

3D-Wärmedurchgangsberechnung von Kragplattenanschlüssen

Dr.-Ing. Jörg Reymendt, Ingenieurbüro ISG, Darmstadt

3D-Wärmedurchgangsberechnung von Kragplattenanschlüssen

Dr.-Ing. Jörg Reymendt
 ISG Gesellschaft für Ingenieurbau und Systementwicklung mbH,
 Alsfelder Str. 11, D-64289 Darmstadt

Zusammenfassung

Bei der Herstellung von Bauteilen, die aufgrund ihrer Konstruktion zu einer Wärmebrücke führen können (z.B. Balkonplatten, Attikas, Brüstungen usw.), kommen in der Praxis vorgefertigte Bewehrungskörbe mit integrierter Wärmeisolation und durchgehenden Bewehrungsstäben zum Einsatz.

Im Rahmen der Neuentwicklung eines Kragplattenanschlusses konnte durch Vergleichsrechnungen mit dem 3D-Wärmeberechnungsprogramm TRISCO aus Belgien die Effizienz des Systems rechnerisch ermittelt werden.

Bei den Berechnungen wurden unterschiedliche Systeme bei Variation verschiedener Parameter abgebildet. Ein Vergleich zwischen einem durchgängigen Anschluß aus Stahlbeton und dem Einsatz des Kragplattenanschlusses mit Wärmedämmung der Firma EGCO zeigt die Notwendigkeit einer Isolation zur Vermeidung von Bauschäden durch Tauwasserbildung und Feuchtigkeit.

1 Problematik von Wärmebrücken

Bei der Planung von Gebäuden treten an den unterschiedlichsten Stellen Wärmebrücken auf (1-3). Als Wärmebrücke wird der Bereich der Außenhaut des Gebäudes definiert, bei dem bei niedrigen Außentemperaturen lokal ein höherer Wärmeverlust als im Vergleich zu den angrenzenden Bauteilen vorhanden ist. Grundsätzlich werden zwei Arten von Wärmebrücken unterschieden:

- geometrische Wärmebrücken
- materialbedingte Wärmebrücken

Geometrische Wärmebrücken entstehen z.B. in Gebäudeecken, in Außenwänden mit angrenzenden Trennwänden oder in Fensteröffnungen. Die größere Außenfläche wird in diesen Bereichen durch die Außenluft mehr abgekühlt, als die kleinere Innenfläche an Oberflächentemperatur im Vergleich zur ungestörten Wandfläche gegenüberstellen kann.

Materialbedingte Wärmebrücken sind z.B. in Mauerwerkswänden mit integrierten Stahlbetonstützen vorhanden. Durch die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks und des Betons ist an den Stützen ein größerer Wärmeverlust vorhanden, der z.B. mit geeigneter Isolation dem Wärmeverlust des Mauerwerks angepaßt werden muß.

Typische Wärmebrücken sind auskragende Bauteile wie z.B. Balkone oder Attikas, die -ähnlich eines Kühlrippen-effektes - die nach innen angrenzenden Bauteile im Vergleich zur ungestörten Wand deutlich abkühlen. Bei entsprechend niedrigen Oberflächentemperaturen an der Innenseite sowie hoher Luftfeuchtigkeit im Raum kann an diesen Stellen die Taupunkttemperatur unterschritten werden und es entsteht Kondenswasser an der Wandinnenseite. Die Folgeschäden sind Feuchtigkeit und Schimmelpilzbildung in den kritischen Bereichen. Durch den gezielten Einsatz einer Wärmeisolation kann die thermische Trennung der Bauteile und somit eine Vermeidung der Tauwasserbildung erreicht werden. (Abb. 1 und 2).

