

K.0003 Heißbemessung von Stützen Teil 3

Unser Programm K.0003 hat inzwischen weitere Optimierungen erfahren. Nicht zuletzt durch eine 2-wöchige Testinstallation bei der LGA Bayern wurden weitere Anregungen und Detaillösungen aufgenommen und realisiert.

Betonstahl

Bisher wurden auch bei einem angewählten Bewehrungsbild in den 4 Querschnittsecken die Reduktionswerte für den Stahl über die mittlere Temperatur aller Eisen einer Ecke ermittelt. Dies ist jedoch nur in Temperaturbereichen exakt richtig, in denen die Reduktionsfaktoren linear abnehmen. Nunmehr werden von jedem Eisen alle reduzierten Werte wie k_s und E einzeln ermittelt und dann daraus die Mittelwerte getrennt für jeden Wert berechnet.

Abminderung Stahlfestigkeit

Im EC2 EN 1992 1-2 sind Reduktionsfaktoren nach Tabelle 3.2 für Stahl Klasse N und Klasse X angegeben. Wir hatten die Werte für Klasse X programmiert. Da nach neuesten Informationen in Deutschland für die Klasse X keine Forschungsergebnisse vorliegen, wird wahrscheinlich zukünftig in Deutschland lediglich Klasse N zugelassen werden. Wir haben uns deshalb entschlossen, jetzt schon diese Klasse zugrunde zu legen.

Grundsätzlich verwenden wir die Werte für gedrückten bzw. mit max. $\epsilon_s < 2\%$ gezogenen Stahl nach EN 1992-1-2 4.2.4.3.

Optimierte Bewehrungsbilder

Bei Fällen, in denen die Heißbemessung ein wesentlich höheres Ergebnis als die Kaltbemessung ergibt, konnte bisher bei Anwahl eines Bewehrungsbildes eine zu hohe Bewehrung ermittelt werden. Es wurde dabei zunächst für das Kaltbemessungsergebnis ein Bewehrungsbild konstruiert und mit diesem eine Heißbemessung durchgeführt. Wenn dann mit dem höheren Heißbemessungsergebnis eine Einstufung möglich und die erforderliche Bewehrung im Querschnitt unterzubringen war, wurde dieses Ergebnis gedruckt. Bei nur 4 ECKEISEN aus der Kaltbemessung erfolgte dadurch die Heißbemessung mit einer sehr hohen Stahltemperatur. In der neuen Programmfassung wird in diesem Fall das Kaltbemessungsergebnis iterativ ver-

größert, so dass automatisch mehrere Eisen im Bewehrungsbild je Ecke berücksichtigt werden. Dadurch sinkt die mittlere Stahltemperatur, die Reduktionswerte für Stahl bleiben größer und es ergibt sich in diesen Fällen insgesamt eine wirtschaftlichere Lösung in der Heißbemessung.

Betonfestigkeit

Durch weitere Tests haben wir festgestellt, dass unsere Ergebnisse grundsätzlich bei biegebeanspruchten Kragstützen und/oder bei antimetrischem Brandangriff ausgezeichnet sind.

Bei überwiegender Normalkraftbeanspruchung und hoher Auslastung können sie knapp unter den Ergebnissen von Level 3 Programmen liegen. Die Ursache hierfür liegt in der Zonenmethode selbst. Diese erlaubt grundsätzlich, bei der Bemessung die Festigkeitswerte des Bezugspunktes M zu verwenden. Es wird also die größte im Querschnitt vorhandene Festigkeit zugrundegelegt. Darüber hinaus basieren die Temperaturprofile des Anhangs A der EN 1992-1-2 auf der unteren Grenze der thermischen Leitfähigkeit nach EN 1992-1-2 3.3.3. Dies hat zur Folge, dass die äußeren Temperaturen zwar fast identisch sind, zur Mitte hin aber der Querschnitt kälter bleibt. Für die Ermittlung der Stahltemperaturen und des Querschnittsreduktionsmaßes a_z ist das Ergebnis annähernd gleich bzw. richtig.

Da die Level 3 Programme i.d.R. mit der oberen Grenze arbeiten, kommen diese Differenzen zustande.

