenverlustkoeffizient

$$0,611 \text{ W/mK} = L2D,i$$

$$0,553 \text{ W/mK} = li \cdot Ui = 1,495 \cdot 0,237 \cdot 0,5 + 1,210 \cdot 0,311$$

$$\dots \rightarrow \text{psi} = 0,611 - 0,553 = 0,057 \text{ W/mK}$$

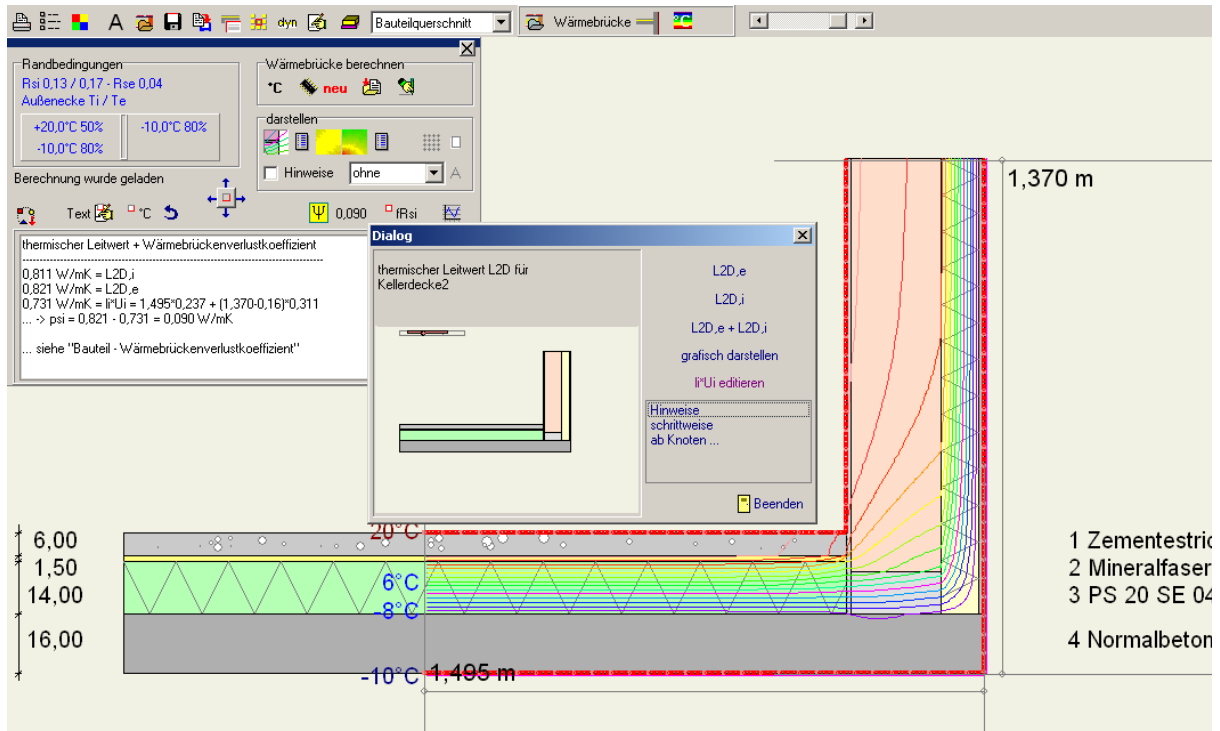
Verwenden Sie bitte "L2D,i" und $T(\text{Keller}) = (T_i + T_e) / 2$
reduzieren Sie "li*Ui" zu unbeheizten Räumen
... siehe "Bauteil - Wärmebrückenverlustkoeffizient"

Der Term „li*Ui“ muss korrigiert werden (in diesem Fall bereits automatisch erfolgt), das „li*Ui“ zum Keller mit dem Faktor $(T_{\text{innen}} - T_{\text{Keller}}) / (T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}}) = (20 - 5) / (20 - (-10)) = 0.5$ multipliziert werden. Derselbe Faktor (Fx-Faktor, Kopplungsfaktor) wäre auch in der EnEV-Berechnung für die Kellerdecke anzunehmen (psi-Wert = Differenz zwischen örtlich abgenommenem Leitwert und stationär berechnetem Leitwert).

Der berechnete psi-Wert 0.057 kann ohne weitere Korrekturen in die EnEV-Berechnung übernommen werden.

Gegenrechnung

Zur Überprüfung wird das Berechnungsmodell modifiziert. Speichern Sie dazu die Berechnung und fertigen Sie eine Bauteilkopie an (speichern unter neuem Namen oder als Kopie erneut laden). Wählen Sie im Einrichtungsfenster „Wärmebrücke konstruieren“ das Berechnungsmodell „Anschluss mit 2 Bauteilen“, die Keller-Außenwand wird nicht mehr angezeigt. Wechseln Sie in das Fenster „Wärmebrücke berechnen“. Stellen Sie die Randbedingungen „für psi-Wert“ ein, berechnen sie die Wärmebrücke und anschließend über „psi“ die Leitwerte „L2D,e“ und „L2D,i“ an der äußeren und inneren Bauteiloberfläche.



Im Gegensatz zur ersten Berechnung wird die vertikale Länge bis zur Unterkante der Kellerdecke gerechnet (= Standard für Gebäudekanten mit zwei Bauteilen). Zum Abgleich mit der ersten Berechnung (Gebäudeaußenabmessungen bis OK Rohdecke, siehe auch Festlegungen in DIN V 18599-1), wird der Therm „li*Ui“ korrigiert, nämlich die 16 cm Betondecke von der Länge 1,37 m abgezogen. Sie können die Korrektur direkt im Dialog „psi-Wert berechnen“ vornehmen:

thermischer Leitwert + Wärmebrückenverlustkoeffizient

 0,811 W/mK = L2D,i
 0,821 W/mK = L2D,e
 0,731 W/mK = li*Ui = 1,495*0,237 + (1,370-0,16)*0,311
 ... -> psi = 0,821 - 0,731 = 0,090 W/mK

... siehe "Bauteil - Wärmebrückenverlustkoeffizient"

Man erhält psi-Wert = 0.09, einen rein konstruktionsabhängigen Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Außenkante, gerechnet bis OK Rohdecke ohne Einfluss des Kellers. In DIN 4108-6:2003, Gl. 34 ist der Transmissionswärmeverlust an nicht oder niedrig beheizte Räume über i flächige Bauteile und j lineare Wärmebrücken wie folgt definiert: $H_u = b * (\sum A_i * U_i) + \sum (l_j * \psi_{ij})$

„b“ ist in dieser Beziehung der Kopplungsfaktor zum Keller, siehe vorangegangene Berechnung. Weil die betrachtete Wärmebrücke direkt im Grenzbereich zwischen Keller und Außenluft angeordnet ist, müsste der b-Wert oder Kopplungsfaktor zwischen den Werten 0.50 (zum Keller) und 1.00 (zur Außenluft) angesiedelt sein. In einer Rückrechnung psi-Wert(Berechnungsmodell 1) / psi-Wert(Berechnungsmodell 2) erhält man – durchaus realistisch 0.057 / 0.90 = 0.633 = b-Wert.

Wenn Sie diesen Wert 0,633 in der Spalte b-Wert für die gesonderte Berechnung von Wärmebrücken eintragen erhalten Sie denselben Endwert.

KERN ingenieurkonzepte
Software für Architekten und Ingenieure

Hagelberger Straße 17
10965 Berlin
Fon 030-78956780
Fax 030- 78956781

Internet www.Bauphysik-Software.de
eMail info@Bauphysik-Software.de