

## Inhalt

Zur Validierung der Stahlbetonstütze B5+ nach DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09	1
Auszug aus DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09	2
Berechnung mit dem Programm Stahlbetonstütze B5+ und dem Zusatzmodul Temperaturanalyse TA	4
Ausgabe des Programms B5+	6
Ausgabe des Programms B5+, Vergleichsrechnung $\Delta T = 11^\circ\text{C}$	8
Literatur	12

## Zur Validierung der Stahlbetonstütze B5+ nach DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09

Im Eurocode DIN EN 1991-1-2 wird im Nationalen Anhang für Deutschland unter dem Punkt NCI zu „2.4 Temperaturberechnung“ und „2.5 Berechnung der Tragfähigkeit“ festgelegt:

„Zur Berechnung der Bauteiltemperaturen und der Tragfähigkeit im Brandfall dürfen allgemeine Rechenverfahren angewendet werden. Sofern zur brandschutztechnischen Bewertung von Tragwerken oder Teiltragwerke mittels allgemeiner Rechenverfahren Rechenprogramme verwendet werden, wird davon ausgegangen, dass diese validiert sind. Der Anhang CC enthält geeignete Beispiele für das Validierungsverfahren.“

Zur Validierung der Heißbemessung von Stahlbetonstützen ist CC.4.10 „Beispiel 10 – Stahlbeton-Kragstütze“ vorgesehen.

Auf den folgenden Seiten wird dieses Beispiel mit dem Programm Stahlbetonstütze B5+ in Verbindung mit dem Zusatzmodul HSB und der Temperaturanalyse TA untersucht.

Auf der folgenden Seite ist in einem Auszug aus der Norm das zu betrachtende Beispiel dargestellt.

## Auszug aus DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09

Zu untersuchen ist eine Stahlbeton-Kragstütze mit dem Querschnitt  $b/h = 36 / 36$  cm und der Länge  $l = 7,0$  m. Die Stütze wird vierseitig beflammt. Die Stütze aus C20/25 ist mit vorh.  $A_s = 18,85$  cm<sup>2</sup> (6 Ø 20 mm) B500 bewehrt und wird im Brandfall durch eine Längskraft mit der Lastausmitte  $e_1 = 3,5$  cm und einer Streckenlast aus Wind belastet (siehe unten, Tabelle CC.20).

Anmerkung: In der Lastausmitte  $e_1$  sind die Imperfektionen nach DIN EN 1992-1-1:2015-12, 5.2 enthalten. Die Stahlbeton-Kragstütze wird in der Hauptbiegerichtung nachgewiesen.

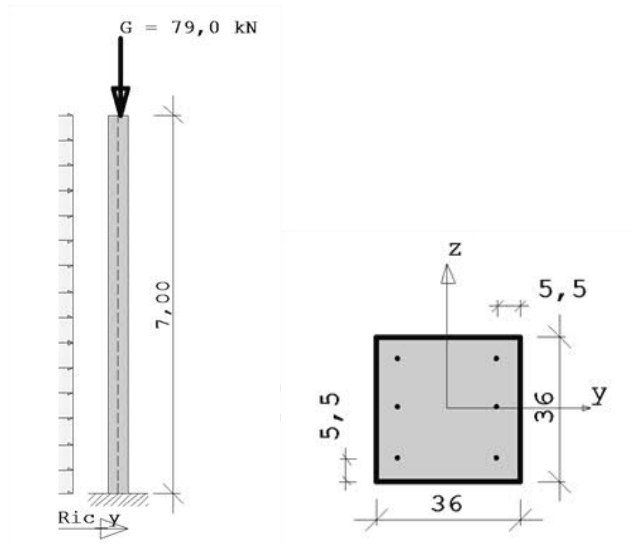


Tabelle CC.20: Abmessungen, Belastung und Materialeigenschaften

Abmessungen	$l/b/h$	[ cm ]	700/36/36
Knicklänge im Brandfall	$l_{0,fi}$	[ m ]	14,0
Lastausmitte im Brandfall	$e_1$	[cm]	3,5
Achsabstand	$a$	[mm]	55
Belastung	$N_{E,fi,d,t}$	[kN]	-79
	$W_{E,fi,d,t}$	[kN/m]	1,74
Beton C20/25 (3 % Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck(20^\circ C)}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	20
Betonstahl B500	$f_{yk(20^\circ C)}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	500
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton <sup>a)</sup>		DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl <sup>b)</sup>		
Temperaturbeanspruchung	ETK (4-seitig)		DIN EN 1991-1-2
Wärmeübergangskoeffizient	$\alpha_c$	[W/m <sup>2</sup> ·K]	25
Emmissivität	$\epsilon_m$		0,70
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, C_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda, \rho, C_a, \epsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2
a) Mit überwiegender quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho=2400$ kg/m <sup>3</sup>			
b) Klasse N, warmgewalzt			