Wir haben deshalb in der neuen Programmversion auch bei der Betonarbeitslinie entgegen der EN 1992-1-2 auf der sicheren Seite liegend die mittlere Betonfestigkeit des Querschnitts berücksichtigt und damit diesem Effekt Rechnung getragen. Der Elastizitätsmodul wird wie bisher nach EN 1992-1-2 B.3.1 (5) berechnet.

statische Systeme

In der Heißbemessung von z.B. oben und unten gehaltenen Stützen geht die Wissenschaft davon aus, dass diese im Brandfall voll eingespannt betrachtet werden können. Zusätzlich kann die Imperfektion nach Untersuchungen der TU Braunschweig in diesem Fall mit $h/1200$ an-

gesetzt werden. Auf diesen Annahmen basiert z.B. die Tabelle 31 der DIN 4104-22.

Nach EN 1992-1-2 B.3.1 (5) können die erhöhten Auflagerreaktionen an den Stützenenden berücksichtigt werden.

Damit ist z.B. der Einspanngrad einer elastisch eingespannten Kragstütze unter Brandbeanspruchung wesentlich größer als im Kaltzustand. In der neuen Programmversion werden deshalb die statischen Systeme unter Brandbeanspruchung wie folgt automatisch angepasst:

Geschossstützen

Unabhängig von der Größe eines Einspanngrades wird bei oben und unten unverschieblich gehaltenen Stützen im Brandfall immer eine volle Einspannung angenommen. Damit wird die Knicklänge automatisch auf $l_0 = l_{col} / 2$ reduziert. Wird jedoch ein Gelenk (Einspannung 0%) angesetzt, dann bleibt dieses erhalten. Damit kann z.B. eine einseitige Volleinspannung im Brandfall simuliert werden. Soll z.B. bei der Heißbemessung beidseitige Volleinspannung berücksichtigt werden, so ist an beiden Stützenenden mind. eine geringe Teileinspannung von 1% anzusetzen.

Die Imperfektion wird mit $l_{col} / 1200$ angesetzt. Dadurch ist es möglich, in der Kaltbemessung die tatsächlichen Einspannverhältnisse zu berücksichtigen und unabhängig davon bei der Heißbemessung mit voller Einspannung zu rechnen.

Verschiebliche Stützen

Bei verschieblichen Stützen wird bei der Heißbemessung eine evtl. Teileinspannung unter Berücksichtigung der Steifigkeitsunterschiede zwischen kaltem und heißem Zustand korrigiert. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass sich z.B. bei einer elastisch eingespannten Kragstütze der Einspanngrad im heißen Zustand entsprechend erhöht. Die Imperfektionen werden nach DIN 1045-1 angesetzt.

aus der Praxis

In den letzten Tagen wurde einer unserer Kunden in Sachen Heißbemessung zu Rate gezogen. Für eine große Hallenkonstruktion in Süddeutschland mit 9.30 m hohen Kragstützen $b/h = 50/50$ cm waren die Stützen von der ausführenden Fertigteelfirma nach dem Kaltbemessungsergebnis von 119 cm^2 mit je $20 \text{ } \varnothing 28$ (5 / Ecke) gefertigt worden.

Ein für die Heißbemessung hinzugezogenes Ingenieurbüro hatte danach für dreiseitigen Brandangriff und Reduzierung der Höhe auf

8.50 m mit Programmen des Mitbewerbs ein erforderliches A_s von 212 cm^2 für die Widerstandsklasse R 90 ermittelt.

Eine Berechnung mit K.0003 ergab ein wesentlich geringeres Kaltbemessungsergebnis und in der Heißbemessung rund 110 cm^2 , so dass $3 \text{ } \varnothing 28 + 2 \text{ } \varnothing 25 = 113 \text{ cm}^2$ ausreichend waren.

Eine Kontrollrechnung mit dem Programm BoFire ergab für unser Ergebnis bei den 2 maßgebenden Einwirkungskombinationen ein t_u von 89 bzw. 93 min.

Die Stützen waren damit gerettet und unser Ergebnis bestätigt.

Neureichenau, im März 2008



Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang