

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

U412.de Stahlbeton-Stützensystem mit
Heißbemessung (Krag-, Pendel-, allg. Stützen)

Construction
Engineering

Architecture

U412.de Stahlbeton-Stützensystem mit Heißbemessung (Krag-, Pendel-, allg. Stützen)

Zur Validierung der numerischen Berechnungen an Stützen mit normalfestem Beton wird das Validierungsbeispiel 10 gemäß DIN EN 1991-1-2/NA verwendet. Es ist der Zeitpunkt des Versagens einer Stahlbeton-Kragstütze für eine gegebene Beanspruchung bei einer allseitigen Brandbeanspruchung zu ermitteln. Die Kragstütze mit einer Länge von 7.00 m aus Beton C20/25 ist mit 6 \varnothing 20 mm ($A_s = 18.85 \text{ cm}^2$), warmgewalztem Stabstahl B500B der Klasse N bewehrt. Belastet wird die Kragstütze am Stützenkopf mit einer exzentrisch ($e_y = 3.50 \text{ cm}$) angreifenden Normalkraft und einer über die Systemlänge angreifenden Streckenlast aus Wind. Der Stützenquerschnitt besitzt die Abmessungen $b = h = 36.0 \text{ cm}$. Der Achsabstand der Bewehrung beträgt $a = 5.50 \text{ cm}$.

Die weiteren Angaben sind Bild CC.9 und Tabelle CC.20 zu entnehmen.

Bild CC.9

Querschnitt und System der Stahlbeton-Kragstütze

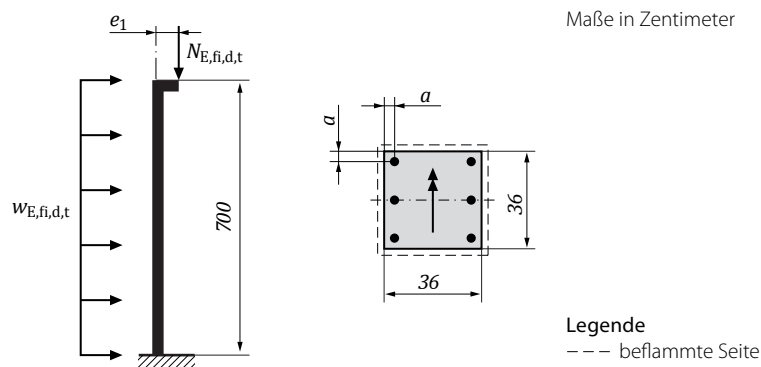


Tabelle CC.20

Abmessungen, Belastung und Materialeigenschaften

Abmessungen	$l / b / h$	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))	$f_{ck}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	20
Betonstahl	$f_{yk}(20^\circ\text{C})$	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	$\lambda, \rho, c_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda, \rho, c_a, \epsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2
^a Mit überwiegend quarzithaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$			
^b Klasse N, warmgewalzt			

In Tabelle CC.21 sind die Referenz- und berechneten Größen für die Stahlbeton-Kragstütze eingetragen.

Tabelle CC.21

Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze

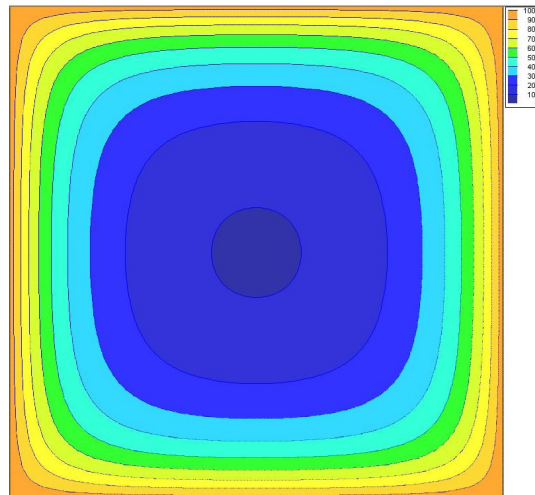
	Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X'-X)/X \cdot 100$ [%]	Grenzabweichung [%]
Versagenszeit t_u in min	93	97	+ 4,0	±5
horizontale Verformung am Stützenkopf w_z in mm nach $t = 90$ min Branddauer	381	331	-13,1	±15
Moment am Stützenfuß $M_{e,fi,d}$ in kNm nach $t = 90$ min Branddauer	75,5	71,5	-5,3	±5
Anmerkung: Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt: - Eckeisen $\theta_s = 502^\circ\text{C}$; 492 - Mitteleisen $\theta_s = 319^\circ\text{C}$; 329				