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

Dabei werden die Kriterien Versagenszeit, horizontale Verformung und das Moment am Stützenfuß untersucht. Für diese Werte werden Referenzgrößen und Grenzabweichungen definiert.

Außerdem werden die den Referenzgrößen zugrundeliegenden Temperaturen der Eck- und Mitteleisen angegeben.

Diese Werte sind in der Tabelle CC.21 zusammengefasst:

	Referenzgröße X	Berechnete Größe X'	Abweichung (X'-X)/X·100 %	Grenzabweichung %
Versagenszeit $t_u$ in Minuten	93			±5
Horizontale Verformung am Stützenkopf $w_z$ in mm nach $t = 90$ min Branddauer	381			±15
Moment am Stützenfuß $M_{E,fi,d}$ in kNm nach $t = 90$ min Branddauer	75,5			±5
<i>Anmerkung: Die Temperatur in der Bewehrung nach <math>t = 90</math> min Branddauer beträgt:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ECKEISEN <math>\theta_s = 502</math> °C</li> <li>- MITTELEISEN <math>\theta_s = 319</math> °C</li> </ul>				

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

## Berechnung mit dem Programm Stahlbetonstütze B5+ und dem Zusatzmodul Temperaturanalyse TA

Die Berechnungen zum Beispiel CC4.10 wurden mit dem Programm Stahlbetonstütze B5+ und dem Zusatzmodul TA für die thermischer Analyse durchgeführt

Erfahrungsgemäß kann sich bei schlanken Stützen mit Bewehrungsgraden  $< 2\%$  beim Übergang zu Zustand II die erforderliche Bewehrung für die kalte Bemessung sprunghaft erhöhen. Bei der kalten Bemessung rechnet das Programm B5+ daher bei geringen Bewehrungsgraden mit einer reduzierten effektiven Steifigkeit. Bei der heißen Bemessung sind wir bei etlichen Stützen mit Bewehrungsgraden  $< 2\%$  auf Konvergenzprobleme gestoßen. Aus diesem Grund wurde auch bei der heißen Bemessung eine Steifigkeitsabminderung implementiert. Diese kann optional abgewählt werden. Um das Validierungsbeispiel nachzuvollziehen ist es notwendig, ohne Abminderung zu rechnen. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind auf Seite 4-8 dokumentiert.

Tabelle 1 zeigt, dass die zulässigen Grenzabweichungen nicht eingehalten werden. Das ergibt sich als Folge einer um 2-3 % geringeren Temperatur. Die Temperaturen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die Verformungen und Schnittkräfte sind im Grenzbereich der Tragfähigkeit stark temperaturabhängig. Da die berechneten Temperaturen geringer als die Referenzgrößen sind, ergeben sich auch geringere Kopfverformungen, geringere Momente am Stützenfuß und eine größere Versagenszeit. Die zulässigen Toleranzen zu den Referenzgrößen werden überschritten.

Die niedrigeren errechneten Temperaturen decken sich in der Tendenz mit den Ergebnissen anderer Softwarehersteller (siehe /1/ und /2/).

Um die Temperaturabhängigkeit zu zeigen, wird in einer zweiten Vergleichsrechnung die Temperatur in den Bewehrungsseisen im Brandschutzdialog um  $\Delta T = 11^\circ$  erhöht. Damit entsprechen die Temperaturen exakt den im Referenzbeispiel angegebenen Werten. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind auf Seite 5 zusammengestellt. Dort ist zu sehen, dass bei entsprechenden Temperaturen auch die Ergebnisse problemlos im Toleranzbereich liegen.

