

DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09

**Prüfung und Validierung von
Rechenprogrammen für
Brandschutznachweise mittels allgemeiner
Rechenverfahren**

**InfoCAD Programmmodul
Tragwerksanalyse für den Brandfall**

Die Beschreibung von Programmfunktionen im Rahmen dieser Dokumentation gilt nicht als Zusicherung von Produkteigenschaften. Gewährleistungs- und Haftungsansprüche aus der Benutzung der Dokumentation sind ausgeschlossen.

InfoGraph® ist ein eingetragenes Warenzeichen der InfoGraph GmbH Aachen. Im Text genannte Hersteller und Produktbezeichnungen sind Warenzeichen der jeweiligen Inhaber.

Diese Dokumentation ist urheberrechtlich geschützt. Nachdruck, Vervielfältigung, Übersetzung und elektronische Speicherung, auch auszugsweise, sind nur nach schriftlicher Genehmigung der InfoGraph GmbH zulässig.

InfoGraph® Software nutzt Microsoft® MFC- und Intel® MKL-Bibliotheken.

© InfoGraph GmbH, Aachen, Januar 2024. Alle Rechte vorbehalten.

Validierung gemäß DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09

Auszug aus Anhang CC (NCI):

CC.3 Anwendung und Dokumentation

Vom Ersteller eines Rechenprogramms zur Durchführung von Nachweisen nach den allgemeinen Rechenverfahren sollen vor der Anwendung des Programms für bauordnungsrechtlich relevante Brandschutznachweise die Validierungsbeispiele eigenständig berechnet werden. Dabei sollen die Eingangsdaten und Rechenannahmen entsprechend der Programmbeschreibung unverändert verwendet werden.

Über die durchgeführten Berechnungen und die erzielten Ergebnisse soll eine Dokumentation unter Verwendung der in der Beispielsammlung enthaltenen tabellarischen Übersichten angefertigt werden. Die Abweichungen von den Ergebnissen der Muster-Berechnungen sollen innerhalb der angegebenen Toleranzen liegen.

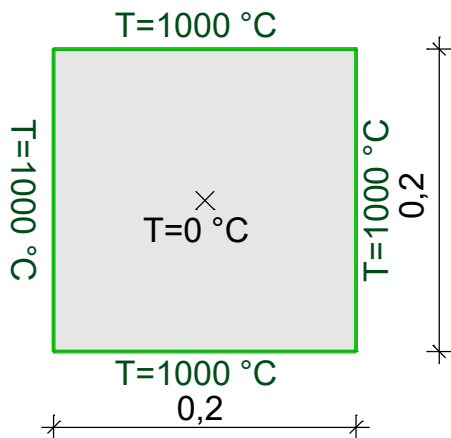
Validierungsbeispiele 1 (CC.4.1) Wärmeübertragung (Abkühlung)

Materialeigenschaften		fiktiver Wert
Wärmeleitfähigkeit λ	W/(mK)	1
Spezifische Wärme c_p	J/(kgK)	1
Rohdichte ρ	kg/m ³	1000
Randbedingungen		
Abmessungen h, b	m	1
Wärmeübergangskoeffizient α_c	W/(m ² K)	1
Emissivität $\varepsilon_{res} = \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f$	-	0
Anfangsbedingungen		
Umgebungstemperatur Θ_u	°C	0
Temperatur im Querschnitt	°C	1000
Referenzgröße		
Temperatur Θ_0 im Punkt X	°C	

Tabelle CC.2 Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Abkühlung)

Zeit	Referenzgröße	berechnete Größe	Abweichung		Grenzabweichung	Bemerkung
s	Θ_0 Temperatur °C	Θ'_0 Temperatur °C	$(\Theta'_0 - \Theta_0) / \Theta_0 \cdot 100$ % $(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K		% oder K	
0	1000	1000	0,0	0,0	± 1 % und ± 5,0 K	
60	999,3	999,1	0,0	-0,3		
300	891,8	891,8	-0,1	-0,9		
600	717,7	717,9	-0,1	-0,6		
900	574,9	575,1	-0,1	-0,4		
1 200	460,4	460,6	-0,1	-0,3		
1 500	368,7	368,9	0,0	-0,1		
1 800	295,3	295,5	0,0	-0,1		

Validierungsbeispiele 2 (CC.4.2) Wärmeübertragung (Erwärmung)