Die Abweichungen in den Validierungsgrößen erklären sich dadurch, dass die berechneten Temperaturen in der Bewehrung niedriger sind als die zugehörigen Referenzgrößen.

Das berechnete Temperaturprofil nach 90 Minuten Branddauer ist im nachfolgenden Bild dargestellt.

Bild:

Temperaturprofil nach 90 min Branddauer ohne Berücksichtigung der Bewehrung



Die Temperaturen des vorgegebenen Temperaturfeldes nach 90 Minuten Branddauer (Referenztemperaturfeld) werden nach eigenen Berechnungen erst nach ca. 93 Minuten Branddauer erreicht.

Um die mechanische Berechnung zu validieren, wird das Temperaturprofil an die vorgegebenen Bewehrungstemperaturen angeglichen.

Nach Temperaturadaption liefert die anschließende mechanische Berechnung nachfolgende Resultate.

Tabelle CC.21*

Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze

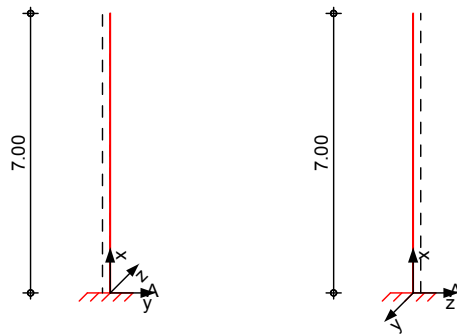
*nach Temperaturadaption

	Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X'-X)/X \cdot 100$ [%]	Grenzabweichung [%]
Versagenszeit t_u in min	93	94	+ 1,1	±5
horizontale Verformung am Stützenkopf w_z in mm nach $t = 90$ min Branddauer	381	371	-2,6	±15
Moment am Stützenfuß $M_{e,fi,d}$ in kNm nach $t = 90$ min Branddauer	75,5	74,7	-1,1	±5
Anmerkung: Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt: - Eckeisen $\theta_s = 502^\circ\text{C}$; 504 - Mitteleisen $\theta_s = 319^\circ\text{C}$; 339				

Pos. Bsp_10 Kragstütze CC.4.10 Beispiel 10

System
 M 1:190

Eulerfälle in y- und z-Richtung



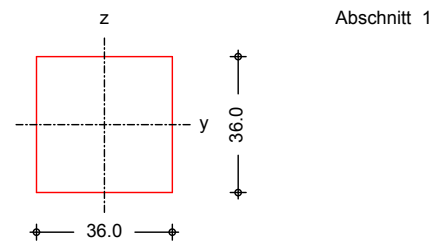
Abmessungen
 Mat./Querschnitt

Geschoss	l [m]	Material	b/h [cm]
EG	7.00	C 20/25	36/36

Auflager

Lager	x [m]	$K_{T,z}$ [kN/m]	$K_{R,y}$ [kNm/rad]	$K_{T,y}$ [kN/m]	$K_{R,z}$ [kNm/rad]
A	0.00	fest	fest	fest	fest

M 1:20



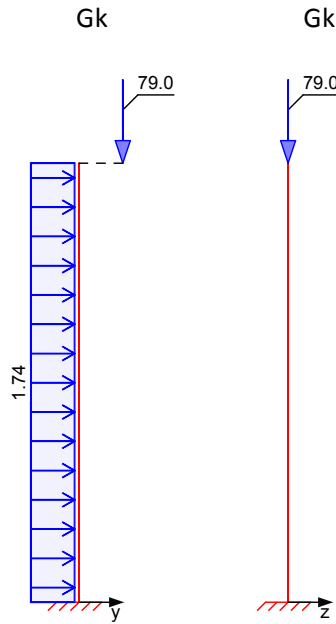
Belastungen

Belastungen auf das System

Grafik

Belastungsgrafiken (Einwirkungsbezogen)

Einwirkungen



Punktlasten
 in x-Richtung

Einzellasten

	Ges.	Komm.	a	F _x	e _y	e _z
			[m]	[kN]	[cm]	[cm]
Einw. Gk	1		7.00	79.00	3.5	0.0

Streckenlasten
 in y-Richtung

Gleichlasten

	Ges.	Komm.	a	s	q _{li}	q _{re}
			[m]	[m]	[kN/m]	[kN/m]
Einw. Gk	1		0.00	7.00		1.74

Kombinationen

Manuelle Kombinationsbildung (1 Kombinationen)
 Darstellung der maßgebenden Kombinationen

	Ek	$\Sigma (\gamma^* \psi^* EW)$
Brand	1	1.00 * Gk

Manuelle Komb.

Manuell vorgegebene Kombinationen

	Komb.	$\Sigma (\gamma^* \psi^* EW)$
Brand	1	1.00 * Gk

Bem.-schnittgrößen

nach Th. II. Ordnung

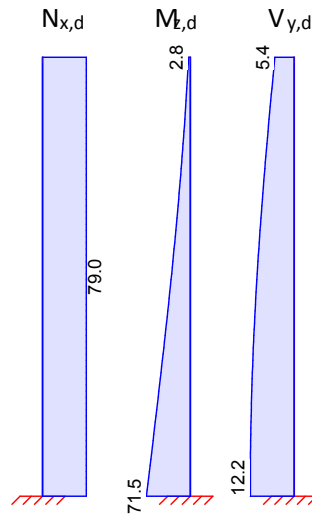
Brandfall
 Nicht-Linear

nichtlineare Berechnung nach Th. II. Ordnung

Grafik

Schnittgrößen (je Kombination)

Komb. 1



Tabelle

Schnittgrößen (je Kombination)

Gesch.	x [m]	$N_{x,d}$ [kN]	$M_{z,d}$ [kNm]	$V_{y,d}$ [kN]
Komb. 1	EG	79.00 *	71.54 *	12.18
	0.30	79.00	67.93	12.20 *
	7.00	79.00	2.77 *	5.38 *

Bem.-verformungen

nach Th. II. Ordnung

Brandfall

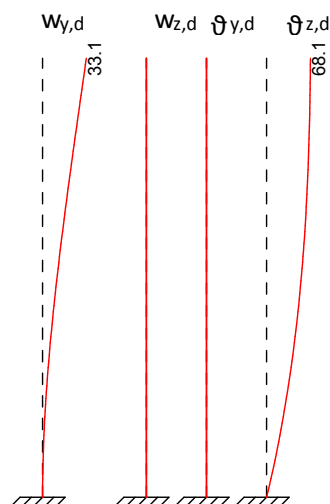
Nicht-Linear

nichtlineare Berechnung nach Th. II. Ordnung

Grafik

Verformungen (je Kombination)

Komb. 1



Tabelle

Verformungen (je Kombination)

Gesch.	x [m]	$w_{y,d}$ [cm]	$\vartheta_{z,d}$ [mrad]
Komb. 1	EG	0.00	0.00
	7.00	33.11 *	68.15 *

Mat./Querschnitt

Material- und Querschnittswerte

Querschnitte

Q	Typ	Bewehr.- anordnung	b/D [cm]	h/Di [cm]	d' [cm]
1	Recht	Stäbe	36.0	36.0	

Materialien

Q	Beton	Betonstahl	ρ_{min} [%]	ρ_{max} [%]	ϕ [-]	γ [kN/m ³]
1	C 20/25	B 500SB	0.	30 9.	00 0.0	0 25.0