Tabelle 1: Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze, zugehöriger Programmausdruck Seite 6-8

Zeile		Referenzgröße X	Berechnete Größe X'	Abweichung (X'-X)/X·100 %	Grenzabweichung %
1	Versagenszeit $t_u$ in Minuten	93	98	5,4	$\pm 5$
2	Horizontale Verformung $w_z$ in mm nach $t = 90$ min Branddauer	381	317	-16,8	$\pm 15$
3	Moment am Stützenfuß $M_{E,fi,d}$ in kNm nach $t = 90$ min Branddauer	75,5	70,4	-6,8	$\pm 5$

Tabelle 2: Temperaturen in der Bewehrung nach  $t = 90$  min Branddauer, zugehöriger Programmausdruck Seite 6-8

	t=90 min	Referenztemperatur	Berechnete Temperatur	Differenz	Abweichung (X'-X)/X·100 %
1	Ecke	502	491	-11	- 2,2
2	Mitte	319	308	-11	- 3,4

Tabelle 3: Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze, Vergleichsrechnung  $\Delta T = 11^\circ\text{C}$ , zugehöriger Programmausdruck Seite 9-11

Zeile		Referenzgröße X	Berechnete Größe X'	Abweichung (X'-X)/X·100 %	Grenzabweichung %
1	Versagenszeit $t_u$ in Minuten	93	95	2,2	$\pm 5$
2	Horizontale Verformung $w_z$ in mm nach $t = 90$ min Branddauer	381	342	-10,2	$\pm 15$
3	Moment am Stützenfuß ME,fi,d in kNm nach $t = 90$ min Branddauer	75,5	72,4	-4,1	$\pm 5$

Tabelle 4: Temperaturen in der Bewehrung nach  $t = 90$  min Branddauer, Vergleichsrechnung  $\Delta T = 11^\circ\text{C}$ , zugehöriger Programmausdruck Seite 9-11

	t=90 min	Referenztemperatur	Berechnete Temperatur	Differenz	Abweichung (X'-X)/X·100 %
1	Ecke	502	502	$\pm 0$	$\pm 0$
2	Mitte	319	319	$\pm 0$	$\pm 0$

## Ausgabe des Programms B5+



FRILO Software GmbH

Stuttgarter Str. 40  
70469 StuttgartTel.: +49 711 810020  
Fax: +49 711 858020

Projekt: Validierung B5

Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich t = 90  
min  
18.01.2021

Seite: 1

**Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich t = 90 min**

Stahlbetonstütze (neu) B5+ 01/21A (FRILO R-2021-1/P03)

**Grundparameter****Berechnungsgrundlagen**

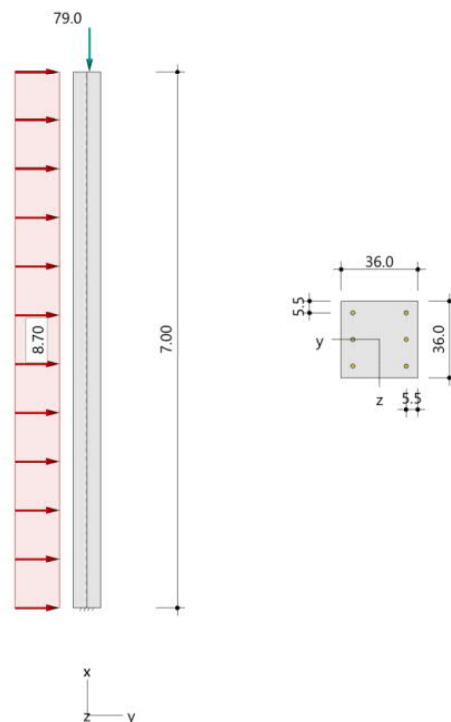
- Kragstütze in y-Richtung (einachsige Berechnung), Rechteck, in y-Richtung beansprucht
- Materialien C 20/25, B500A

**Norm und Sicherheitskonzept**

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A1:2015-09
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$ für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches $\gamma_F$ ( $\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$ )

**System****Systemgrafik 2D**

Maßstab 1 : 80



Validierungsbeispiel aus DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09, CC.4.10 Beispiel 10 — Stahlbeton-Kragstütze

$dT = +11$  K zur Korrektur der berechneten Temperaturen. Hintergrund: FRILO verwendet bei der thermischen Analyse quadratische Interpolationsfunktionen, wohingegen bei der Erstellung des Validierungsbeispiels lineare Interpolationsfunktionen zum Einsatz kamen, wodurch dort aufgrund des nichtlinearen Temperaturverlaufs im Bereich der Bewehrungsstäbe höhere Temperaturen ermittelt worden sind.



