

Gebäude 2136 – Erweiterung des Gymnasiums Horn

Neubau Schulgebäude

Genehmigungsplanung – Teil 1 – Bemessung

3. Bemessung Stützen

3.1.	Allgemeines.....	1/3-2
3.2.	Bemessungsgrundlagen.....	1/3-2
3.3.	Bemessung und Bewehrung.....	1/3-3
3.3.1.	Stützen Ebene 5.....	1/3-4
3.3.2.	Stützen Ebene 4.....	1/3-56
3.3.3.	Stützen Ebene 3.....	1/3-107
3.3.4.	Stützen Ebene 1 & Ebene 2.....	1/3/166
3.4.	Schlussseite	1/3-243

3.1. Allgemeines

In diesem Kapitel erfolgt die Bemessung der Stützen.

Die vertikalen Belastungen der Stützen wurden im Zuge der Deckenbemessung ermittelt. Siehe hierzu Kapitel 1 / Statik Teil 2.

Die Bemessung der Stützen erfolgt mit dem Bemessungsprogramm Frilo – Stahlbetonstütze B5+. Es wird eine Typenbemessung geführt und die einzelnen Stützen nachfolgenden den Typen zugewiesen.

Bemessung siehe EDV-Ausdrucke nachfolgend.

3.2. Bemessungsgrundlagen

Nachfolgend sind für die Stützenbemessung relevanten Grundlagen als Auszug aus dem Statik Teil 0 dargestellt.

Baustoffe

Stahlbeton C 40/50

Betonstahl B 500 S (A) Stabstahl

Brandschutz

Bei der Bemessung der Stahlbetonstützen werden die brandschutztechnischen Anforderungen für die Feuerwiderstandklasse R90 eingehalten. EDV-intern wird die Brandschutzanforderung durch die Anwendung der DIN EN 1992-1-2 berücksichtigt.

Umweltbedingungen und Betondeckung

Angaben gemäß Statik Teil 0, DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1 NA, Abschnitt 4.2, 4.4 und 7.3:

Innenbauteile

Expositionsklasse	XC1, W0	
Betondeckung	bis $d_s = 10 \text{ mm}$:	$c_{nom} = 20 \text{ mm}$
	ab $d_s = 12 \text{ mm}$:	$c_{nom} = d_s + 10 \text{ mm}$
Rissweite	$w_k = 0,4 \text{ mm}$	
Einwirkungskombination	quasi-ständig	

Außenbauteile, außenseitig gedämmt

Expositionsklasse	XC3, WF	
Betondeckung	bis $d_s = 20 \text{ mm}$:	$c_{nom} = 30 \text{ mm}$
	ab $d_s = 25 \text{ mm}$:	$c_{nom} = d_s + 10 \text{ mm}$

Anpralllasten

Innerhalb des Gebäudes ist kein Fahrzeugverkehr vorgesehen.

Anprall von KFZ außerhalb des Gebäudes wird durch gesonderte Maßnahmen gemäß Angabe Objektplaner verhindert.

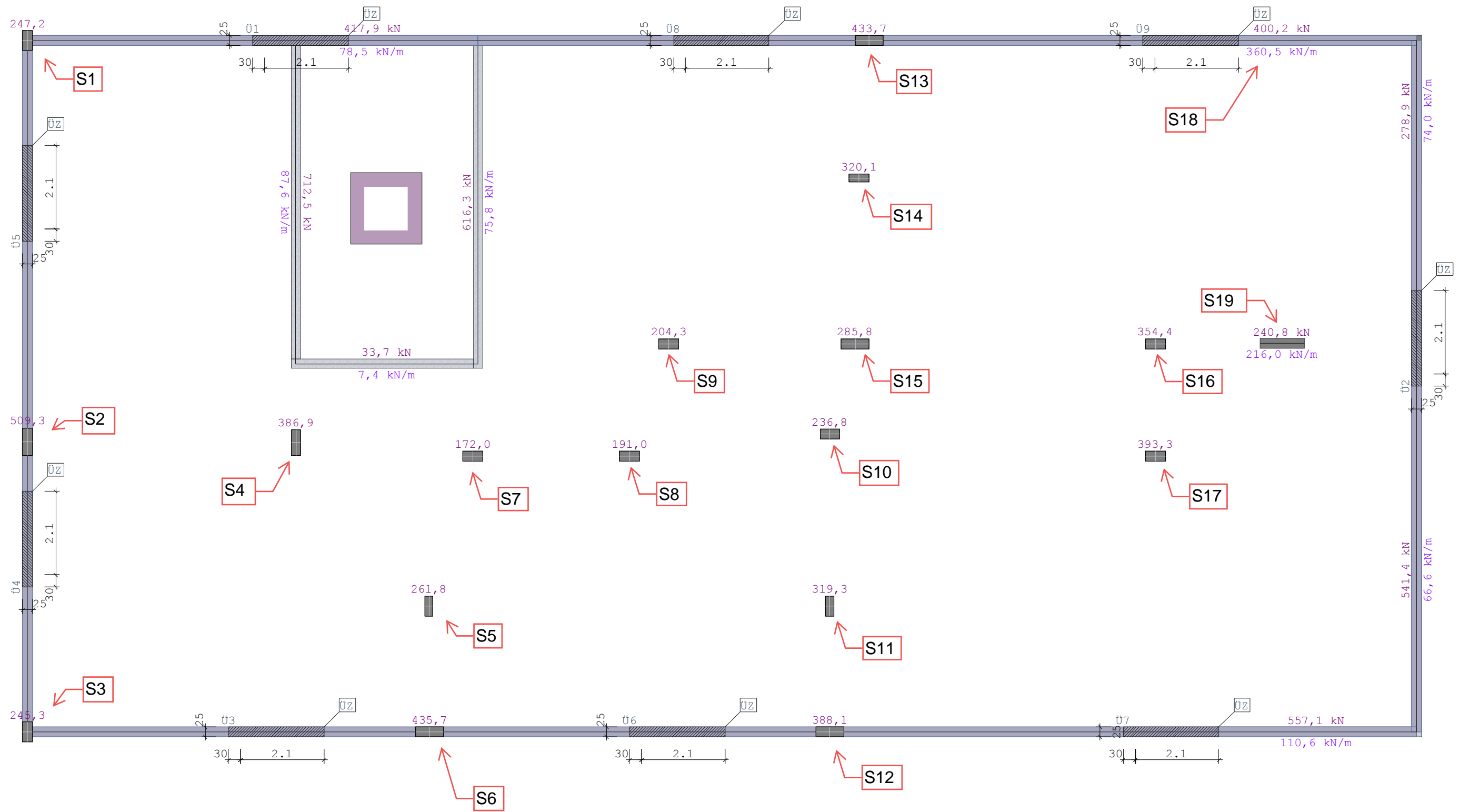
3.3. Bemessung und Bewehrung

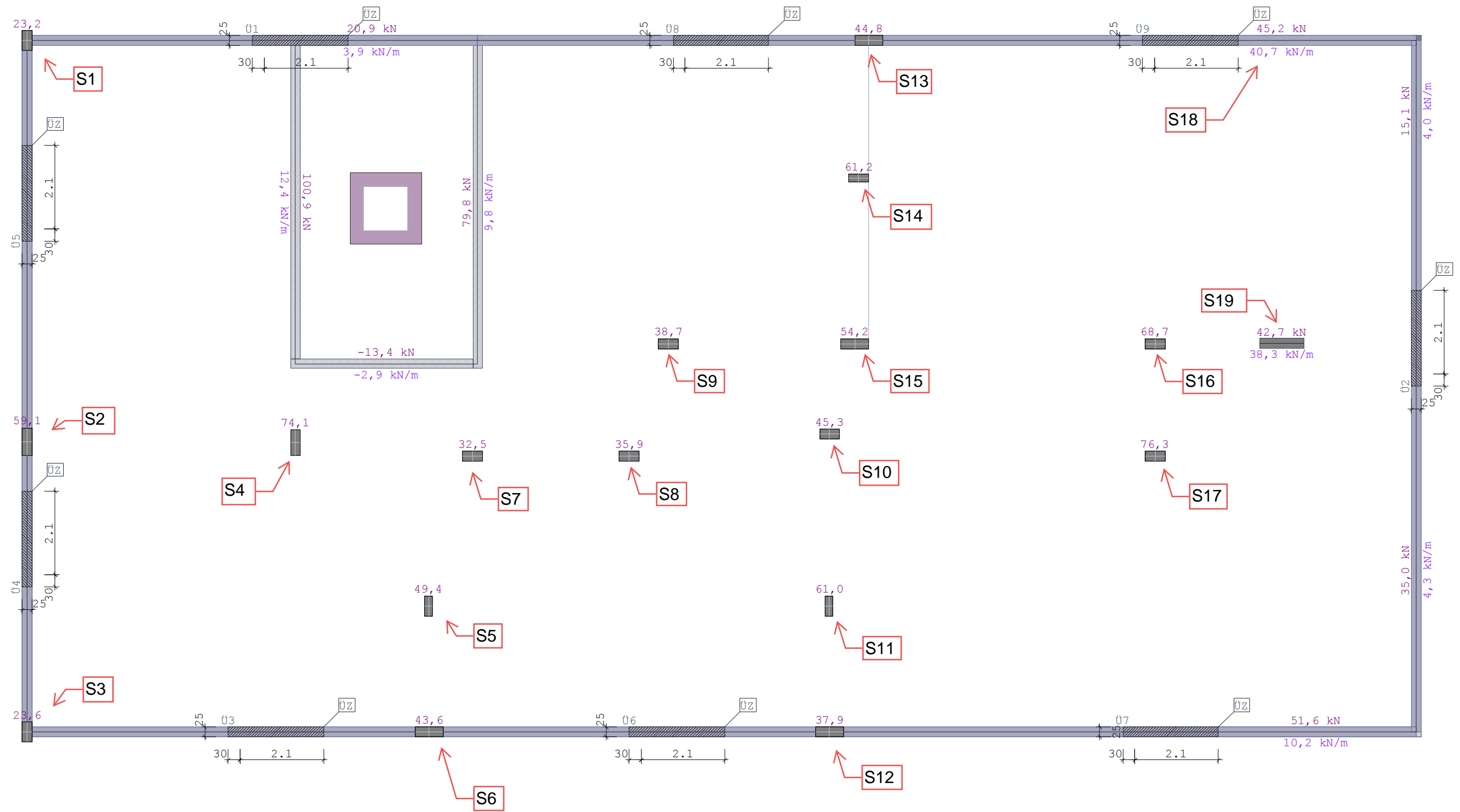
Die im Rahmen dieses Statikteils ermittelte Bewehrung kann im Zuge der Ausführungsplanung durch eine gleichwertige Bewehrungswahl ersetzt werden. Bei der Bewehrung der Stützen sind die Konstruktionsregeln nach DIN EN 1992-1-1 zu berücksichtigen. Gemäß DIN EN 1992-1-1 ist die Längsbewehrung durch Zwischenbügel oder S-Hacken zu sichern.