Brandfall

gemäß allgemeinem Verfahren nach DIN EN 1992-1-2

Berechnungsgrundlagen:

- spezifische Wärme vom Beton (3.3.2)
- Feuchte des Betons 3.0%
- Wärmeübertragungskoeffizient 25 W/m²K
- thermische Leitfähigkeit des Betons: obere Grenze
- Emissionswert der Betonoberfläche 0.7
- Festigkeitsred. Bewehrung für Klasse N
- Bewehrung warmgewalzt
- quarzhaltige Betonzuschläge

Steifigkeiten im Brandfall

Q	t _{req} [min]	Seiten [-]	EA [kN]	EI _y [kNm ²]	EI _z [kNm ²]
1	90	r/l/o/u	1190294.48	7587.67	9021.57

Temperaturprofil Bewehrung

Q	Y [cm]	Z [cm]	R [cm]	θ [°]	E _{s,θ} /E _s [-]	f _{y,θ} /f _y [-]
1	12.50	12.50	--	492	0.61	0.80
	-12.50	12.50	--	492	0.61	0.80
	-12.50	-12.50	--	492	0.61	0.80
	12.50	-12.50	--	492	0.61	0.80
	12.50	0.00	--	329	0.77	1.00
	-12.50	0.00	--	329	0.77	1.00

Bruchschnittgrößen

nach nichtlinearer Theorie

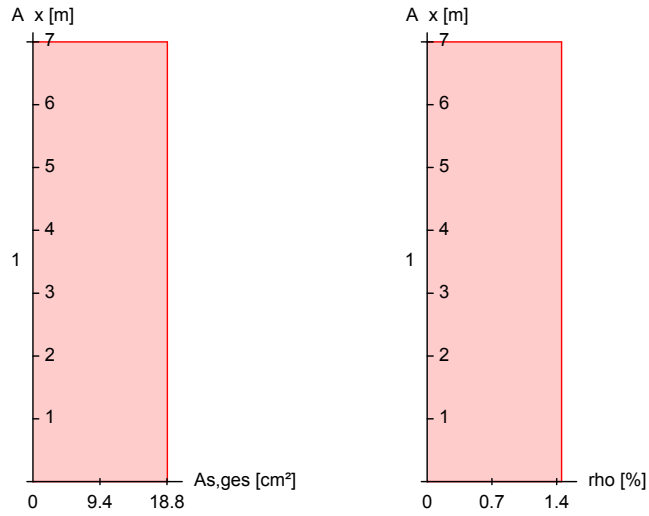
Komb. 1

x [m]	N _u [kN]	M _{yu} [kNm]	M _{zu} [kNm]	ϵ_s [‰]	ϵ_c [‰]	η
7.00	1728.1	0.0	60.5	0.00	0.00	0.05
0.00	128.3	0.0	116.1	0.00	0.00	0.62

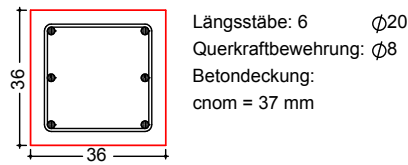
Vorhandene Bewehrung

von x [m]	bis x [m]	Q	Typ	Bew.Art	A _{s,ges} [cm ²]	ρ [%]
0.00	7.00	1	R	Stäbe	18.85	1.45

Vorhandene Bewehrung
 M 1:120



Querschnitt 1
 M 1:20



Auflagerkräfte

Auflagergrößen am
 Stützenfuß

Einw	A_k [kN]	M_{yk} [kNm]	M_{zk} [kNm]	H_{yk} [kN]	H_{zk} [kN]
Gk	79.0	0.0	45.4	12.2	0.0

Anteile aus Th. II
 Ordnung

Einw	ΔM_{yk} [kNm]	ΔM_{zk} [kNm]	ΔH_{yk} [kN]	ΔH_{zk} [kN]
Gk	0.0	0.0	0.0	0.0

am verformten System aus Kombination: 1