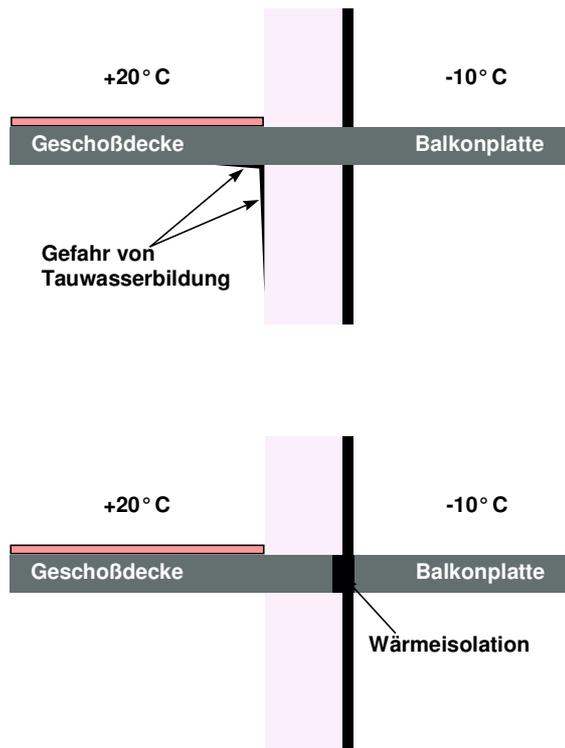


Abb. 1: Aus der Geschoßdecke auskragende Balkonplatte a) aus Stahlbeton ohne Wärmeisolation b) mit zweckmäßiger Wärmeisolation

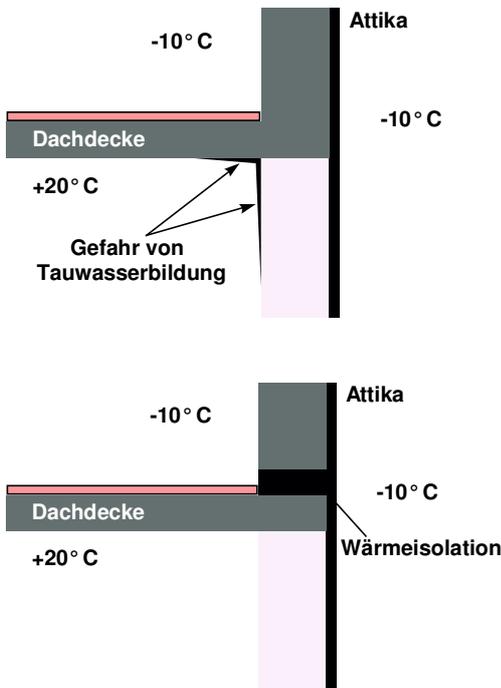


Abb. 2: Attikagesims a) ohne Wärmeisolation b) mit zweckmäßiger Wärmeisolation

2 Bewehrungssysteme für Wärmebrücken

Im Bereich der in Abb. 1 und 2 dargestellten Wärmeisolationen ist bei auskragenden Balkonen eine durchlaufende Anschlußbewehrung zur Aufnahme des Kragmomentes und der Querkräfte erforderlich. Aufgrund der Korrosionsgefahr der Bewehrungsstäbe wird dieser dem Außenklima angrenzende Bereich in der Praxis durch eine Edelstahlbewehrung ausgeführt. Die Anschlüsse werden dann in Form von kompletten Isolationskörben als fertig montiertes Bewehrungselement geliefert und an den kritischen Stellen eingebaut.

In Deutschland existieren zur Zeit zwei sich grundsätzlich von der Edelstahlbewehrung unterscheidende Systeme, die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erlangt haben (Abb. 3):

- a) der Bewehrungsstab mit eingeschweißtem Edelstahlstab,
- b) der durchlaufende Bewehrungsstab mit einem Edelstahlmantel.

Der Vorteil des Systems b) liegt in der höheren zulässigen Stahlspannung des Betonstahls im Vergleich zu der des Edelstahls. Da im Gegensatz zur Betonstahlbewehrung der Edelstahl einen geringeren Wärmedurchgangskoeffizienten λ besitzt, wurden die folgenden Wärmedurchgangsberechnungen am System b) durchgeführt, um eine Aussage über die Wirkung des Anschlusses hinsichtlich der Wärmeisolation zu erlangen.