Die Bügeldurchmesser und -abstände sind im Zuge der Ausführungsplanung durch den Konstrukteur zu wählen. Dabei sind die Bewehrungsregeln gem. DIN EN 1992-1-1 zu beachten.

3.3.1 Ebene 5 - Übersicht Stb.-Stützen

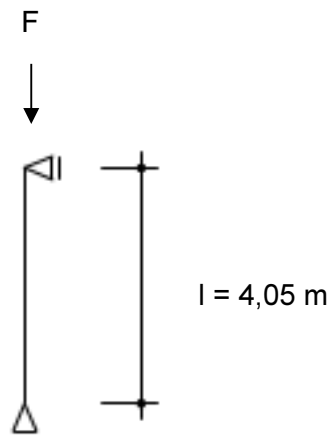
Abmessungen						Belastung				Bemessung			
Pos.		Breite [cm]	Dicke [cm]	Höhe [m]		G [kN]	Q [kN]	Ed [kN]		Betongüte	gewählt	vorh. As	wie
5-S1	Eckstütze	25	50	4,05		247,2	23,2	368,5		C40/50	12 Ø 14	18,5	
5-S2		25	70	4,05		509,3	59,1	776,2		C40/50	10 Ø 16	20,1	
5-S3	Eckstütze	25	50	4,05		245,3	23,6	366,6		C40/50	12 Ø 14	18,5	5-S1
5-S4		25	65	4,05		36,9	74,1	161,0		C40/50	10 Ø 16	20,1	
5-S5		22	50	4,05		261,8	49,4	427,5		C40/50	8 Ø 16	16,1	5-S11
5-S6		25	70	4,05		435,7	43,6	653,6		C40/50	10 Ø 16	20,1	5-S2
5-S7		25	50	4,05		172	32,5	281,0		C40/50	8 Ø 16	16,1	5-S17
5-S8		25	50	4,05		191	35,9	311,7		C40/50	8 Ø 16	16,1	5-S17
5-S9		25	50	4,05		204,3	38,7	333,9		C40/50	8 Ø 16	16,1	5-S17
5-S10		25	50	4,05		236,8	45,3	387,6		C40/50	8 Ø 16	16,1	5-S17
5-S11		22	50	4,05		319,3	61	522,6		C40/50	8 Ø 16	16,1	
5-S12		25	70	4,05		388,1	37,9	580,8		C40/50	10 Ø 16	20,1	5-S2
5-S13		25	70	4,05		433,7	44,8	652,7		C40/50	10 Ø 16	20,1	5-S2
5-S14		22	50	4,05		320,1	61,2	523,9		C40/50	8 Ø 16	16,1	5-S11
5-S15		25	70	4,05		285,8	54,2	467,1		C40/50	10 Ø 16	20,1	5-S2
5-S16		25	50	4,05		354,4	68,7	581,5		C40/50	8 Ø 16	16,1	5-S17
5-S17		25	50	4,05		393,3	76,3	645,4		C40/50	8 Ø 16	16,1	
5-S18		25	130	4,05		400,5	45,2	608,5		C40/50	16 Ø 10	12,6	
5-S19		25	130	4,05		240,8	42,7	389,1		C40/50	16 Ø 10	12,6	5-S19





5-S1 Stb.-Eckstütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 247,20 \text{ kN}$
 $q = 23,20 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

12 Ø 14 (18,5 cm²)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

5-S1 Stb.-Eckstütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

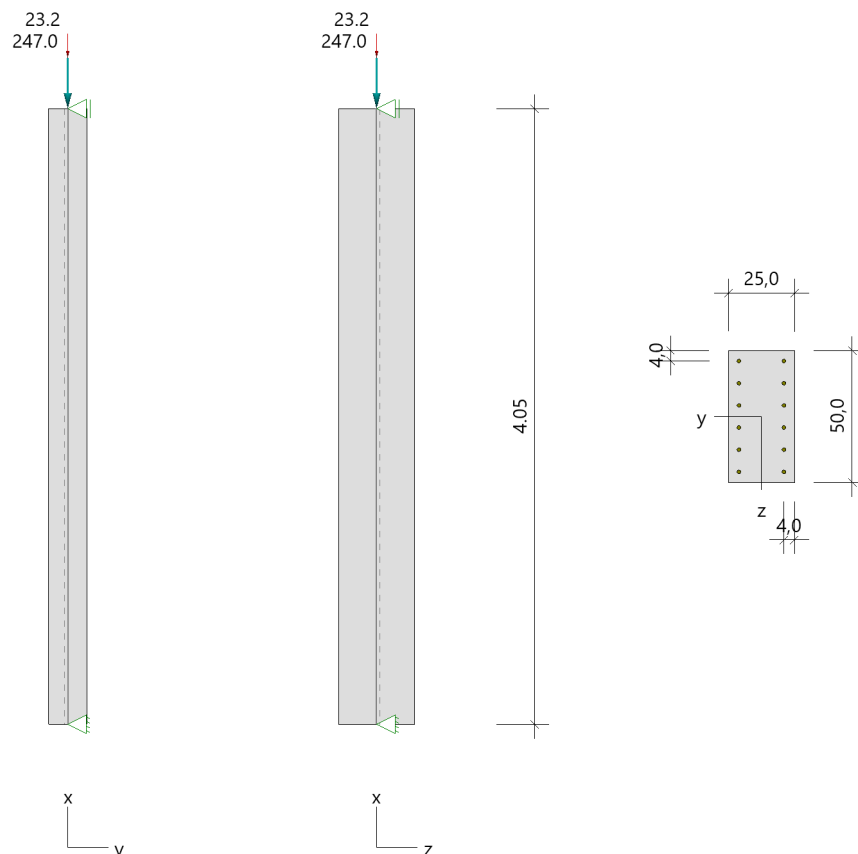
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 14 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 14 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:		
Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.91$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützhöhe	$l = 4.05 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/50.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.0/4.0 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
sonstige veränderliche Einwirkungen	0.80	0.70	0.50		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		247.0							ständig		
2	Stützenkopf		23.2							sonstig		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-3.13	4.05	-3.13	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach))
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach))

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 36,39$ in y- / 145,58 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	4.00	4.00	56.8	28.4	43.4	43.4	1.0	1.0	1.344	0.866

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-368.2	0.00	0.00	0.11	1.3 ¹	18.5	Querschnitt
	3.38	-371.1	1.93	-2.11	0.11	1.3 ¹	18.5	
	2.70	-373.9	3.37	-3.68	0.11	1.3 ¹	18.5	
	2.03	-376.8	3.94	-4.29	0.11	1.3 ¹	18.5	
	1.35	-379.6	3.38	-3.69	0.11	1.3 ¹	18.5	
	0.68	-382.5	1.94	-2.12	0.11	1.3 ¹	18.5	
	0.00	-385.3	0.00	0.00	0.11	1.3 ¹	18.5	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.05	0.00	0.05	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
			0.05	0.00	0.05	0.00	4
			0.1	0.00	0.1	0.00	3
Fußpunkt	0.00	259.7	-0.05	0.00	-0.05	0.00	2
		385.3	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1
		350.5	-0.1	0.00	-0.1	0.00	3
		294.4	-0.05	0.00	-0.05	0.00	4

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	12.7	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		247.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach	ständig
		23.2	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach	sonstig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	18.5

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	4.05	-270.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-272.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-274.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-276.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-278.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-280.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-282.8	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	4.05	-270.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-272.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-274.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-276.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-278.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-280.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-282.8	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	4.05	-270.2	0.00	0.00	0.00	-0.057	-11.38	400.00	0.00
1	3.38	-272.3	0.00	0.00	0.00	-0.057	-11.47	400.00	0.00
1	2.70	-274.4	0.00	0.00	0.00	-0.058	-11.56	400.00	0.00
1	2.03	-276.5	0.00	0.00	0.00	-0.058	-11.65	400.00	0.00
1	1.35	-278.6	0.00	0.00	0.00	-0.059	-11.73	400.00	0.00
1	0.68	-280.7	0.00	0.00	0.00	-0.059	-11.82	400.00	0.00
1	0.00	-282.8	0.00	0.00	0.00	-0.060	-11.91	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	4.05	-270.2	0.00	0.00	0.00	-0.057	-11.38	400.00	0.00
1	3.38	-272.3	0.00	0.00	0.00	-0.057	-11.47	400.00	0.00
1	2.70	-274.4	0.00	0.00	0.00	-0.058	-11.56	400.00	0.00
1	2.03	-276.5	0.00	0.00	0.00	-0.058	-11.65	400.00	0.00
1	1.35	-278.6	0.00	0.00	0.00	-0.059	-11.73	400.00	0.00
1	0.68	-280.7	0.00	0.00	0.00	-0.059	-11.82	400.00	0.00
1	0.00	-282.8	0.00	0.00	0.00	-0.060	-11.91	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	4.05	-258.6	0.00	0.00	-0.055	-1.92	-18.00	1.00		0.11
1	3.38	-260.7	0.00	0.00	-0.055	-1.94	-18.00	1.00		0.11
1	2.70	-262.8	0.00	0.00	-0.056	-1.95	-18.00	1.00		0.11
1	2.03	-264.9	0.00	0.00	-0.056	-1.97	-18.00	1.00		0.11
1	1.35	-267.0	0.00	0.00	-0.057	-1.98	-18.00	1.00		0.11
1	0.68	-269.1	0.00	0.00	-0.057	-2.00	-18.00	1.00		0.11
1	0.00	-271.2	0.00	0.00	-0.058	-2.02	-18.00	1.00		0.11

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,50*L2

A _{s,kalt} =	18.5 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	134 min
N _{Ed} =	-271.2 kN	μ _{fi} =	0.091
N _{Rd} =	-2983.9 kN		
M _{Ryd} =	35.20 kNm	M _{Rzd} =	-61.24 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 18.5 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	18.47*43.48/(1250.00*2.27)	=	0.28
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	4.05 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.09*(1+0.28)/((.85/0.85)+0.28)] =				75.5
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(40-30)	=	16.0 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-4.05)	=	9.12 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(75.5+16.0+9.12+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	134.0 min
Stützenlänge	l	= 4.05 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.68 ✓
Achsabstand	a	= 4.0 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.00 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.015 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.37 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 134.0 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.67 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	14	1.5	-8.5	-21.0
Bügel: 44Ø8 mm	2	14	1.5	8.5	-21.0
	3	14	1.5	8.5	21.0
	4	14	1.5	-8.5	21.0
	5	14	1.5	-8.5	-12.6
	6	14	1.5	8.5	-12.6

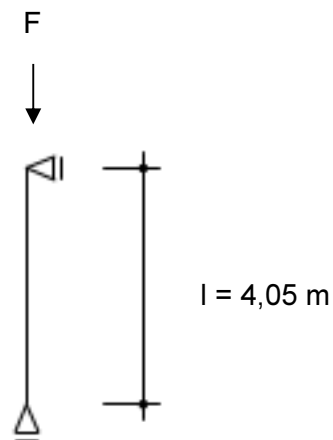
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	14	1.5	-8.5	-4.2
	8	14	1.5	8.5	-4.2
	9	14	1.5	-8.5	4.2
	10	14	1.5	8.5	4.2
	11	14	1.5	-8.5	12.6
	12	14	1.5	8.5	12.6
			18.5		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

5-S2 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht zusätzlich programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 509,30 \text{ kN}$
 $q = 59,10 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/70 \text{ cm}$

Bewehrung:

10 Ø 16 (20,1 cm²)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

5-S2 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

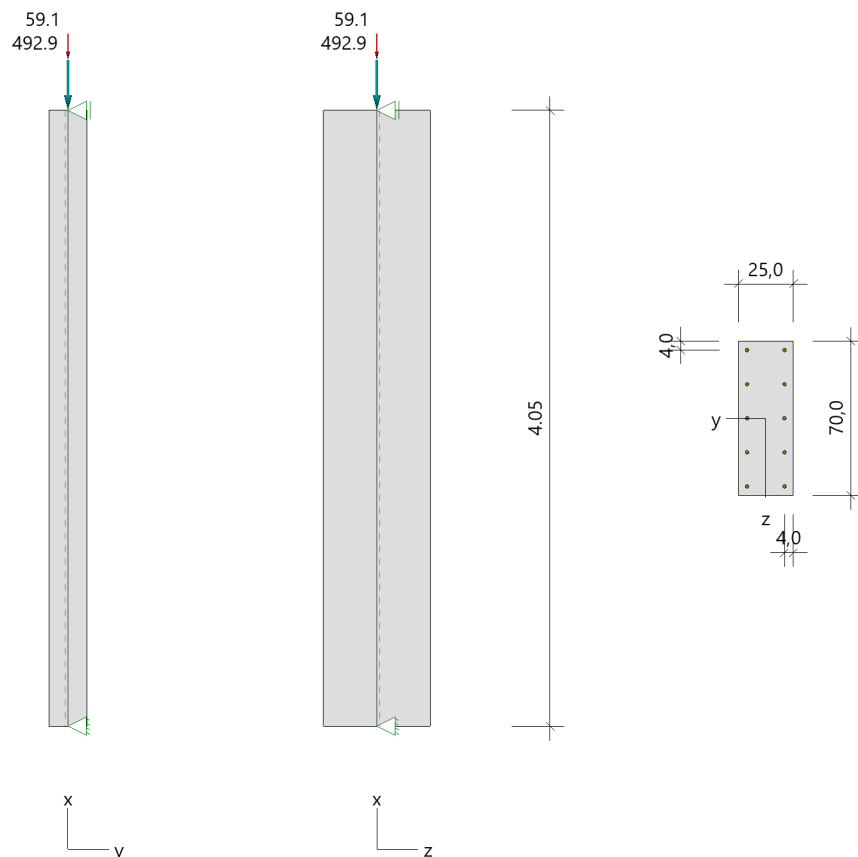
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:		
Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.88$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 4.05 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/70.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.0/4.0 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
sonstige veränderliche Einwirkungen	0.80	0.70	0.50		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		492.9							ständig		
2	Stützenkopf		59.1							sonstig		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-4.38	4.05	-4.38	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach))
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach))

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 25,06$ in y- / 196,47 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	4.02	4.02	56.6	20.2	36.1	36.1	1.0	1.0	1.307	0.875

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-754.1	0.00	0.00	0.15	2.7 ¹	20.1	Querschnitt
	3.38	-758.1	3.89	-4.50	0.15	2.7 ¹	20.1	
	2.70	-762.0	6.78	-7.85	0.15	2.7 ¹	20.1	
	2.03	-766.0	7.92	-9.15	0.15	2.7 ¹	20.1	
	1.35	-770.0	6.80	-7.87	0.15	2.7 ¹	20.1	
	0.68	-774.0	3.91	-4.53	0.15	2.7 ¹	20.1	
	0.00	-778.0	0.00	0.00	0.15	2.7 ¹	20.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,y}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
			0.1	0.00	0.1	0.00	4
			0.1	0.00	0.1	0.00	3
Fußpunkt	0.00	510.7	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		778.0	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1
		689.4	-0.1	0.00	-0.1	0.00	3
		599.3	-0.1	0.00	-0.1	0.00	4

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	17.7	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		492.9	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach	ständig
		59.1	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach	sonstig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-552.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-555.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-557.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-560.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-563.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-566.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-569.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-552.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-555.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-557.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-560.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-563.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-566.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-569.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-552.0	0.00	0.00	0.00	-0.085	-16.93	400.00	0.00
1	3.38	-555.0	0.00	0.00	0.00	-0.085	-17.02	400.00	0.00
1	2.70	-557.9	0.00	0.00	0.00	-0.086	-17.11	400.00	0.00
1	2.03	-560.9	0.00	0.00	0.00	-0.086	-17.20	400.00	0.00
1	1.35	-563.8	0.00	0.00	0.00	-0.086	-17.29	400.00	0.00
1	0.68	-566.8	0.00	0.00	0.00	-0.087	-17.38	400.00	0.00
1	0.00	-569.7	0.00	0.00	0.00	-0.087	-17.47	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-552.0	0.00	0.00	0.00	-0.085	-16.93	400.00	0.00
1	3.38	-555.0	0.00	0.00	0.00	-0.085	-17.02	400.00	0.00
1	2.70	-557.9	0.00	0.00	0.00	-0.086	-17.11	400.00	0.00
1	2.03	-560.9	0.00	0.00	0.00	-0.086	-17.20	400.00	0.00
1	1.35	-563.8	0.00	0.00	0.00	-0.086	-17.29	400.00	0.00
1	0.68	-566.8	0.00	0.00	0.00	-0.087	-17.38	400.00	0.00
1	0.00	-569.7	0.00	0.00	0.00	-0.087	-17.47	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	4.05	-522.5	0.00	0.00	-0.080	-2.81	-18.00	1.00		0.16
1	3.38	-525.4	0.00	0.00	-0.081	-2.83	-18.00	1.00		0.16
1	2.70	-528.4	0.00	0.00	-0.081	-2.84	-18.00	1.00		0.16
1	2.03	-531.3	0.00	0.00	-0.082	-2.86	-18.00	1.00		0.16
1	1.35	-534.3	0.00	0.00	-0.082	-2.88	-18.00	1.00		0.16
1	0.68	-537.2	0.00	0.00	-0.083	-2.89	-18.00	1.00		0.16
1	0.00	-540.2	0.00	0.00	-0.083	-2.91	-18.00	1.00		0.16

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,50*L2

A _{s,kalt} =	20.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	127 min
N _{Ed} =	-540.2 kN	μ _{fi} =	0.137
N _{Rd} =	-3931.8 kN		
M _{Ryd} =	39.27 kNm	M _{Rzd} =	-83.94 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 20.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	20.11*43.48/(1750.00*2.27)	=	0.22
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	4.05 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.14*(1+0.22)/((.85/0.85)+0.22)]	=		=	71.6
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(40-30)	=	16.0 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-4.05)	=	9.12 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(71.6+16.0+9.12+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	126.8 min
Stützenlänge	l	= 4.05 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.68 ✓
Achsabstand	a	= 4.0 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.80 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.70 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.011 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.29 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 126.8 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.71 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-8.5	-31.0
Bügel: 53Ø8 mm	2	16	2.0	8.5	-31.0
	3	16	2.0	8.5	31.0
	4	16	2.0	-8.5	31.0
	5	16	2.0	-8.5	-15.5
	6	16	2.0	8.5	-15.5

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	-8.5	0.0
	8	16	2.0	8.5	0.0
	9	16	2.0	-8.5	15.5
	10	16	2.0	8.5	15.5

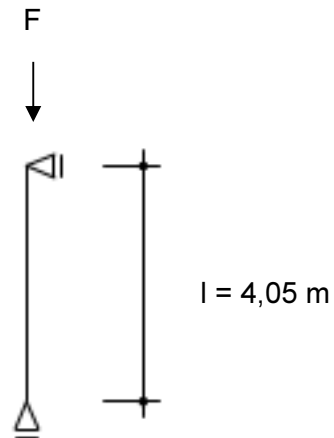
20.1

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.2	2.4

5-S4 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 36,90 \text{ kN}$
 $q = 74,10 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/65 \text{ cm}$

Bewehrung:

10 Ø 16 ($20,1 \text{ cm}^2$)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

5-S4 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

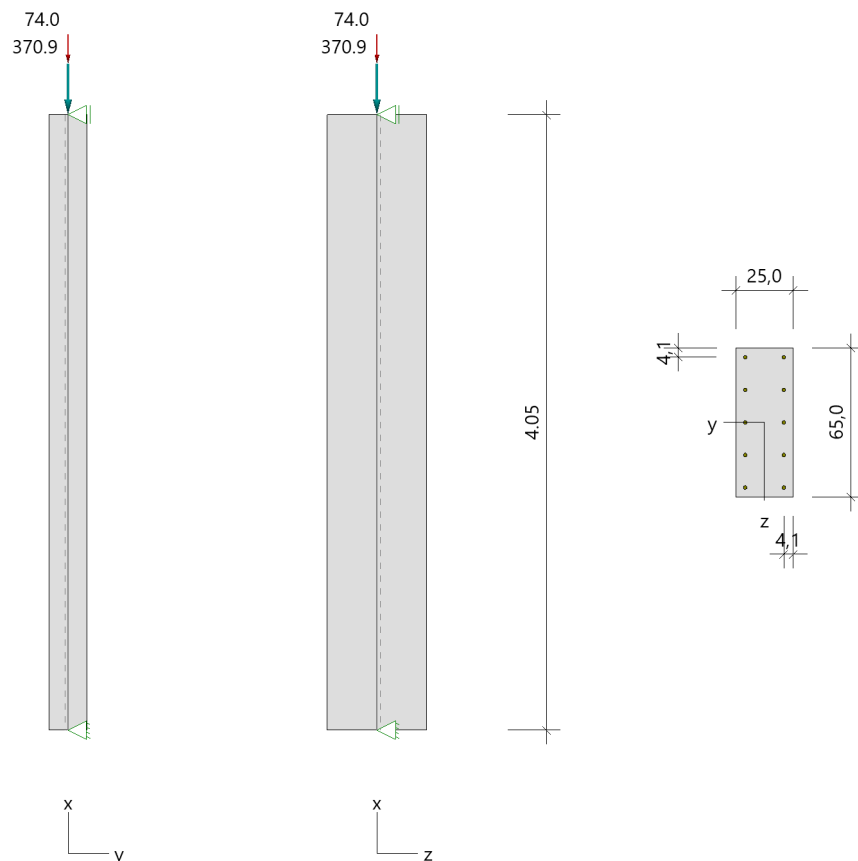
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*1: mit $c_{min,b}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R

Belastungsalter $t_0 = 28 \text{ Tage}$

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 1.89$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützhöhe	$l = 4.05 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/65.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
sonstige veränderliche Einwirkungen	0.80	0.70	0.50		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		370.9							ständig		
2	Stützenkopf		74.0							sonstig		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-4.06	4.05	-4.06	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach))
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach))

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 28,62$ in y- / $193,49$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	4.01	4.01	56.6	21.8	38.6	38.6	1.0	1.0	1.263	0.862

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-611.7	0.00	0.00	0.13	2.2 ¹	20.1	Querschnitt
	3.38	-615.4	3.17	-3.58	0.13	2.2 ¹	20.1	
	2.70	-619.1	5.52	-6.24	0.13	2.2 ¹	20.1	
	2.03	-622.8	6.45	-7.28	0.13	2.2 ¹	20.1	
	1.35	-626.5	5.53	-6.26	0.13	2.2 ¹	20.1	
	0.68	-630.2	3.18	-3.60	0.13	2.2 ¹	20.1	
	0.00	-633.9	0.00	0.00	0.13	2.2 ¹	20.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
			0.1	0.00	0.1	0.00	4
			0.1	0.00	0.1	0.00	3
Fußpunkt	0.00	387.4	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		633.9	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1
		523.0	-0.1	0.00	-0.1	0.00	3
		498.3	-0.1	0.00	-0.1	0.00	4

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	16.5	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		370.9	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach	ständig
		74.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach	sonstig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-444.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-447.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-450.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-453.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-455.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-458.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-461.3	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-444.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-447.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-450.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-453.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-455.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-458.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-461.3	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-444.9	0.00	0.00	0.00	-0.073	-14.62	400.00	0.00
1	3.38	-447.6	0.00	0.00	0.00	-0.074	-14.71	400.00	0.00
1	2.70	-450.4	0.00	0.00	0.00	-0.074	-14.80	400.00	0.00
1	2.03	-453.1	0.00	0.00	0.00	-0.074	-14.89	400.00	0.00
1	1.35	-455.8	0.00	0.00	0.00	-0.075	-14.98	400.00	0.00
1	0.68	-458.6	0.00	0.00	0.00	-0.075	-15.07	400.00	0.00
1	0.00	-461.3	0.00	0.00	0.00	-0.076	-15.16	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-444.9	0.00	0.00	0.00	-0.073	-14.62	400.00	0.00
1	3.38	-447.6	0.00	0.00	0.00	-0.074	-14.71	400.00	0.00
1	2.70	-450.4	0.00	0.00	0.00	-0.074	-14.80	400.00	0.00
1	2.03	-453.1	0.00	0.00	0.00	-0.074	-14.89	400.00	0.00
1	1.35	-455.8	0.00	0.00	0.00	-0.075	-14.98	400.00	0.00
1	0.68	-458.6	0.00	0.00	0.00	-0.075	-15.07	400.00	0.00
1	0.00	-461.3	0.00	0.00	0.00	-0.076	-15.16	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	4.05	-407.9	0.00	0.00	-0.067	-2.36	-18.00	1.00		0.13
1	3.38	-410.6	0.00	0.00	-0.068	-2.37	-18.00	1.00		0.13
1	2.70	-413.4	0.00	0.00	-0.068	-2.39	-18.00	1.00		0.13
1	2.03	-416.1	0.00	0.00	-0.069	-2.40	-18.00	1.00		0.13
1	1.35	-418.9	0.00	0.00	-0.069	-2.42	-18.00	1.00		0.13
1	0.68	-421.6	0.00	0.00	-0.070	-2.43	-18.00	1.00		0.14
1	0.00	-424.4	0.00	0.00	-0.070	-2.45	-18.00	1.00		0.14

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,50*L2

A _{s,kalt} =	20.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	133 min
N _{Ed} =	-424.4 kN	μ _{fi} =	0.114
N _{Rd} =	-3707.8 kN		
M _{Ryd} =	37.00 kNm	M _{Rzd} =	-78.50 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 20.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	20.11*43.48/(1625.00*2.27)	=	0.24
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	4.05 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)]	=	83*[1.00-0.11*(1+0.24)/((.85/0.85)+0.24)]	=	73.5
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(41-30)	=	17.6 mm
R _i	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-4.05)	=	9.12 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _i +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(73.5+17.6+9.12+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	133.3 min
Stützenlänge	l	= 4.05 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.68 ✓
Achsabstand	a	= 4.1 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.51 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.60 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.65 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.012 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.31 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 133.3 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.68 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-8.4	-28.4
Bügel: 54Ø8 mm	2	16	2.0	8.4	-28.4
	3	16	2.0	8.4	28.4
	4	16	2.0	-8.4	28.4
	5	16	2.0	-8.4	-14.2
	6	16	2.0	8.4	-14.2

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	-8.4	0.0
	8	16	2.0	8.4	0.0
	9	16	2.0	-8.4	14.2
	10	16	2.0	8.4	14.2

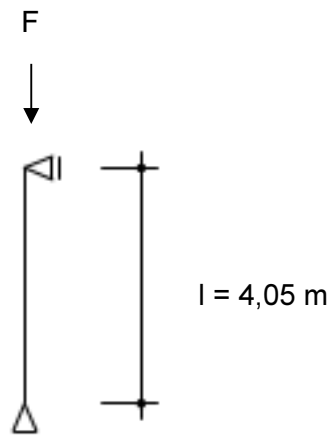
20.1

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

5-S11 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 319,30$	kN
$q = 61,00$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
$b/h = 22/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

8 Ø 16 (16,1 cm ²)
Bügel: Ø 8 15 cm

5-S11 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

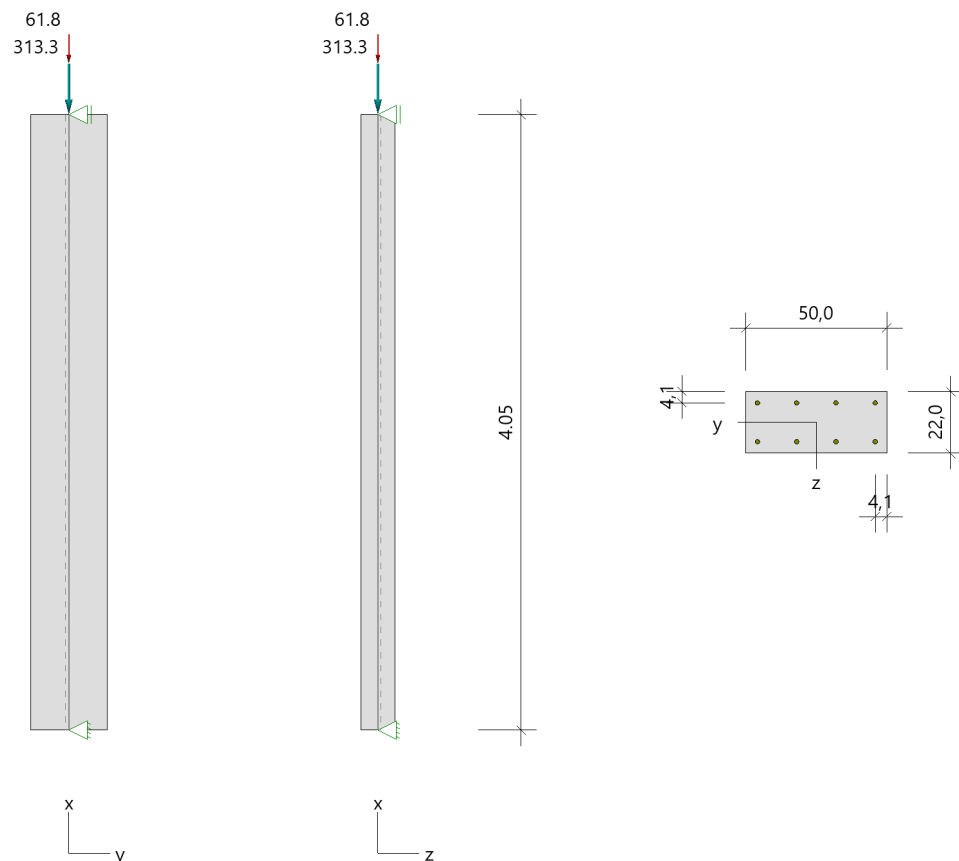
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:	
Luftfeuchte	LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.94$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützhöhe	$l = 4.05 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 50.0/22.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
sonstige veränderliche Einwirkungen	0.80	0.70	0.50		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		313.3							ständig		
2	Stützenkopf		61.8							sonstig		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.75	4.05	-2.75	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach))
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach))

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{ct,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 92,28$ in y- / 17,86 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	4.02	4.02	28.3	64.2	34.7	34.7	1.0	1.0	1.294	0.879

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-515.6	0.00	0.00	0.17	1.8 ¹	16.1	Querschnitt
	3.38	-518.1	3.31	-2.72	0.17	1.8 ¹	16.1	
	2.70	-520.6	5.77	-4.73	0.17	1.8 ¹	16.1	
	2.03	-523.1	6.73	-5.53	0.17	1.8 ¹	16.1	
	1.35	-525.6	5.78	-4.74	0.17	1.8 ¹	16.1	
	0.68	-528.1	3.33	-2.73	0.17	1.8 ¹	16.1	
	0.00	-530.6	0.00	0.00	0.17	1.8 ¹	16.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.04 0.1	0.00 0.00	0.04 0.1	0.00 0.00	2 1
Fußpunkt	0.00	324.4 530.6	-0.04 -0.1	0.00 0.00	-0.04 -0.1	0.00 0.00	2 1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	11.1 313.3 61.8	0.0 0.0 0.0	0.00 0.00 0.00	0.0 0.0 0.0	0.00 0.00 0.00	Stützeigengewicht Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach	ständig ständig sonstig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	16.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-375.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-376.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-378.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-380.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-382.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-384.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-386.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-375.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-376.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-378.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-380.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-382.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-384.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-386.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-375.0	0.00	0.00	0.00	-0.090	-17.91	400.00	0.00
1	3.38	-376.9	0.00	0.00	0.00	-0.090	-18.00	400.00	0.00
1	2.70	-378.7	0.00	0.00	0.00	-0.090	-18.09	400.00	0.00
1	2.03	-380.6	0.00	0.00	0.00	-0.091	-18.18	400.00	0.00
1	1.35	-382.5	0.00	0.00	0.00	-0.091	-18.26	400.00	0.00
1	0.68	-384.3	0.00	0.00	0.00	-0.092	-18.35	400.00	0.00
1	0.00	-386.2	0.00	0.00	0.00	-0.092	-18.44	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-375.0	0.00	0.00	0.00	-0.090	-17.91	400.00	0.00
1	3.38	-376.9	0.00	0.00	0.00	-0.090	-18.00	400.00	0.00
1	2.70	-378.7	0.00	0.00	0.00	-0.090	-18.09	400.00	0.00
1	2.03	-380.6	0.00	0.00	0.00	-0.091	-18.18	400.00	0.00
1	1.35	-382.5	0.00	0.00	0.00	-0.091	-18.26	400.00	0.00
1	0.68	-384.3	0.00	0.00	0.00	-0.092	-18.35	400.00	0.00
1	0.00	-386.2	0.00	0.00	0.00	-0.092	-18.44	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	4.05	-344.2	0.00	0.00	-0.083	-2.91	-18.00	1.00		0.16
1	3.38	-346.0	0.00	0.00	-0.084	-2.93	-18.00	1.00		0.16
1	2.70	-347.9	0.00	0.00	-0.084	-2.94	-18.00	1.00		0.16
1	2.03	-349.7	0.00	0.00	-0.085	-2.96	-18.00	1.00		0.16
1	1.35	-351.6	0.00	0.00	-0.085	-2.97	-18.00	1.00		0.17
1	0.68	-353.4	0.00	0.00	-0.085	-2.99	-18.00	1.00		0.17
1	0.00	-355.3	0.00	0.00	-0.086	-3.01	-18.00	1.00		0.17

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,50*L2

A _{s,kalt}	=	16.1 cm ²	R(A _{s,kalt})	=	121 min
N _{Ed}	=	-355.3 kN	μ _{fi}	=	0.157
N _{Rd}	=	-2256.4 kN			
M _{Ryd}	=	68.26 kNm	M _{Rzd}	=	-29.47 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 16.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	16.08*43.48/(1100.00*2.27)	=	0.28
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 220.0	=	264.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor			=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m			=	4.05 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc}) + ω)]	=	83*[1.00-0.16*(1+0.28)/((.85/0.85)+0.28)]	=	69.9
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(41-30)	=	17.6 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-4.05)	=	9.12 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*264.00	=	23.8 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden			=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(69.9+17.6+9.12+23.76+0)/120] ^{1.8}	=	120.7 min
Stützenlänge	l	= 4.05 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.68 ✓
Achsabstand	a	= 4.1 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.51 ✓
Verhältnis	b/h	= 2.27 ≤	b/h _{max}	= 4.00	η	= 0.57 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.015 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.37 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 264 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.59 ✓
Branddauer	R	= 120.7 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.75 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-20.9	-6.9
Bügel: 39Ø8 mm	2	16	2.0	20.9	-6.9
	3	16	2.0	20.9	6.9
	4	16	2.0	-20.9	6.9
	5	16	2.0	-7.0	-6.9
	6	16	2.0	-7.0	6.9

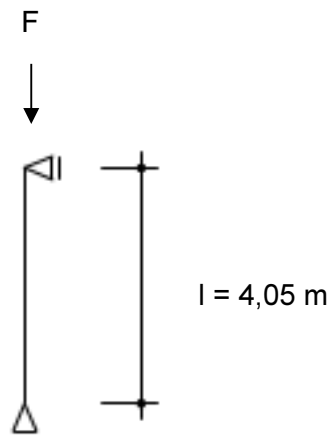
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	7.0	-6.9
	8	16	2.0	7.0	6.9
			16.1		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

5-S17 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 393,50 \text{ kN}$
 $q = 76,50 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

8 Ø 16 ($16,1 \text{ cm}^2$)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

5-S17 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

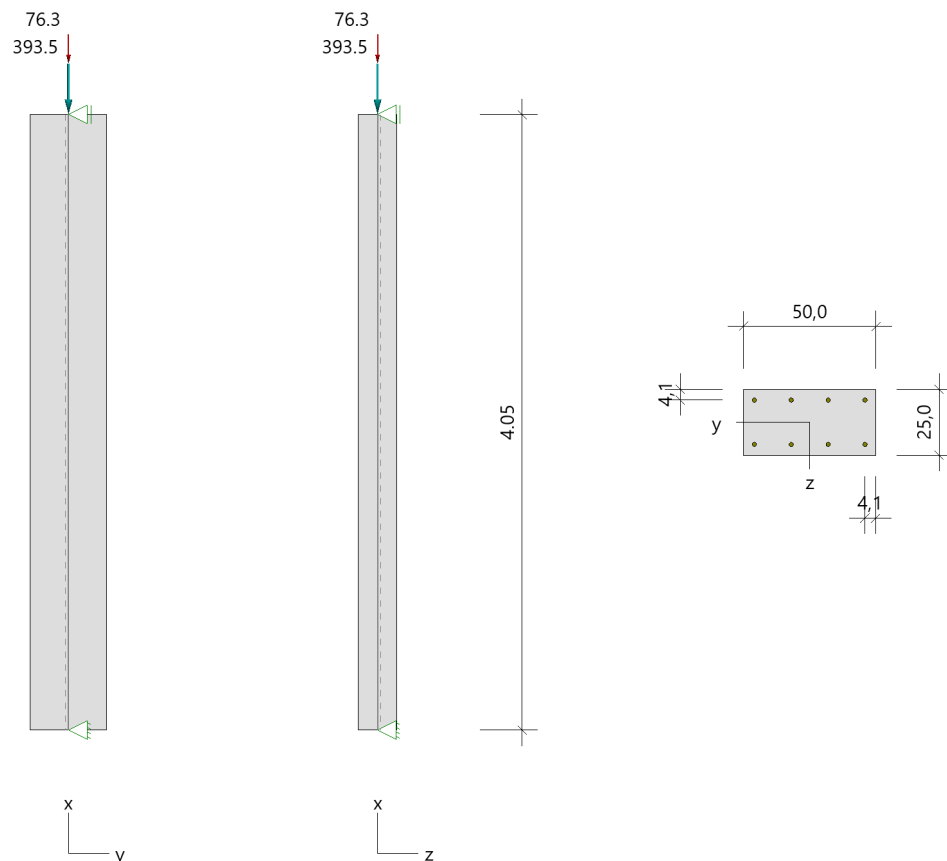
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*1: mit $c_{min,b}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R

Belastungsalter $t_0 = 28 \text{ Tage}$

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 1.91$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützhöhe	$l = 4.05 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 50.0/25.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
sonstige veränderliche Einwirkungen	0.80	0.70	0.50		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		393.5							ständig		
2	Stützenkopf		76.3							sonstig		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-3.13	4.05	-3.13	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach))
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach))

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{ct,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 83,84$ in y- / 20,96 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	4.02	4.02	28.2	56.5	33.1	33.1	1.0	1.0	1.280	0.881

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-645.7	0.00	0.00	0.18	2.3 ¹	16.1	Querschnitt
	3.38	-648.5	3.97	-3.41	0.18	2.3 ¹	16.1	
	2.70	-651.4	6.92	-5.94	0.18	2.3 ¹	16.1	
	2.03	-654.2	8.07	-6.94	0.18	2.3 ¹	16.1	
	1.35	-657.1	6.94	-5.95	0.18	2.3 ¹	16.1	
	0.68	-659.9	3.99	-3.42	0.18	2.3 ¹	16.1	
	0.00	-662.8	0.00	0.00	0.18	2.3 ¹	16.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.05	0.00	0.05	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00		-0.05	0.00	-0.05	0.00	2
			-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	12.7	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		393.5	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall G(Decke über Ebene 5 (Dach	ständig
		76.3	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall Q(Decke über Ebene 5 (Dach	sonstig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	16.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-469.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-471.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-474.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-476.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-478.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-480.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-482.5	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-469.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-471.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-474.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-476.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-478.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-480.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-482.5	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-469.8	0.00	0.00	0.00	-0.100	-19.95	400.00	0.00
1	3.38	-471.9	0.00	0.00	0.00	-0.100	-20.04	400.00	0.00
1	2.70	-474.0	0.00	0.00	0.00	-0.101	-20.13	400.00	0.00
1	2.03	-476.1	0.00	0.00	0.00	-0.101	-20.22	400.00	0.00
1	1.35	-478.2	0.00	0.00	0.00	-0.102	-20.31	400.00	0.00
1	0.68	-480.4	0.00	0.00	0.00	-0.102	-20.40	400.00	0.00
1	0.00	-482.5	0.00	0.00	0.00	-0.102	-20.49	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-469.8	0.00	0.00	0.00	-0.100	-19.95	400.00	0.00
1	3.38	-471.9	0.00	0.00	0.00	-0.100	-20.04	400.00	0.00
1	2.70	-474.0	0.00	0.00	0.00	-0.101	-20.13	400.00	0.00
1	2.03	-476.1	0.00	0.00	0.00	-0.101	-20.22	400.00	0.00
1	1.35	-478.2	0.00	0.00	0.00	-0.102	-20.31	400.00	0.00
1	0.68	-480.4	0.00	0.00	0.00	-0.102	-20.40	400.00	0.00
1	0.00	-482.5	0.00	0.00	0.00	-0.102	-20.49	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	4.05	-431.7	0.00	0.00	-0.092	-3.24	-18.00	1.00		0.18
1	3.38	-433.8	0.00	0.00	-0.093	-3.25	-18.00	1.00		0.18
1	2.70	-435.9	0.00	0.00	-0.093	-3.27	-18.00	1.00		0.18
1	2.03	-438.0	0.00	0.00	-0.094	-3.28	-18.00	1.00		0.18
1	1.35	-440.1	0.00	0.00	-0.094	-3.30	-18.00	1.00		0.18
1	0.68	-442.2	0.00	0.00	-0.095	-3.31	-18.00	1.00		0.18
1	0.00	-444.3	0.00	0.00	-0.095	-3.33	-18.00	1.00		0.19

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,50*L2

A _{s,kalt} =	16.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	127 min
N _{Ed} =	-444.3 kN	μ _{fi} =	0.157
N _{Rd} =	-2835.9 kN		
M _{Ryd} =	62.60 kNm	M _{Rzd} =	-34.19 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 16.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	16.08*43.48/(1250.00*2.27)	=	0.25
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	4.05 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.16*(1+0.25)/((.85/0.85)+0.25)]	=		=	70.0
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(41-30)	=	17.6 mm
R _i	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-4.05)	=	9.12 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _i +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(70.0+17.6+9.12+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	126.8 min
Stützenlänge	l	= 4.05 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.68 ✓
Achsabstand	a	= 4.1 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.51 ✓
Verhältnis	b/h	= 2.00 ≤	b/h _{max}	= 4.00	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.013 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.32 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 126.8 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.71 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-20.9	-8.4
Bügel: 39Ø8 mm	2	16	2.0	20.9	-8.4
	3	16	2.0	20.9	8.4
	4	16	2.0	-20.9	8.4
	5	16	2.0	-7.0	-8.4
	6	16	2.0	-7.0	8.4

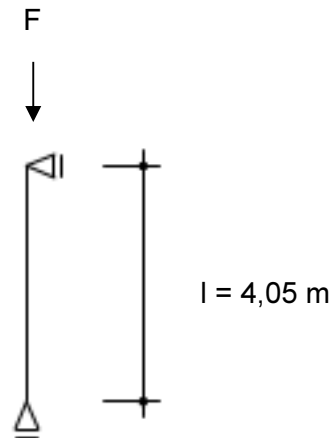
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	7.0	-8.4
	8	16	2.0	7.0	8.4
			16.1		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

5-S18 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 400,50$	kN
$q = 45,50$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
$b/h = 25/130 \text{ cm}$

Bewehrung:

12 Ø 10 (12,6 cm ²)
Bügel: Ø 8 15 cm

5-S18 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

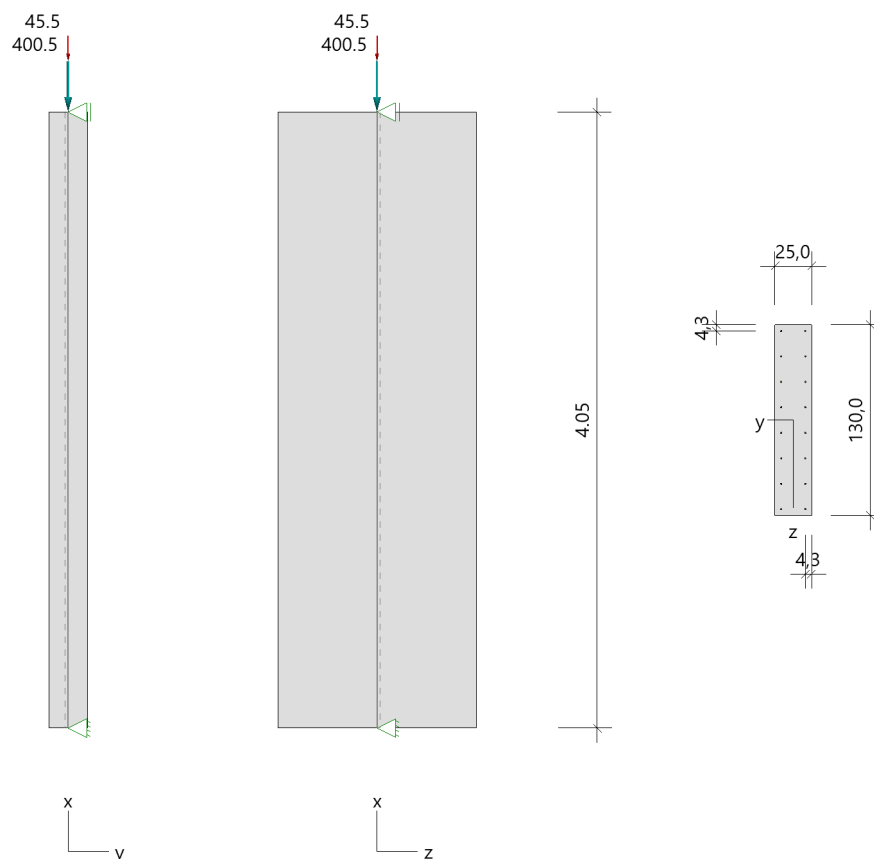
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 10 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 10 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 2.85$ (Benutzervorgabe)

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützhöhe	$l = 4.05 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/130.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.3/4.3 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche	0.70	0.70	0.60		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		400.5							ständig		
2	Stützenkopf		45.5							Kat. C		

Punktlasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stützenkopf		32.9							ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Kopflast ständig

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- Ansatz Eigengewicht am Stützenabschnittskopf
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Langzeitauswirkungen werden über Ansatz des irreversiblen Anteils der Kriechbiegeline als spannungsfreie Anfangsverformung erfasst
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- Mindestausmittungen 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 54,57$ in y- / $1475,52$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2*1	LK3*1	LK4*1
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

1 : keine Berechnung nach Th. II. Ordnung, da $\lambda \leq \lambda_{lim}$ nach EN 1992-1-1, 5.8.3.1

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_∞	f_{red}
1	1	Schlanke Wand	4.05	4.05	56.1	10.8	53.7	53.7	1.0	1.0	2.850	0.678

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-653.3	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	Querschnitt
	3.38	-653.3	3.24	-3.36	0.30	9.8 ¹	12.6	
	2.70	-653.3	5.64	-5.86	0.30	9.8 ¹	12.6	
	2.03	-653.3	6.58	-6.83	0.30	9.8 ¹	12.6	
	1.35	-653.3	5.64	-5.86	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.68	-653.3	3.24	-3.36	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.00	-653.3	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.6.2 (1)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.0	0.00	0.0	0.00	1
			0.0	0.00	0.0	0.00	4
Fußpunkt	0.00	433.4	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		653.3	0.0	0.00	0.0	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}^*$ [cm]	$e_{i,z}^*$ [cm]	ϕ_∞	f_{red}
1	1	Schlanke Wand	4.05	4.05	56.1	10.8	0.0	0.0	0.4	0.4	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-460.7	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	Querschnitt
	3.38	-460.7	0.94	-1.45	0.39	12.6	12.6	
	2.70	-460.7	1.63	-2.53	0.39	12.6	12.6	
	2.03	-460.7	1.90	-2.94	0.39	12.6	12.6	
	1.35	-460.7	1.63	-2.53	0.39	12.6	12.6	
	0.68	-460.7	0.94	-1.45	0.39	12.6	12.6	
	0.00	-460.7	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.0	0.00	0.0	0.00	1
			0.0	0.00	0.0	0.00	2
Fußpunkt	0.00	433.4	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		460.7	0.0	0.00	0.0	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	32.9	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		400.5	0.0	0.00	0.0	0.00	Kopflast	ständig
		45.5	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	12.6

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1*1	LK2*1
g	g	g
1	g	g
2	x	

1 : keine Berechnung nach Th. II. Ordnung, da $\lambda \leq \lambda_{lim}$ nach EN 1992-1-1, 5.8.3.1

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.68	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-478.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	4.05	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	3.38	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	2.70	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	2.03	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	1.35	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	0.68	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	0.00	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	4.05	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	3.38	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	2.70	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	2.03	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	1.35	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	0.68	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00
1	0.00	-478.9	0.00	0.00	0.00	-0.041	-8.27	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1*1	LK2*1
g	g	g
1	g	g
2	x	

1 : keine Berechnung nach Th. II. Ordnung, da λ ≤ λ_{lim} nach EN 1992-1-1, 5.8.3.1

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	4.05	-460.7	0.00	0.00	-0.040	-1.39	-18.00	1.00		0.08
1	3.38	-460.7	0.00	0.00	-0.040	-1.39	-18.00	1.00		0.08
1	2.70	-460.7	0.00	0.00	-0.040	-1.39	-18.00	1.00		0.08
1	2.03	-460.7	0.00	0.00	-0.040	-1.39	-18.00	1.00		0.08
1	1.35	-460.7	0.00	0.00	-0.040	-1.39	-18.00	1.00		0.08
1	0.68	-460.7	0.00	0.00	-0.040	-1.39	-18.00	1.00		0.08
1	0.00	-460.7	0.00	0.00	-0.040	-1.39	-18.00	1.00		0.08

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
Abschnitt 1 Bügel: 13Ø8 mm	1	10	0.8	-8.2	-60.7	607	38
	2	10	0.8	8.2	-60.7	607	38
	3	10	0.8	8.2	60.7	607	38
	4	10	0.8	-8.2	60.7	607	38
	5	10	0.8	-8.2	-43.4	386	95
	6	10	0.8	8.2	-43.4	386	95
	7	10	0.8	-8.2	-26.1	385	95
	8	10	0.8	8.2	-26.1	385	95
	9	10	0.8	-8.2	-8.7	385	95
	10	10	0.8	8.2	-8.7	385	95
	11	10	0.8	-8.2	8.7	385	95
	12	10	0.8	8.2	8.7	385	95
	13	10	0.8	-8.2	26.1	385	95
	14	10	0.8	8.2	26.1	385	95
	15	10	0.8	-8.2	43.4	386	95
	16	10	0.8	8.2	43.4	386	95
12.6							

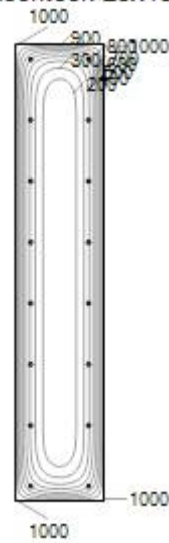
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. c _{nom,L} [cm]	erf. c _{nom,B} [cm]	vorh. c _{nom,L} [cm]	vorh. c _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.8	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

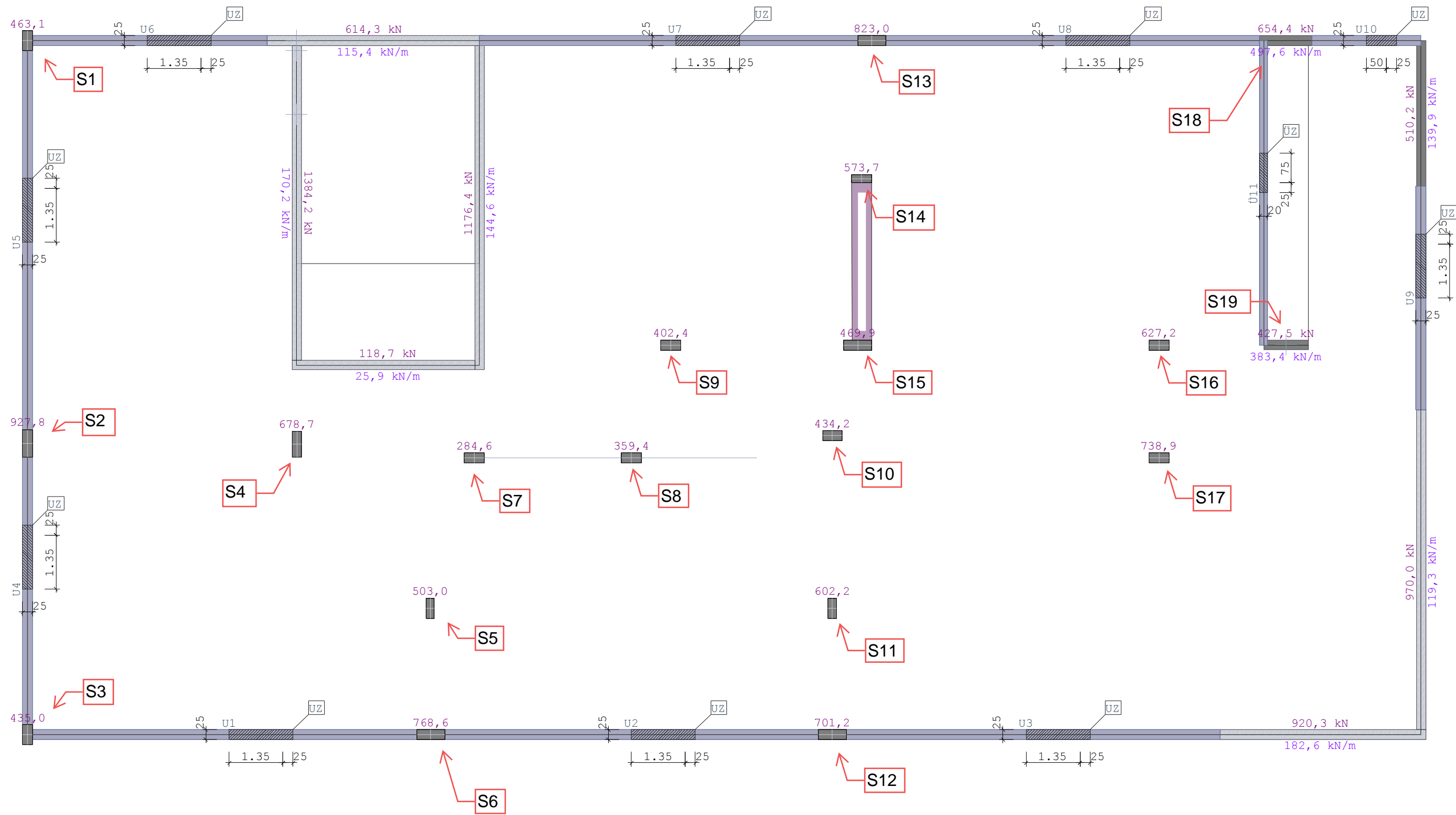
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m ² K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m ³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.0 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