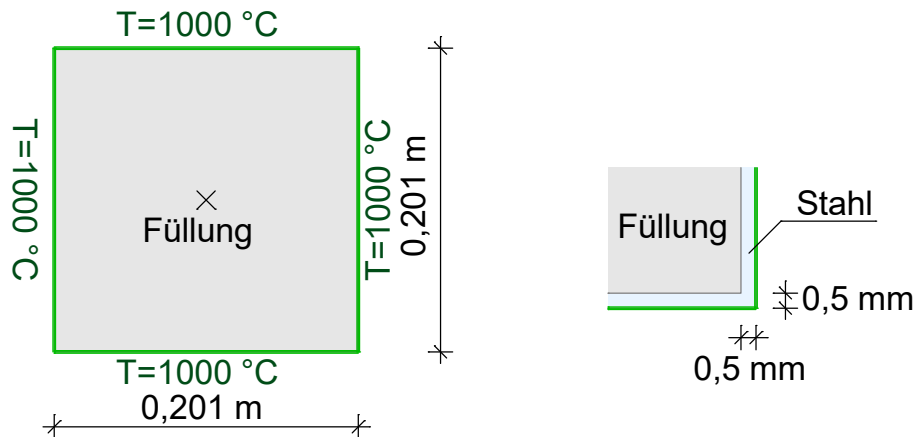


Material		fiktiver Wert	
Wärmeleitfähigkeit λ (linearer Verlauf)	W/(mK)	Θ	$\lambda (\Theta)$
		0	1,5
		200	0,7
		1000	0,5
Spezifische Wärme c_p	J/(kgK)	1000	
Rohdichte ρ	kg/m ³	2400	
Randbedingungen			
Abmessungen h, b	m	0,2	
Wärmeübergangskoeffizient α_c	W/(m ² K)	10	
Emissivität $\epsilon_{res} = \epsilon_m \cdot \epsilon_f$	-	0,8	
Anfangsbedingungen			
Umgebungstemperatur Θ_U	°C	1000	
Temperatur im Querschnitt	°C	0	
Referenzgröße			
Temperatur Θ_0 im Punkt X	°C		

Tabelle CC.4 Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Erwärmungsprozess)

Zeit min	Referenzgröße Θ_0 Temperatur °C	berechnete Größe Θ'_0 Temperatur °C	Abweichung		Grenz- abweichung % oder K	Bemerkung
			$(\Theta'_0 - \Theta_0) / \Theta_0 \cdot 100$ %	$(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K		
30	36,9	36,3	-1,6	-0,6	für $t \leq 60$ min ± 5 K für $t > 60$ min ± 3 %	
60	137,4	134,9	-1,8	-2,5		
90	244,6	243,3	-0,5	-1,3		
120	361,1	362,9	0,5	1,8		
150	466,2	469,2	0,6	3,0		
180	554,8	558,9	0,7	4,1		

Validierungsbeispiele 3 (CC.4.3) Wärmedurchgang bei mehreren Schichten (Stahlhohlquerschnitt mit Füllung)

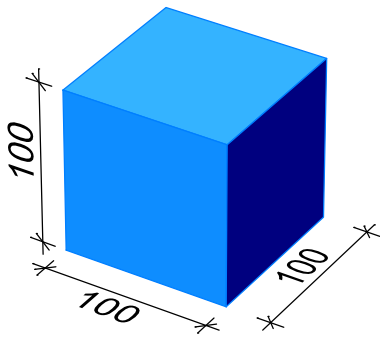


Materialeigenschaften		Stahl	Füllung
Wärmeleitfähigkeit λ	W/(mK)	DIN EN 1993-1-2	0,05
Spezifische Wärme c_p	J/(kgK)	DIN EN 1993-1-2	1000
Rohdichte ρ	kg/m ³	DIN EN 1993-1-2	50
Randbedingungen			
Abmessungen h, b, t	m	h = b = 0,201; t = 0,0005	
Wärmeübergangskoeffizient α_c	W/(m ² K)	10	
Emissivität $\epsilon_{res} = \epsilon_m \cdot \epsilon_f$	-	0,8	
Anfangsbedingungen			
Umgebungstemperatur Θ_U	°C	1000	
Temperatur im Querschnitt	°C	0	
Referenzgröße			
Temperatur Θ_0 im Punkt X	°C		

Tabelle CC.6 Referenz- und berechnete Größen für den Wärmedurchgang bei mehreren Schichten

Zeit min	Referenzgröße Θ_0 Temperatur °C	berechnete Größe Θ'_0 Temperatur °C	Abweichung $(\Theta'_0 - \Theta_0) / \Theta_0 \cdot 100$ %		Grenz- abweichung % oder K	Bemerkung
			$(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K			
30	340,5	338,9	-0,5	-1,7	± 1 % und ± 5 K	
60	717,1	719,5	0,3	2,4		
90	881,6	883,5	0,2	1,9		
120	950,6	951,7	0,1	1,1		
150	979,3	979,9	0,1	0,6		
180	991,7	991,7	0,0	0,0		

Validierungsbeispiele 4 (CC.4.4) Thermische Verlängerung von Baustahl

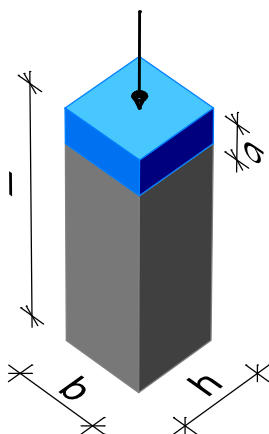


Randbedingungen		Baustahl
Abmessungen l, h, b	mm	100
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2
Festigkeit $f_{yk(20^\circ)}$	N/mm ²	355
Anfangsbedingungen °C		20
Homogene Bauteiltemperatur Θ	°C	100 300 500 600 700 900
Thermische Dehnung	-	DIN EN 1993-1-2
Referenzgröße		
Thermische Verlängerung Δl	mm	

Tabelle CC.8 Referenz- und berechnete Größen für die thermische Verlängerung von Baustahl

Θ [°C]	Referenzgröße Δl mm	berechnete Größe $\Delta l'$ mm	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ % $(\Delta l' - \Delta l)$ mm		Grenz- abweichung % oder mm	Bemer- kung
100	0,09984	0,09984	0,0	0,00	für $\Theta \leq 300$ °C ± 0,05 mm für $\Theta > 300$ °C ± 1 %	
300	0,37184	0,37184	0,0	0,00		
500	0,67584	0,67584	0,0	0,00		
600	0,83984	0,83984	0,0	0,00		
700	1,01184	1,0118	0,0	0,00		
900	1,18000	1,1800	0,0	0,00		

Validierungsbeispiele 5 (CC.4.5) Berechnung der Spannungs-Dehnungslinien



Randbedingungen		Baustahl	Beton
Abmessungen l / h / b	mm	100 / 10 / 10	100 / 31,6 / 31,6
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Festigkeit $f_{yk(20^\circ)}, f_{ck(20^\circ)}$	N/mm ²	355	20
Thermische Dehnung		DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Anfangsbedingungen °C		20	
Homogene Bauteiltemperatur Θ	°C	20 200 400 600 800	
Belastung $\sigma_{s(\Theta)} / f_{yk(\Theta)}$ bzw. $\sigma_{c(\Theta)} / f_{ck(\Theta)}$	-	0,2 0,6 0,9	
Referenzgröße			
Längenänderung Δl	mm		

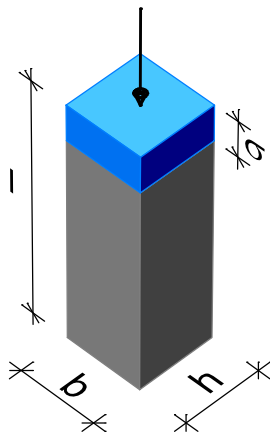
Tabelle CC.10 Referenz- und berechnete Größe für Spannungs-Dehnungs-Linien von Baustahl

Temperatur Θ °C	Belastung $\sigma_{s(\Theta)} / f_{yk(\Theta)}$	Referenzgröße Δl mm	berechnete Größe $\Delta l'$ mm	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung
20	0,2	-0,034	-0,034	0,0	± 3,0	
	0,6	-0,101	-0,101	0,0		
	0,9	-0,152	-0,152	0,0		
200	0,2	0,194	0,194	0,0		
	0,6	0,119	0,119	0,0		
	0,9	-0,159	-0,159	0,0		
400	0,2	0,472	0,472	0,0		
	0,6	0,293	0,293	0,0		
	0,9	-0,451	-0,451	0,0		
600	0,2	0,789	0,789	0,0		
	0,6	0,581	0,581	0,0		
	0,9	-0,162	-0,162	0,0		
800	0,2	1,059	1,059	0,0		
	0,6	0,914	0,914	0,0		
	0,9	0,170	0,170	0,0		

Tabelle CC.11 Referenz- und berechnete Größen für Spannungs-Dehnungs-Linien von Beton mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung

Temperatur Θ °C	Belastung $\sigma_{s(\Theta)} / f_{yk(\Theta)}$	Referenzgröße Δl mm	berechnete Größe $\Delta l'$ mm	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung
20	0,2	-0,0334	-0,0334	0,0	± 3 %	
	0,6	-0,104	-0,104	0,0		
	0,9	-0,176	-0,176	0,0		
200	0,2	0,107	0,107	0,0		
	0,6	-0,0474	-0,0474	0,0		
	0,9	-0,2075	-0,2075	0,0		
400	0,2	0,356	0,356	0,0		
	0,6	0,075	0,075	0,0		
	0,9	-0,216	-0,216	0,0		
600	0,2	0,685	0,685	0,0		
	0,6	-0,0167	-0,0167	0,0		
	0,9	-0,744	-0,744	0,0		
800	0,2	1,066	1,066	0,0		
	0,6	0,365	0,365	0,0		
	0,9	-0,363	-0,363	0,0		

Validierungsbeispiele 6 (CC.4.6) Berechnung der Grenztragfähigkeit



Randbedingungen		Baustahl	Beton
Abmessungen l / h / b	mm	100 / 10 / 10	100 / 31,6 / 31,6
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Festigkeit $f_{yk(20^\circ)}, f_{ck(20^\circ)}$	N/mm ²	355	20
Thermische Dehnung		DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Anfangsbedingungen °C		20	
Homogene Bauteiltemperatur Θ	°C	20 200 400 600 800	
Referenzgröße			
Normalkraft $N_{R,fi,k}$	kN		

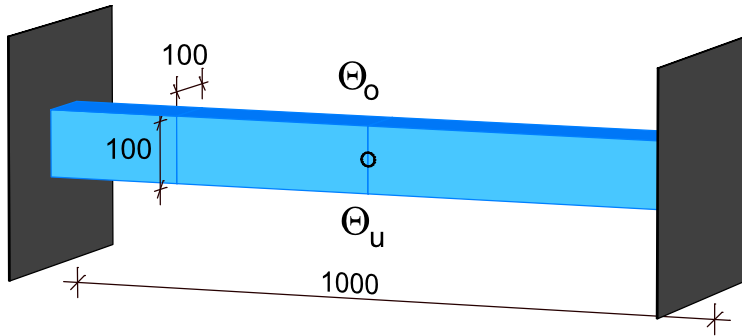
Tabelle CC.12 Referenz- und berechnete Größen für die Grenztragfähigkeit von Baustahl

Temperatur Θ °C	Referenzgröße $N_{R,fi,k}$ kN	berechnete Größe $N_{R,fi,k}'$ kN	Abweichung $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})/N_{R,fi,k} \cdot 100$ %		Grenzabweichung % oder kN	Bemerkung
			$(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})$ kN			
20	-35,5	-35,5	0,0	0,0	± 3,0 % und ± 0,5 kN	
200	-35,5	-35,5	0,0	0,0		
400	-35,5	-35,5	0,0	0,0		
600	-16,7	-16,7	0,0	0,0		
800	-3,9	-3,9	0,0	0,0		

Tabelle CC.13 Referenz- und berechnete Größen für die Grenztragfähigkeit von Beton mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung

Temperatur Θ °C	Referenzgröße $N_{R,fi,k}$ kN	berechnete Größe $N_{R,fi,k}'$ kN	Abweichung $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})/N_{R,fi,k} \cdot 100$ %		Grenzabweichung % oder kN	Bemerkung
			$(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})$ kN			
20	-20,0	-20,0	0,0	0,0	± 3,0 % und ± 0,5 kN	
200	-19,0	-19,0	0,0	0,0		
400	-15,0	-15,0	0,0	0,0		
600	-9,0	-9,0	0,0	0,0		
800	-3,0	-3,0	0,0	0,0		

Validierungsbeispiele 7 (CC.4.7) Ausbildung von Zwangsschnittgrößen



Randbedingungen		Baustahl		
Abmessungen l / h / b	mm	1000 / 100 / 100		
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2		
Festigkeit $f_{yk(20^\circ\text{C})}$	N/mm ²	650 ^{a)}		
Elastizitätsmodul $E_{a(20^\circ\text{C})}$	N/mm ²	210 000		
Thermische Dehnung		DIN EN 1993-1-2		
Anfangsbedingungen				
Bauteiltemperatur	Θ_o	°C	120	20
	Θ_u	°C	120	220
Referenzgröße				
Zwangsschnittgrößen N_{Zw}, M_{Zw}	kN, kNm			
Zwangsspannung σ_{Zw} am unteren Rand	N/mm ²			
^{a)} Baustahl nach DIN EN 1993-1-1 mit der fiktiven Streckgrenze $f_{yk(20^\circ\text{C})} = 650 \text{ N/mm}^2$ (kein hochfester Stahl) und den thermo-mechanischen Eigenschaften nach DIN EN 1993-1-2				

Tabelle CC.15 Referenz- und berechnete Größen für die Ausbildung von Zwanggrößen

Temperaturlastfall	Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X' - X)/X \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	
120/120	N_{Zw} kN	-2585	-2585	0,0	$N_{Zw}: \pm 1$ $M_{Zw}: \pm 1$ $\sigma_{Zw}: \pm 5$
	M_{Zw} kNm	0	0	0,0	
	σ_{Zw} N/mm ²	-258,5	-258,5	0,0	
20/220	N_{Zw} kN	-2511	-2510	0,0	
	M_{Zw} kNm	-40,3	-40,3	0,0	
	σ_{Zw} N/mm ²	-479	-478,8	0,0	