FRILO Software GmbH

Stuttgarter Str. 40

70469 Stuttgart

Tel.: +49 711 810020

Fax: +49 711 858020

Projekt: Validierung B5

Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich t = 90 min

18.01.2021

Seite: 2

**Anforderungen Dauerhaftigkeit:**

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 6$ mm
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 20$ mm
Vorhaltemaß	$\Delta c_{dev} = 10$ mm
Bügel	$c_{min,b} = 10$ mm
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20$ mm
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 20$ mm *5
Betondeckung	$c_{nom,l} = 30$ mm
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 24$ mm
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40$ mm

\*5: Verbund maßgebend

**Kriechzahl**

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

**Materialauswahl**

Beton C 20/25	$f_{ck} = 20.00$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{cm} = 30000$ N/mm <sup>2</sup>
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00$ N/mm <sup>2</sup>	$E_s = 200000$ N/mm <sup>2</sup>
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0$ ‰

Bügel und Längsbewehrung

**Material Bemessungswerte**

Bemessungssituation	Beton C 20/25 $\alpha_{cc} = 0.85$ $\alpha_{ct} = 0.85$			Betonstahl B500A		
	$\gamma_c$	$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ctd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_s$	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
ständig/vorübergehend	1.50	11.33	0.88	1.15	434.78	456.52

**Systemkennwerte****Abmessungen / statisches System**

Kragstütze in $\gamma$ -Richtung (einachsige Berechnung)	
Stützhöhe	$l = 7.00$ m
Querschnitt	$b_v/d_z = 36.0/36.0$ cm
	$b_l/d_l = 5.5/5.5$ cm
Bewehrungsanordnung (kalt)	1/4 je Ecke
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

**Lagerbedingungen**

Lage	$u_y$ [kN/m]	$\phi_z$ [kNm/rad]
Kopfunkt		
Fußpunkt	starr	starr

**Lasten**Die gegenüber dem Validierungsbeispiel auf  $e = 3.15$  cm reduzierte Ausmitte der Vertikallast berücksichtigt den automatischen Ansatz der Schiefstellung von  $l/2000$  im Brandfall.**Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)**

Bezeichnung	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Windlasten	0.60	0.20	0.00		1.500
ständig				1.000	1.350

**Punktlasten**

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	$e_y$ [cm]	$F_y$ [kN]	$M_z$ [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		79.0	3.2			ständig		



**FRILO Software GmbH**

Stuttgarter Str. 40  
70469 Stuttgart

Tel.: +49 711 810020  
Fax: +49 711 858020

Projekt: Validierung B5  
Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich t = 90 min  
12.01.2021

Seite: 3

**Verteilte Lasten**

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	$p_{Anf}$ [kN/m]	Länge [m]	$p_{End}$ [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
2	Stütze	in y		8.70	7.00	8.70	Wind		

**Bezeichnungen der Lasten**

- Last 1: Kopflast ständig
- Last 2: Wind

**Berechnungsoptionen**

**Berechnungsoptionen**

- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt
- Es wird ausschließlich das Ausweichen in globaler y-Richtung untersucht

**Bemessungsoptionen**

- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen (über Arbeitslinie Stahl, basierend auf  $f_{ct,m}$ ) wird im GZG berücksichtigt
- Mindestausmitten nach EN 1992-1-1, 6.1 (4) werden - sofern maßgebend - angesetzt
- Die Mindestbewehrung für Balken nach EN 1992, Abs. 9.2.1, wird nicht überprüft

FL.B5lib.dll v4.20211.1013.0 - FLCE906.exe v6.20111.128.1

**Optionen für den Brandschutznachweis**

Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R90

Brandangriff = gesamter Stützenumfang

Der Nachweis wird in der außergewöhnlichen Bemessungssituation unter Beachtung von EN 1991-1-2, 4.3.1, geführt. Die Schiefstellung ist auf  $\theta \leq 1/2000$  begrenzt.