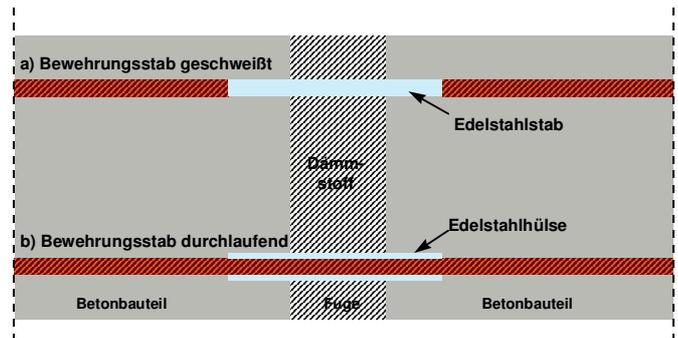


Abb. 3: Bewehrungsstab a) mit eingeschweißtem Edelstahlstab und b) durchlaufend mit Edelstahlhülse

3 Berechnungsprogramm TRISCO

Zunächst wurde versucht, das vorliegende Wärmedurchgangsproblem durch eine einfache ebene Abbildung zu berechnen. Die Bewehrung bildet hierbei den Bereich des größten Wärmetransports in der Dämmstoffuge. Da die Bewehrungsstäbe z.T. mit einem horizontalen Abstand von 20 cm angeordnet sind, war eine lokale Erhöhung der Temperaturen radial um den Bewehrungsstab zu erwarten. Auch die thermische Abschirmung des durchlaufenden Bewehrungsstabs im Bereich der Bauteilfuge durch die mit Epoxidharz vergossene Edelstahlhülse konnte durch eine ebene Abbildung nicht realitätsnah berechnet werden. Aus diesen Gründen wurde das System mittels einer 3-dimensionalen Modellierung abgebildet.

Als Programmsystem zur Berechnung von Wärmedurchgangsproblemen wurde das Belgische System TRISCO der Firma Physibel ausgewählt. Das Programm entstand im Rahmen einer Forschungsarbeit in den Niederlanden [6] und wird vom Programmautor neben einer Vielzahl von unterschiedlichen Programmlösungen für Temperaturprobleme vermarktet. Die Wahl fiel zudem auf dieses Programmsystem, da es in den Niederlanden bei Zulassungsbehörden anerkannt wird und zum Nachweis von Kragplattenanschlüssen als Referenzprogramm herangezogen wird.

Das Programm TRISCO arbeitet auf der Basis des Energiebilanzverfahrens und ermöglicht die Berechnung von 3-dimensionaler stationärer Wärmeströmung in blockförmigen Objekten. Die Objekte werden hierzu durch rechteckig begrenzte Quader in einem zuvor definierten räumlichen Raster festgelegt. Sie erhalten einen Wärmedurchgangskoeffizienten λ und an Grenzflächen zur Luft den Wärmeübergangskoeffizienten α . Die Randbedingungen werden durch vorgegebene Luft- bzw. Raumtemperaturen definiert.

Während der Berechnung des Systems stellt das Programm ein System linearer Gleichungen auf der Basis des Energiebilanzverfahrens auf. Die Lösung des Systems bildet ein iteratives Verfahren, dessen Abbruchkriterien durch eine Objekt- und Knotendivergenz gebildet werden.

Die Temperaturdifferenz wird hierzu in jedem Iterationsschritt für jeden Knoten und für das gesamte Objekt berechnet. Die Abbruchkriterien für die Iteration werden definiert durch Erreichen

- der maximal zulässigen Iterationsschritte oder
- einer maximalen Temperaturdifferenz zwischen zwei Iterationsschritten bei gleichzeitigem Einhalten der vorgegebenen Grenzwerte der Objekt- und Knoten-divergenzen.

Hierbei wird die Objektdivergenz durch die Summe der Wärmegewinne und Verluste dividiert durch die halbe Summe der Absolutwerte aller Wärmeströme definiert:

$$\text{Objektdivergenz: } OD = \frac{|Q_{in,o} - Q_{out,o}|}{0,5(|Q_{in,o}| + |Q_{out,o}|)} \cdot 100 [\%]$$

- mit OD Objektdivergenz [%]
 $Q_{in,o}$ gesamter Wärmegewinn des Objekts [W]
 $Q_{out,o}$ gesamter Wärmeverlust des Objekts [W]

Analog dazu wird die Knotendivergenz definiert zu:

Knotendivergenz:

$$ND_n = \frac{|Q_{in,n} - Q_{out,n}|}{0,5(|Q_{in,n}| + |Q_{out,n}|)} \cdot 100 [\%]$$

- mit ND_n Knotendivergenz des Knotens n [%]
 $Q_{in,n}$ gesamter Wärmegewinn des den Knoten angrenzenden Volumens [W]
 $Q_{out,n}$ gesamter Wärmeverlust des den Knoten angrenzenden Volumens [W]

Die Programmeingabe erfolgt unterstützt durch Eingabemasken. Zur Definition der Materialkonstanten steht dem Anwender eine Bibliothek mit einer Vielzahl von gängigen Materialien zur Verfügung. Selbstverständlich lassen sich alle Werte auch frei definieren.