Validierungsbeispiele 8 (CC.4.8) Schwach bewehrter Stahlbeton-Biegebalken

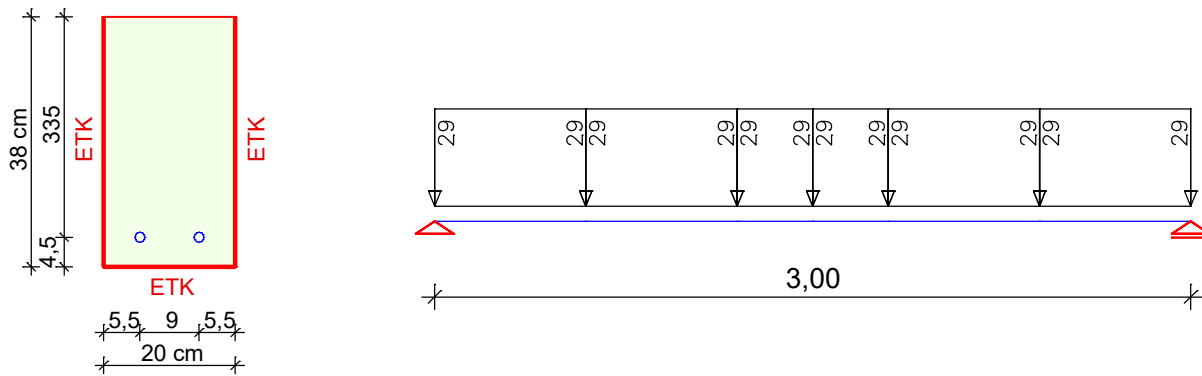


Tabelle CC.16 Querschnittswerte, Materialeigenschaften und Randbedingungen

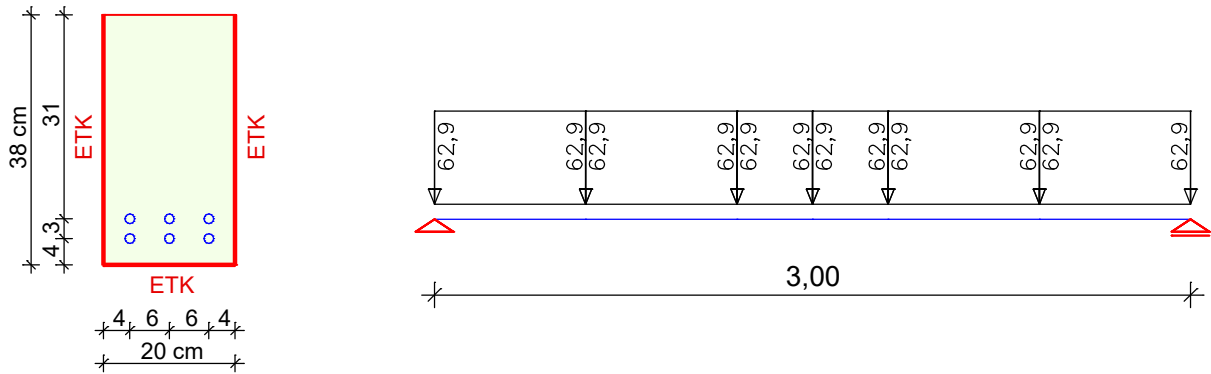
Stahlbeton-Biegebalken (schwach bewehrt)		R 90	
Abmessungen	$l / h / b$ in cm	300 / 20 / 38	
Achsabstände	a / a_s in cm	4,5 / 5,5	
Belastung	$q_{E,fi,d,t}$ in kN/m	29	
Beton C20/25 (3% Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck(20^\circ)}$ in N/mm ²	20	
Betonstahl B500	$f_{yk(20^\circ)}$ in N/mm ²	500	
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^{a)}	DIN EN 1992-1-2	
	Betonstahl ^{b)}		
Temperaturbeanspruchung	ETK (dreiseitig)	DIN EN 1991-1-2	
Wärmeübergangskoeffizient	α_c in W/(m ² K)	25	
Emissivität	ϵ_m	0,70	
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda_a, \rho, c_a, \epsilon_{th,s}$	DIN EN 1992-1-2
^{a)} mit überwiegend quarzithaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400\text{ kg/m}^3$ ^{b)} Klasse N, warmgewalzt			

Die berechnete Feuerwiderstandsdauer beträgt 91 min, was einer Abweichung von 1 % entspricht. Die berechnete Temperatur in der Bewehrung beträgt nach 90 min 555 °C (1% Abweichung).

Tabelle CC.17 Referenz- und berechnete Größe für den schwach bewehrten Stahlbetonbalken

Feuerwiderstandsklasse	Referenzgröße	berechnete Größe	Abweichung $(A'_s - A_s)/A_s \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung
	$A_{s,2}$ cm ²	$A'_{s,2}$ cm ²			
90 / 91	3,56	3,56	0	± 10	$\theta_s = 555\text{ °C}$
ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt $\theta_s = 562\text{ °C}$.					

Validierungsbeispiele 9 (CC.4.9) Stark bewehrter Stahlbeton-Biegebalken



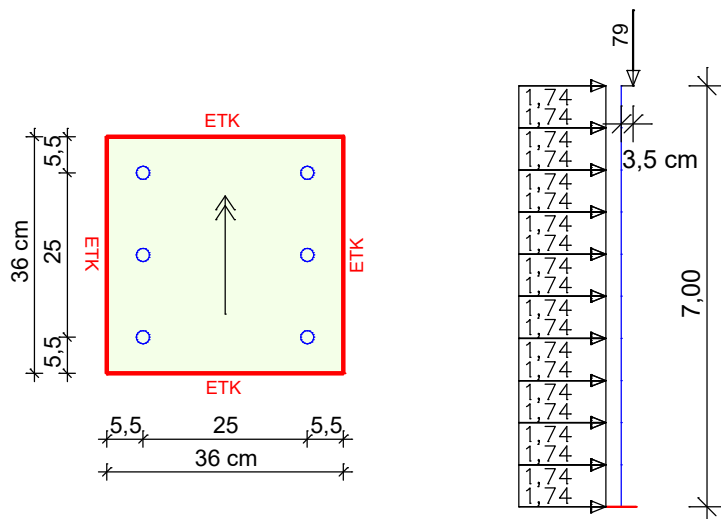
Stahlbeton-Biegebalken (stark bewehrt)		R 90	
Abmessungen	l / h / b in cm	300 / 20 / 38	
Achsabstände	a _{1,2,3} in cm	7	
	a _{4,5,6} in cm	4	
Belastung	q _{E,fi,d,t} in kN/m	62,9	
Beton C20/25 (3% Feuchte (Massenanteile))	f _{ck(20°)} in N/mm ²	20	
Betonstahl B500	f _{yk(20°)} in N/mm ²	500	
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^{a)}	DIN EN 1992-1-2	
	Betonstahl ^{b)}		
Temperaturbeanspruchung	ETK (dreiseitig)	DIN EN 1991-1-2	
Wärmeübergangskoeffizient	α _c in W/(m ² K)	25	
Emissivität	ε _m	0,70	
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	λ, ρ, c _p , ε _{th,c}	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	λ _a , ρ, c _a , ε _{th,s}	DIN EN 1992-1-2
^{a)} mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte ρ = 2 400 kg/m ³			
^{b)} Klasse N, warmgewalzt			

Die berechnete Feuerwiderstandsdauer beträgt 96 min, was einer Abweichung von -7 % entspricht.

Tabelle CC.19 Referenz- und berechnete Größe für den stark bewehrten Stahlbetonbalken

Feuerwiderstandsklasse	Referenzgröße	berechnete Größe	Abweichung	Grenzabweichung	Bemerkung
	A _{s,2} cm ²	A' _{s,2} cm ²	(A' _s - A _s)/A _s · 100 %	%	
90 / 96	9,76	9,76	0	± 10	
ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach t = 90 min Branddauer beträgt:					
θ _{s,1} = θ _{s,3} = 539 °C; 533 °C (1 %)					
θ _{s,2} = 372 °C; 367 °C (1 %)					
θ _{s,4} = θ _{s,6} = 656 °C; 645 °C (1 %)					
θ _{s,5} = 525 °C. 513 °C (2 %)					