Stützenabschnitt(e) 1:

Wärmeübergangskoeffizient	$\alpha$ =	25.0 W/(m <sup>2</sup> K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	$\alpha_c$ =	9.0 W/(m <sup>2</sup> K)
Emissivität	$\epsilon_m$ =	0.70
Betonfeuchte	$u$ =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$ =	obere Grenze
Rohdichte	$\rho$ =	2400 kg/m <sup>3</sup>
Elementgröße	$d_{Elem}$ =	2.0 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	warmgewalzt

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

**Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. 2. O. mit  $\alpha$  (Bemessungssituation Brand)**

LK	Höhe [m]	$\xi_{\eta}$	$N_d$ [kN]	$M_{z,d}$ [kNm]	$\rho$ [%]	$A_{s,erf}$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_{s,vorh}$ [cm <sup>2</sup> ]	Versagensart
1	7.00		-79.0	2.49	1.45	18.8	18.8	Querschnitt
	5.83		-79.0	9.67	1.45	18.8	18.8	
	4.67		-79.0	18.97	1.45	18.8	18.8	
	3.50		-79.0	30.09	1.45	18.8	18.8	
	2.33		-79.0	42.69	1.45	18.8	18.8	
	1.17		-79.0	56.30	1.45	18.8	18.8	
	0.00		-79.0	70.42	1.45	18.8	18.8	

siehe Tabelle 1, Zeile 3

**Verschiebungen, Dehnungen und Biegesteifigkeiten - Th. 2. O. mit  $\alpha$  (Bemessungssituation Brand)**

LK	Höhe [m]	$f_y$ [cm]	$\epsilon_1$ [‰]	$\epsilon_2$ [‰]	$\epsilon_{4s}$ [‰]	$El_{z,erf}/El_z$
1	7.00	31.7	5.50	5.70	5.68	0.104
	5.83	24.2	5.20	6.03	5.91	0.100
	4.67	17.0	4.80	6.51	6.26	0.095
	3.50	10.5	4.20	7.15	6.71	0.088
	2.33	5.1	3.45	7.91	7.24	0.082
	1.17	1.4	2.60	8.75	7.83	0.079
	0.00	0.0	1.68	9.86	8.64	0.074

siehe Tabelle 1, Zeile 2

**Bewehrungsanordnung**

**Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min**

Stützenabschnitt	Stabnummer	$\emptyset$ [mm]	Fläche [cm <sup>2</sup> ]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-12.5	-12.5	491	81
	2	20	3.1	-12.5	12.5	491	81
	3	20	3.1	-12.5	0.0	308	100
	4	20	3.1	12.5	0.0	308	100
	5	20	3.1	12.5	-12.5	491	81
	6	20	3.1	12.5	12.5	491	81
			18.8				

siehe Tabelle 2 Zeile 1

siehe Tabelle 2 Zeile 2



Ausgabe des Programms B5+, Vergleichsrechnung  $\Delta T = 11^\circ\text{C}$ 

FRILO Software GmbH

Stuttgarter Str. 40  
70469 StuttgartTel.: +49 711 810020  
Fax: +49 711 858020

Projekt: Validierung B5

Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich  $t = 90$   
min\_DeltaT  
18.01.2021

Seite: 1

**Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich  $t = 90$  min\_DeltaT**

Stahlbetonstütze (neu) B5+ 01/21A (FRILO R-2021-1/P03)

**Grundparameter****Berechnungsgrundlagen**

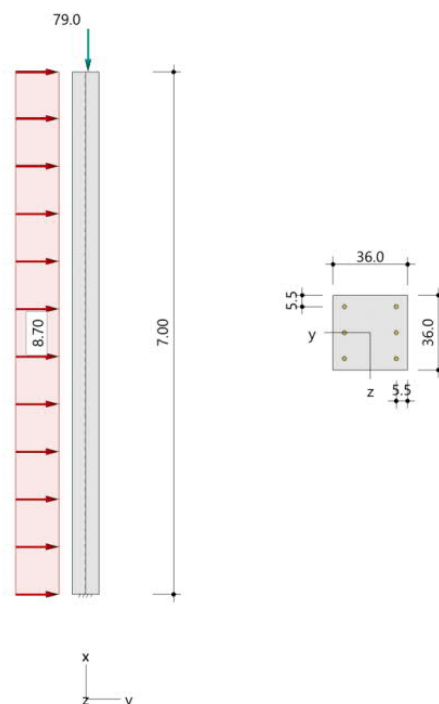
- Kragstütze in y-Richtung (einachsige Berechnung), Rechteck, in y-Richtung beansprucht
- Materialien C 20/25, B500A