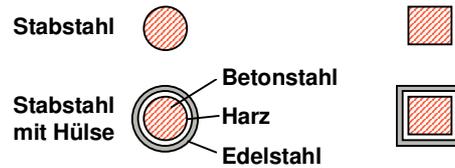
Die Programmausgabe ist gegliedert in eine Textausgabe, deren Umfang durch den Anwender eingestellt werden kann sowie in eine grafische 3D-Ausgabe der Materialien, Randbedingungen, Temperaturen und Wärmeverluste an der Oberfläche.

4 Wärmedurchgangsberechnung eines Balkons

Das in Abb. 4 dargestellte System wurde zur Wärmedurchgangsberechnung mit TRISCO abgebildet. Der Berechnung wurden hierbei die in Tabelle 1 zusammengestellten Materialkonstanten und Randbedingungen zugrundegelegt. Da bei dem Programm keine kreisrunden Querschnitte dargestellt werden können, mußten die Bewehrungsquerschnitte mit den Hülzen aus Edelstahl und Epoxidharz rechteckig abgebildet werden. Um eine Übereinstimmung des realen Systems (Kreis) mit dem rechteckigen System zu erlangen, wurden hierzu gleiche Oberflächen angenommen. Die so entstehende Querschnittsdif-

ferenz konnte durch ein Anpassen der Wärmeleitfähigkeit λ aufgehoben werden.

reales System \rightarrow rechtwinkliches Raster



$$\text{Wärmestrom } \phi = \lambda \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2) A}{l} [W]$$

- mit $(\vartheta_1 - \vartheta_2)$ Temperaturdifferenz
 A Querschnitt des Stabes
 l betrachtete Stablänge

für gleiche Wärmeströme im Kreis und Quadrat gilt:

$$\lambda_{\text{Quadrat}} \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2) A_{\text{Quadrat}}}{l} = \lambda_{\text{Kreis}} \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_2) A_{\text{Kreis}}}{l}$$

$$\Rightarrow \lambda_{\text{Quadrat}} \frac{\lambda_{\text{Kreis}} \cdot A_{\text{Quadrat}}}{A_{\text{Kreis}}} = 1,27 \cdot \lambda_{\text{Kreis}}$$

Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·k)]	
Beton	2,1
Betonstahl	60
Edelstahl	15
Kunsthartz	0,02
Isolation	0,04
Mauerwerk	0,18