Validierungsbeispiele 10 (CC.4.10) Stahlbeton-Kragstütze



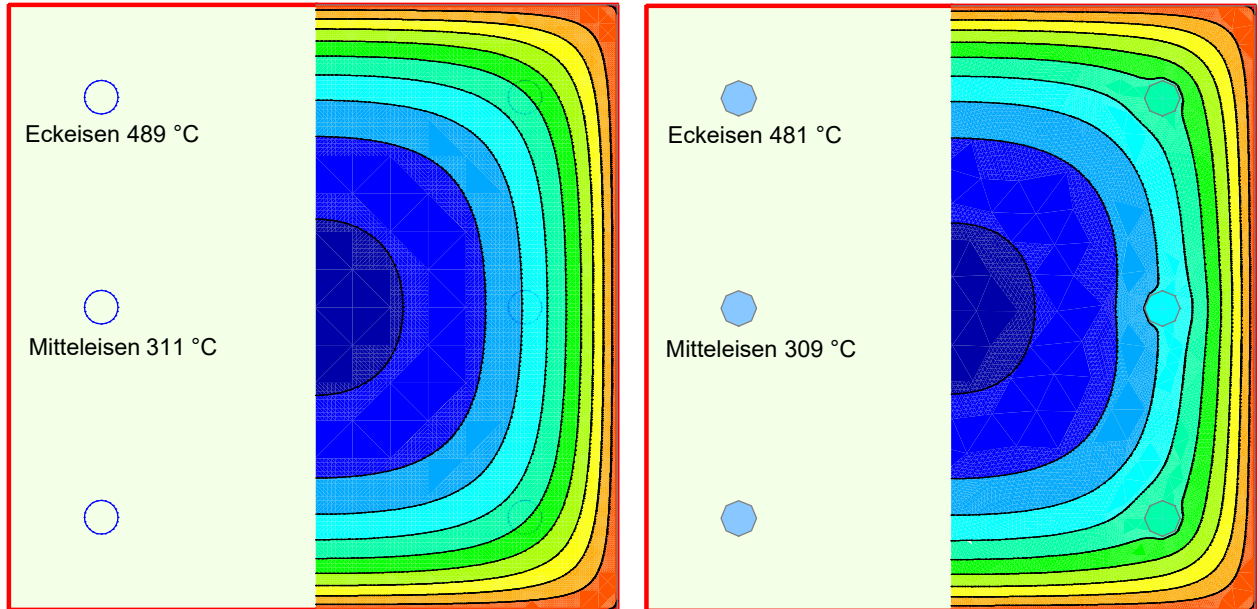
Abmessungen	$l / h / b$ in cm	700 / 36 / 36	
Knicklänge im Brand	$l_{0,fi}$ in m	14,0	
Lastausmitte im Brand	e_1 in cm	3,5	
Achsabstand	a in mm	55	
Belastung	$N_{E,fi,d,t}$ in kN	-79	
	$w_{E,fi,d,t}$ in kN/m	1,74	
Beton C20/25 (3% Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck(20^\circ)}$ in N/mm ²	20	
Betonstahl B500	$f_{yk(20^\circ)}$ in N/mm ²	500	
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^{a)}	DIN EN 1992-1-2	
	Betonstahl ^{b)}		
Temperaturbeanspruchung	ETK (4-seitig)	DIN EN 1991-1-2	
Wärmeübergangskoeffizient	α_c in W/(m ² K)	25	
Emissivität	ε_m	0,70	
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \varepsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda_a, \rho, c_a, \varepsilon_{th,s}$	DIN EN 1992-1-2
^{a)} mit überwiegend quarzithaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400$ kg/m ³ ^{b)} Klasse N, warmgewalzt			

Tabelle CC.21 Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze

	Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung (X' - X)/X · 100 %	Grenzabweichung %
Versagenszeit t_u [min]	93	96	3,2	± 5
horiz. Verformung am Stützenkopf w_z [mm] nach $t = 90$ min Branddauer	381	314	-17,6	± 15
Moment am Stützenfuß $M_{E,fi,d}$ [kNm] nach $t = 90$ min Branddauer	75,5	70,2	-7,0	± 5
ANMERKUNG Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer Eckeißen $\Theta_s = 502$ °C (489 °C) und Mitteleißen $\Theta_s = 319$ °C (311 °C)				

Die Verformungen und Schnittgrößen sind kurz vor dem Versagenszustand stark temperaturabhängig. Die Abweichungen in den Validierungsgrößen erklären sich dadurch, dass die berechneten Temperaturen in der Bewehrung niedriger sind als die zugehörigen Referenzgrößen.

Vergleichsberechnungen u.a. mit dem Programm ANSYS bestätigen die niedrigeren Temperaturen. Eine Berücksichtigung der Bewehrungsseisen bei der thermischen Berechnung würde zu einer weiteren Reduktion der Temperaturen führen (siehe nachfolgende Abbildung).



Temperaturprofile nach 90 min Branddauer
ohne Berücksichtigung der Bewehrung

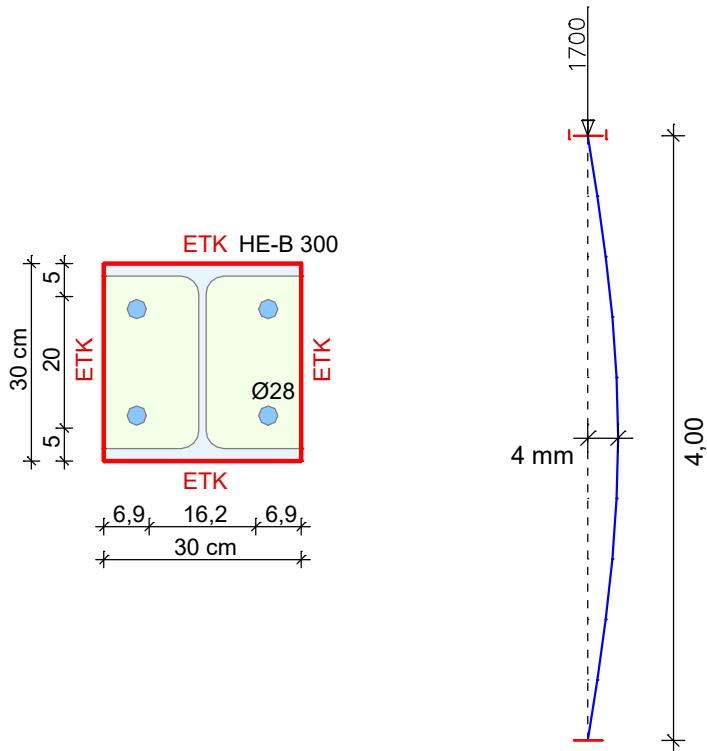
mit Berücksichtigung der Bewehrung

Um die mechanische Berechnung zu validieren, wurden die Temperaturprofile an die vorgegebenen Bewehrungstemperaturen angeglichen. Dafür wurde, abweichend von der Vorgabe, eine Betonrohddichte von 2280 kg/m³ berücksichtigt. Die anschließende mechanische Berechnung liefert die nachfolgenden Resultate.