**Norm und Sicherheitskonzept**

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A1:2015-09
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$ für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches $\gamma_F$ ( $\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$ )

**System****Systemgrafik 2D**

Maßstab 1 : 80



Validierungsbeispiel aus DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09, CC.4.10 Beispiel 10 — Stahlbeton-Kragstütze

$dT = +11$  K zur Korrektur der berechneten Temperaturen. Hintergrund: FRILO verwendet bei der thermischen Analyse quadratische Interpolationsfunktionen, wohingegen bei der Erstellung des Validierungsbeispiels lineare Interpolationsfunktionen zum Einsatz kamen, wodurch dort aufgrund des nichtlinearen Temperaturverlaufs im Bereich der Bewehrungsstäbe höhere Temperaturen ermittelt worden sind.



## FRILO Software GmbH

Stuttgarter Str. 40  
70469 StuttgartTel.: +49 711 810020  
Fax: +49 711 858020

Projekt: Validierung B5

Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich t = 90  
min\_DeltaT  
18.01.2021

Seite: 2

**Anforderungen Dauerhaftigkeit:**

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 6$ mm
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 20$ mm
Vorhaltemaß	$\Delta c_{dev} = 10$ mm
Bügel	$c_{min,b} = 10$ mm
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20$ mm
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 20$ mm *5
Betondeckung	$c_{nom,l} = 30$ mm
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 24$ mm
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40$ mm

\*5: Verbund maßgebend

**Kriechzahl**

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

**Materialauswahl**

Beton C 20/25	$f_{ck} = 20.00$ N/mm <sup>2</sup>	$E_{cm} = 30000$ N/mm <sup>2</sup>
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00$ N/mm <sup>2</sup>	$E_s = 200000$ N/mm <sup>2</sup>
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0$ ‰

Bügel und Längsbewehrung

**Material Bemessungswerte**

Bemessungssituation	Beton C 20/25			Betonstahl B500A		
	$\gamma_c$	$\alpha_{cc} = 0.85$ $f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\alpha_{ct} = 0.85$ $f_{ctd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\gamma_s$	$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]
ständig/vorübergehend	1.50	11.33	0.88	1.15	434.78	456.52

**Systemkennwerte****Abmessungen / statisches System**

Kragstütze in y-Richtung (einachsige Berechnung)	
Stützhöhe	$l = 7.00$ m
Querschnitt	$b_y/d_z = 36.0/36.0$ cm
	$b_z/d_1 = 5.5/5.5$ cm
Bewehrungsanordnung (kalt)	1/4 je Ecke
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

**Lagerbedingungen**

Lage	$u_y$ [kN/m]	$\phi_z$ [kNm/rad]
Kopfunkt		
Fußpunkt	starr	starr

**Lasten**Die gegenüber dem Validierungsbeispiel auf  $e = 3.15$  cm reduzierte Ausmitte der Vertikallast berücksichtigt den automatischen Ansatz der Schiefstellung von  $l/2000$  im Brandfall.**Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)**

Bezeichnung	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Windlasten	0.60	0.20	0.00		
ständig				1.000	1.500 1.350

**Punktlasten**

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	$e_y$ [cm]	$F_y$ [kN]	$M_z$ [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		79.0	3.2			ständig		



**FRILO Software GmbH**

Stuttgarter Str. 40  
70469 Stuttgart

Tel.: +49 711 810020  
Fax: +49 711 858020

Projekt: Validierung B5

Position: ValBsp-CC4.10 - Zustandsgrößen Vergleich t = 90  
min\_DeltaT  
18.01.2021

Seite: 3

**Verteilte Lasten**

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	$p_{anf}$ [kN/m]	Länge [m]	$p_{end}$ [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
2	Stütze	in y		8.70	7.00	8.70	Wind		

**Bezeichnungen der Lasten**

- Last 1: Kopflast ständig
- Last 2: Wind

**Berechnungsoptionen**

**Berechnungsoptionen**

- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt
- Es wird ausschließlich das Ausweichen in globaler y-Richtung untersucht

**Bemessungsoptionen**

- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen (über Arbeitslinie Stahl, basierend auf  $f_{ct,m}$ ) wird im GZG berücksichtigt
- Mindestausmitten nach EN 1992-1-1, 6.1 (4) werden - sofern maßgebend - angesetzt
- Die Mindestbewehrung für Balken nach EN 1992, Abs. 9.2.1, wird nicht überprüft

FL.B5lib.dll v4.20211.1013.0 - FLCE906.exe v6.20111.128.1

**Optionen für den Brandschutznachweis**

Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R90

Brandangriff = gesamter Stützenumfang

Der Nachweis wird in der außergewöhnlichen Bemessungssituation unter Beachtung von EN 1991-1-2, 4.3.1, geführt.