Wärmeübergangskoeffizient α [w/m ² ·K]	
Außenseite	7,7
Innenseite	25

Temperaturen [°C]	
Außenseite	-10
Innenseite	+20

Tabelle 1: Materialkonstanten und Randbedingungen für die Berechnung

Abb. 5: Temperaturverlauf des Balkens an der Innenseite

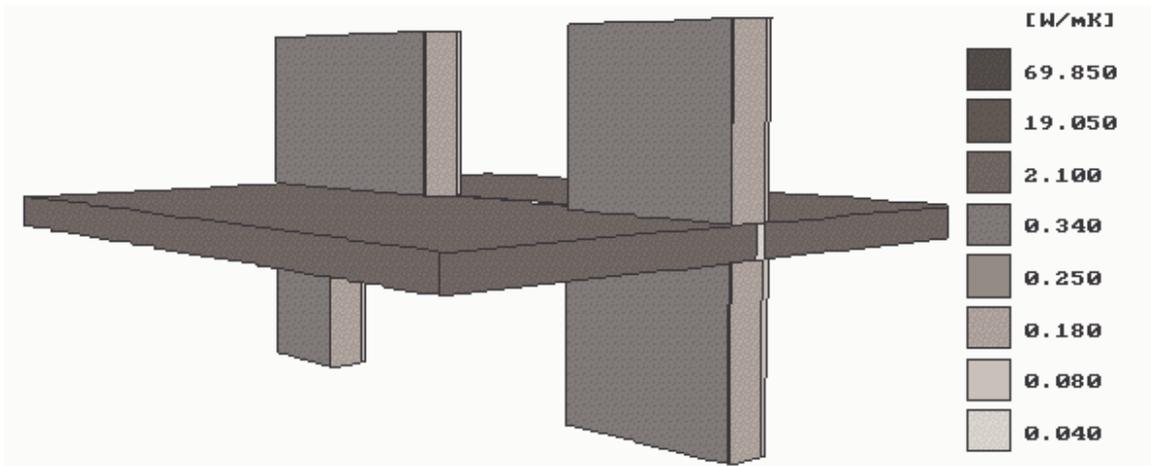
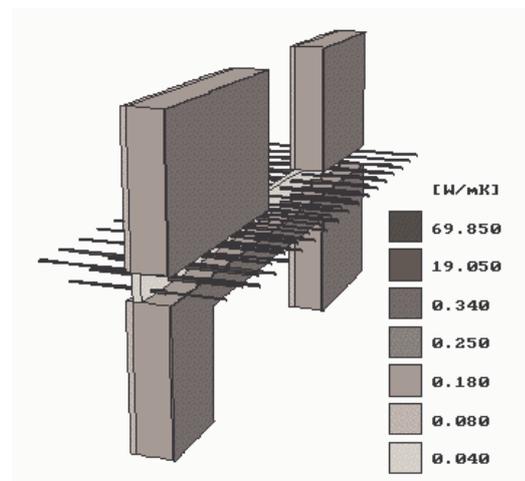
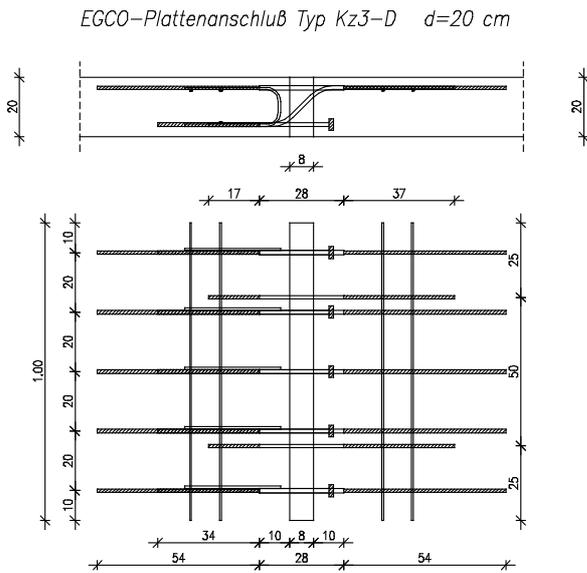


Abb. 4: Geometrie eines untersuchten Kragplattenanschlusses der Fa. EGCO mit Realisierung im betrachteten System

Das in Abb. 4 dargestellte System besteht aus ca. 20.000 Knoten, wobei die Bewehrungsstäbe sowohl mit der Edelstahlhülse, als auch der Epoxidharzverfüllung abgebildet wurden. Die Berechnung dieses Systems benötigt auf einem 233 MHz Pentium ca. 50 Min. Rechenzeit. Die Ergebnisse können anschließend durch Farbgrafiken ausgewertet werden. Abb. 5 und 6 zeigen die Temperaturverläufe sowie den vorhandenen Wärmestrom.



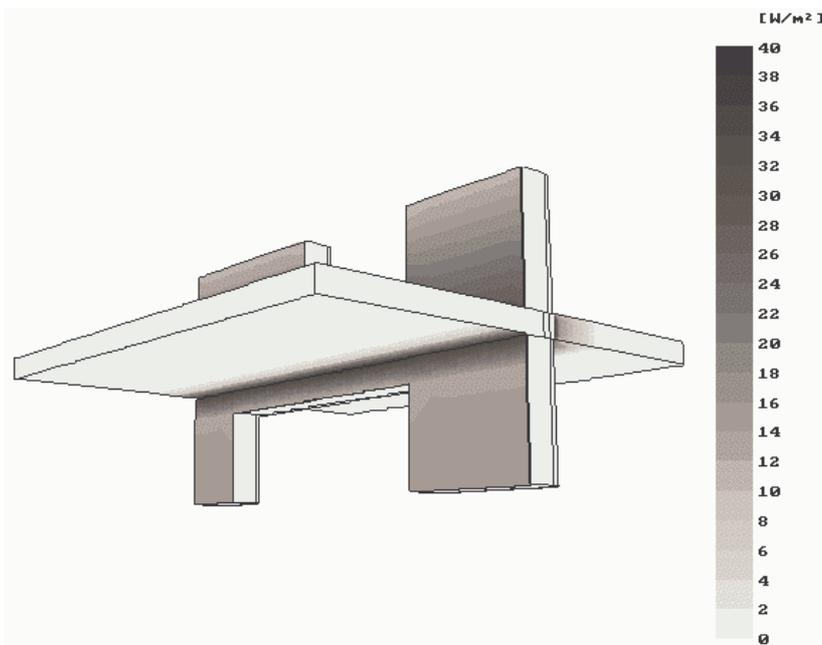


Abb. 6: Wärmestrom an den vorhandenen Außenflächen des Balkonanschlusses

5 Vergleich der Ergebnisse

Eine genauere Betrachtung der kritischen Stellen des Systems ermöglicht eine Aussage über den tatsächlichen Wärmeverlust sowie die sich einstellende Temperatur an der Oberfläche der Wandinnenseite.

Anhand der durchgeführten Vergleichsrechnungen des zuvor dargestellten Systems mit a) durchgehendem Beton und b) Isolierung mit einem Kragplattenanschluß kann die Wirkung des Systems festgestellt werden. In Abb. 7 sind die Temperaturverläufe beider Systeme im Vergleich an einem Systemchnitt dargestellt. Bei einer Außentemperatur von -10°C und einer Raumtemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$ stellt sich an der durchgehenden Betonplatte eine Oberflächentemperatur an der Innenseite der Wand von ca. 13°C ein. Im Vergleich dazu liefert das System mit dem Kragplattenanschluß eine Oberflächentemperatur von 17°C .

Betrachtet man nun diese Oberflächentemperaturen als kritische Taupunkttemperaturen, so kann die zur Kondensierung erforderliche Raumluftfeuchte gemäß DIN 4108 [1] ermittelt werden. In Abb. 8 ist der Verlauf der Taupunkttemperatur in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte im Raum sowie der Raumlufttemperatur grafisch dargestellt.

Bei einer Oberflächentemperatur von 13°C bedeutet dies, daß sich in einem 20°C warmen Raum bereits bei ca. 60 % rel. Luftfeuchte Kondensat an der Wandfläche bilden wird. Die Gefahr der Schimmelpilzbildung und Feuchteschäden sind somit vorprogrammiert. Bei dem System mit Kragplattenanschluß ist eine i.A. nicht vorhandene relative Raumluftfeuchte von ca. 90 % zur Kondensatbildung erforderlich. Die Wirkungsweise des Systems wurde somit bestätigt.