Tabelle CC.21a Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze nach Temperaturadaption

	Referenz- größe X	berechnete Größe X'	Abweichung (X' - X)/X · 100 %	Grenz- abweichung %
Versagenszeit t_u [min]	93	92	-1,1	± 5
horiz. Verformung am Stützenkopf w_z [mm] nach $t = 90$ min Branddauer	381	348	-8,7	± 15
Moment am Stützenfuß $M_{E,fi,d}$ [kNm] nach $t = 90$ min Branddauer	75,5	72,9	-3,4	± 5
ANMERKUNG Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer Eckeisen $\theta_s = 502$ °C (502 °C) und Mitteleisen $\theta_s = 319$ °C (321 °C)				

Validierungsbeispiele 11 (CC.4.11) Verbundstütze mit Kammerbeton



Abmessungen	$l / h / b$ in cm	400 / 30 / 30	
	u_s in mm	50	
	e_f in mm	19	
	e_w in mm	11	
Knicklänge im Brand	$l_{0,fi}$ in cm	200	
Belastung	$N_{E,fi,d,t}$ in kN	-1 700	
Beton C25/30 (3% Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck(20^\circ)}$ in N/mm ²	25	
Betonstahl B500	$f_{yk(20^\circ)}$ in N/mm ²	500	
Baustahl S 235	$f_{ak(20^\circ)}$ in N/mm ²	235	
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^{a)}	DIN EN 1994-1-2	
	Betonstahl ^{b)}		
	Baustahl		
Temperaturbeanspruchung	ETK (4-seitig)	DIN EN 1991-1-2	
Wärmeübergangskoeffizient	α_c in W/(m ² K)	25	
Emissivität	ϵ_m	0,7	
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1994-1-2
	Betonstahl	$\lambda_a, \rho, c_a, \epsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2
^{a)} mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400\text{ kg/m}^3$			
^{b)} Klasse N, warmgewalzt			

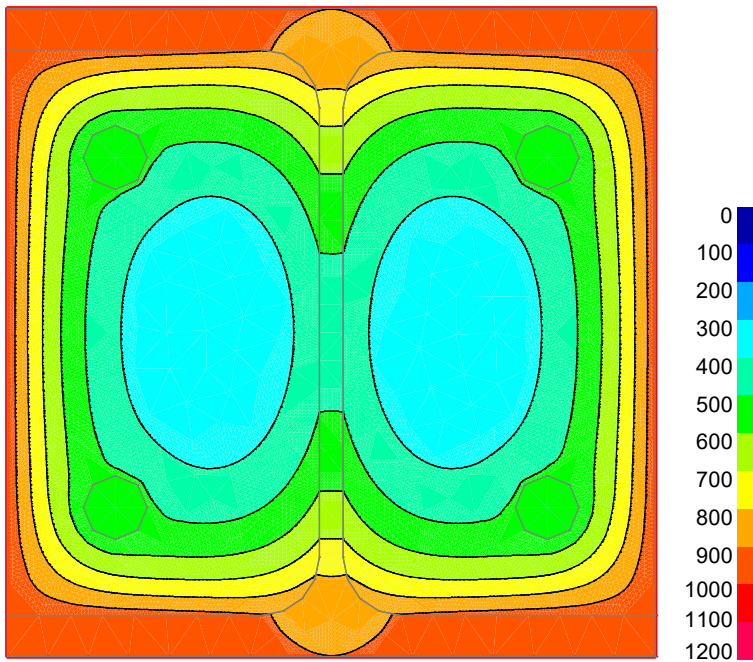
Temperaturprofil nach $t = 90$ min Branddauer

Tabelle CC.23 Referenz- und berechnete Größen für die kammerbetonierte Verbundstütze

	Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X' - X)/X \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	
Versagenszeit t_u [min]	92	91	-1,1	± 5	
horiz. Gesamtverformung w_z [mm] in Stützenmitte nach der Branddauer von $t =$	30 min	4,4	4,47		1,6
	60 min	5,5	5,72		4,0
ANMERKUNG Temperatur in der Bewehrung $\Theta_s = 535$ °C (523 °C) und im Schwerpunkt des Stahlprofils $\Theta_s = 447$ °C (469 °C) nach $t = 90$ min Branddauer.					

InfoGraph GmbH

Kackertstraße 10

D-52072 Aachen

Tel.: +49 241 889980

Fax: +49 241 8899888

info@infograph.de

www.infograph.de

InfoGraph 
Software für die Tragwerksplanung