Die Schiefstellung ist auf  $\theta \leq 1/2000$  begrenzt.

**Stützenabschnitt(e) 1:**

Temperaturzuschlag

Wärmeübergangskoeffizient

Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt

Emissivität

Betonfeuchte

Wärmeleitfähigkeit

Rohdichte

Elementgröße

Betonzuschlag

Betonstahl

$\Delta T$	=	11 K
$\alpha$	=	25.0 W/(m <sup>2</sup> K)
$\alpha_c$	=	9.0 W/(m <sup>2</sup> K)
$\epsilon_m$	=	0.70
u	=	3.0 %
$\lambda$	=	obere Grenze
$\rho$	=	2400 kg/m <sup>3</sup>
$d_{elem}$	=	2.0 cm
	=	quarzitisch
	=	warmgewalzt

Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

**Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. 2. O. mit  $\epsilon$  (Bemessungssituation Brand)**

LK	Höhe [m]	$N_d$ [kN]	$M_{z,d}$ [kNm]	$\rho$ [%]	$A_{s,erf}$ [cm <sup>2</sup> ]	$A_{s,vorh}$ [cm <sup>2</sup> ]	Versagensart
1	7.00	-79.0	2.49	1.45	18.8	18.8	Querschnitt
	5.83	-79.0	10.16	1.45	18.8	18.8	
	4.67	-79.0	19.92	1.45	18.8	18.8	
	3.50	-79.0	31.47	1.45	18.8	18.8	
	2.33	-79.0	44.40	1.45	18.8	18.8	
	1.17	-79.0	58.23	1.45	18.8	18.8	
	0.00	-79.0	72.44	1.45	18.8	18.8	

siehe Tabelle 3 Zeile 3

**Verschiebungen, Dehnungen und Biegesteifigkeiten - Th. 2. O. mit  $\epsilon$  (Bemessungssituation Brand)**

LK	Höhe [m]	$f_y$ [cm]	$\epsilon_1$ [‰]	$\epsilon_2$ [‰]	$\epsilon_{4s}$ [‰]	$El_{z,eff}/El_z$
1	7.00	34.2	5.64	5.85	5.83	0.102
	5.83	26.1	5.31	6.22	6.09	0.096
	4.67	18.3	4.87	6.75	6.47	0.091
	3.50	11.3	4.20	7.43	6.95	0.084
	2.33	5.5	3.40	8.23	7.51	0.079
	1.17	1.5	2.51	9.12	8.12	0.076
	0.00	0.0	1.52	10.47	9.13	0.069

siehe Tabelle 3 Zeile 2

**Bewehrungsanordnung**

**Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min**

Stützenabschnitt	Stabnummer	$\emptyset$ [mm]	Fläche [cm <sup>2</sup> ]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sv,0}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-12.5	-12.5	502	78
	2	20	3.1	-12.5	12.5	502	78
	3	20	3.1	-12.5	0.0	319	100
	4	20	3.1	12.5	0.0	319	100
	5	20	3.1	12.5	-12.5	502	78
	6	20	3.1	12.5	12.5	502	78
			18.8				

siehe Tabelle 4 Zeile 1

siehe Tabelle 2 Zeile 2

## Literatur

- / 1 / Infograph, „Prüfung und Validierung von Rechenprogrammen für Brandschutznachweise mittels allgemeiner Rechenverfahren“,  
[https://download.infograph.de/man\\_de/validierungsbeispiele\\_brandfall.pdf](https://download.infograph.de/man_de/validierungsbeispiele_brandfall.pdf)
- / 2 / Sofistik, „Normenbeispiel DIN EN 1991-1-2/NA:2010, Anhang CC Beispiel 10, Stahlbeton Kragstütze“,