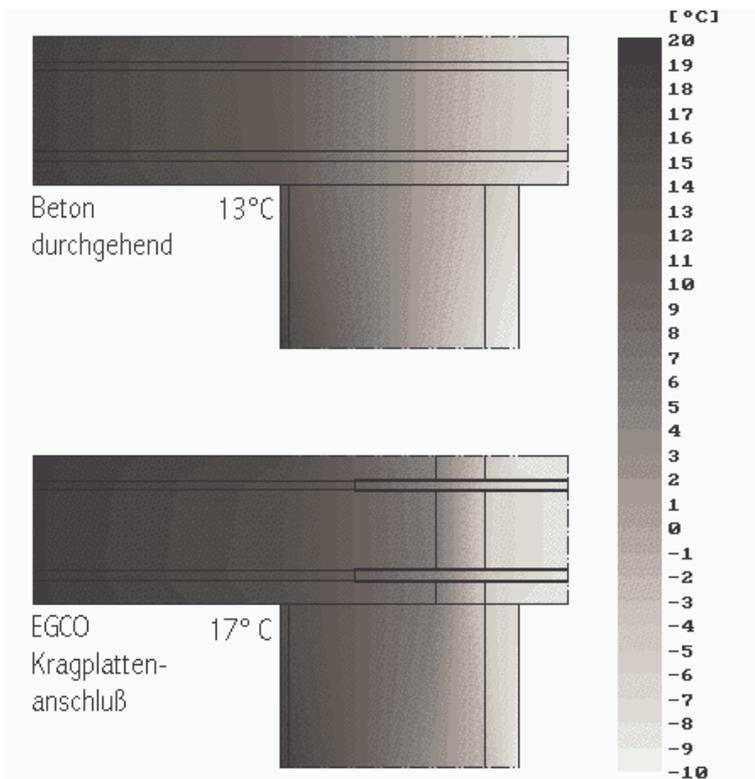


Abb. 7: Temperaturverläufe der Vergleichsberechnung
a) Beton durchgehend und
b) Kragplattenanschluß

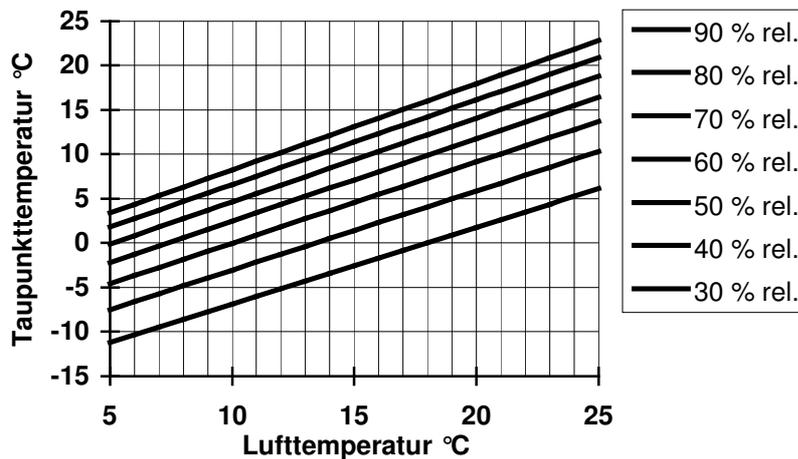


Abb. 8: Verlauf der Taupunkttemperatur in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte im Raum sowie der Raumlufttemperatur

6 Zusammenfassung

Anhand des praktischen Beispiels eines Kragplattenanschlusses konnten mit dem Programmsystem TRISCO 3-dimensionale Wärmedurchgangsberechnungen durchgeführt werden. Das System ermöglicht die Betrachtung orthogonaler Geometrien bei vorgegebenen Materialkennwerten und Randbedingungen. Durch eine Umrechnung der Wärmeleitfähigkeit vom Kreisquerschnitt auf ein Quadrat bei gleicher Oberfläche lassen sich auch Bewehrungsstäbe realitätsnah abbilden.

Mit der durchgeführten Wärmedurchgangsberechnung konnte für den erst kürzlich zugelassenen Kragplattenanschluß der Fa. EGCO der Nachweis geführt werden, daß eine kritische Temperatur, die zur Kondensatbildung an der Rauminnenseite führt, nicht erreicht wird. Ein Vergleich mit dem durchlaufenden Betonanschluß zeigt die positive Wirkung des Systems.

Literatur

- [1] lance technique; TRISCO Manual; Physibel 1997
- [2] Standaert, P.: Twee- en drie-dimensionale warmteoverdracht: numerieke methoden, experimentele studie en bouwfysische toepassingen; doctoral dissertatoin K.U.Leuven, 1984 (in Dutch) DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau
- [3] Wärmeschutzverordnung 1995
- [4] Bau-Handbuch; RWE-Energie 11. Ausgabe; Energie-Verlag GmbH Heidelberg 04/95
- [5] Dokumentation der Fa. EGCO GmbH, Haan 1998
- [6] TRISCO, computer program to calculate three-dimensional steady state heat transfer in objects described in a beam shaped grid using the energy balance technique; TRISCO Manual; Physibel 1997
- [7] Standaert, P.: Twee- en drie-dimensionale warmteoverdracht: numerieke methoden, experimentele studie en bouwfysische toepassingen; doctoral dissertatoin K.U.Leuven, 1984 (in Dutch)