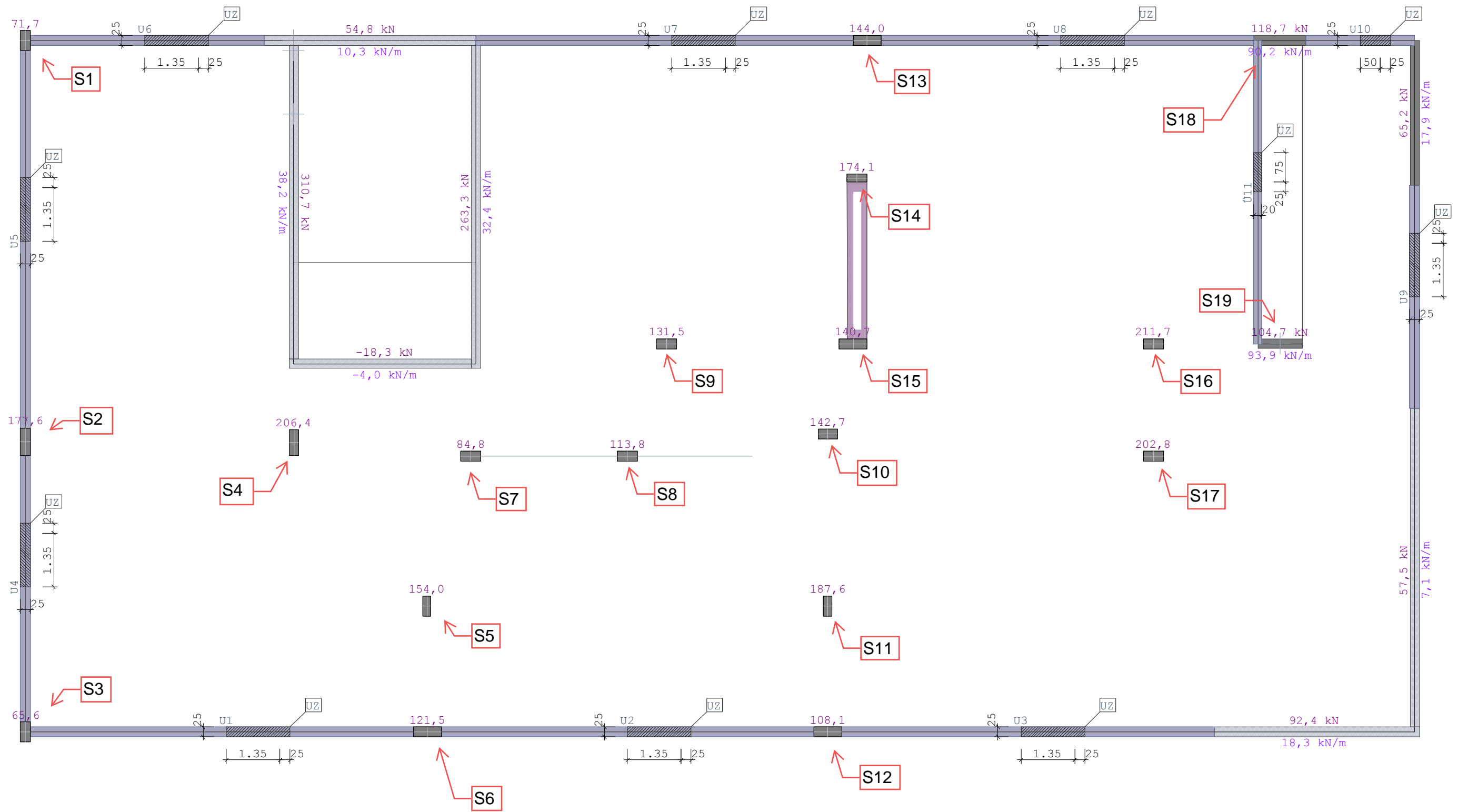
Temperaturfeld Rechteck 25x130 t=90min



3.3.2. Ebene 4 - Übersicht Stb.-Stützen

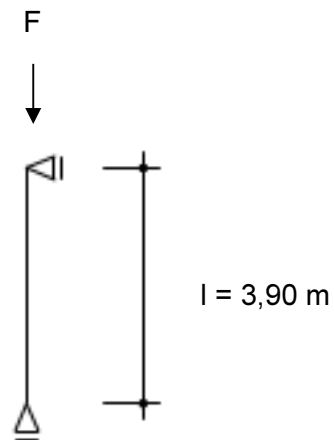
Abmessungen						Belastung				Bemessung			
Pos.		Breite [cm]	Dicke [cm]	Höhe [m]		G [kN]	Q [kN]	Ed [kN]		Betongüte	gewählt	vorh. As	wie
4-S1	Eckstütze	25	50	3,90		463,1	71,7	732,7		C40/50	12 Ø 14	18,1	
4-S2		25	70	3,90		927,8	177,6	1518,9		C40/50	10 Ø 16	20,1	
4-S3	Eckstütze	25	50	3,90		435	65,6	685,7		C40/50	12 Ø 14	18,1	4-S1
4-S4		25	65	3,90		678,7	206,4	1225,8		C40/50	10 Ø 16	20,1	
4-S5		22	50	3,90		503	154	910,1		C40/50	8 Ø 16	16,1	4-S11
4-S6		25	70	3,90		768,6	121,5	1219,9		C40/50	10 Ø 16	20,1	4-S2
4-S7		25	50	3,90		284,6	84,8	511,4		C40/50	8 Ø 16	16,1	4-S17
4-S8		25	50	3,90		359,4	113,8	655,9		C40/50	8 Ø 16	16,1	4-S17
4-S9		25	50	3,90		402,4	131,5	740,5		C40/50	8 Ø 16	16,1	4-S17
4-S10		25	50	3,90		434,2	142,7	800,2		C40/50	8 Ø 16	16,1	4-S17
4-S11		22	50	3,90		602,2	187,6	1094,4		C40/50	8 Ø 16	16,1	
4-S12		25	70	3,90		701,2	108,1	1108,8		C40/50	10 Ø 16	20,1	4-S2
4-S13		25	70	3,90		823	144	1327,1		C40/50	10 Ø 16	20,1	4-S2
4-S14		22	50	3,90		573,7	174,1	1035,6		C40/50	8 Ø 16	16,1	4-S11
4-S15		25	70	3,90		469,9	140,7	845,4		C40/50			4-S2
4-S16		25	50	3,90		627,2	211,7	1164,3		C40/50	8 Ø 16	16,1	4-S17
4-S17		25	50	3,90		738,9	202,8	1301,7		C40/50	8 Ø 16	16,1	
4-S18		25	130	3,90		654,4	118,7	1061,5		C40/50	12 Ø 10	12,6	
4-S19		25	130	3,90		427,5	104,7	734,2		C40/50	12 Ø 10	12,6	4-S18





4-S1 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 463,10 \text{ kN}$
 $q = 71,70 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

12 Ø 14 ($18,5 \text{ cm}^2$)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

4-S1 Stb.-Eckstütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

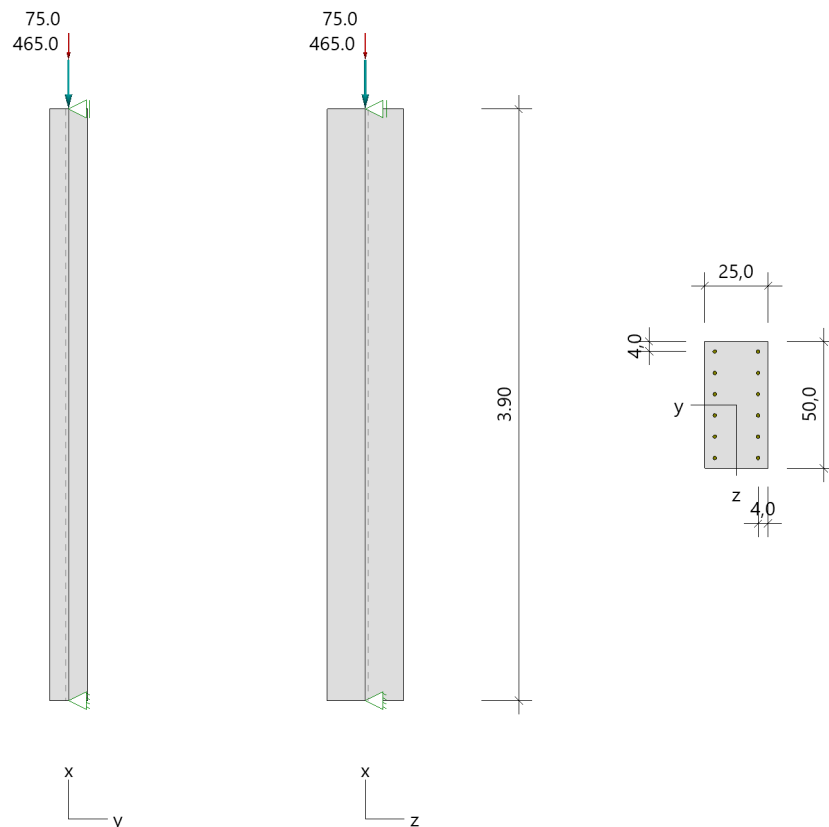
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 14 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 14 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*1: mit $c_{min,b}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R

Belastungsalter $t_0 = 28 \text{ Tage}$

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 1.91$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/50.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.0/4.0 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		465.0							ständig		
2	Stützenkopf		75.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-3.13	3.90	-3.13	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 19,76$ in y- / 79,03 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Slankheiten, Ausmitten und Krieeffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.88	3.88	54.3	27.2	31.0	31.0	1.0	1.0	1.318	0.896

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-740.3	0.00	0.00	0.21	2.6 ¹	18.5	Querschnitt
	3.25	-743.0	3.79	-4.46	0.21	2.6 ¹	18.5	
	2.60	-745.7	6.60	-7.77	0.21	2.6 ¹	18.5	
	1.95	-748.5	7.70	-9.06	0.21	2.6 ¹	18.5	
	1.30	-751.2	6.61	-7.79	0.21	2.6 ¹	18.5	
	0.65	-754.0	3.80	-4.48	0.21	2.6 ¹	18.5	
	0.00	-756.7	0.00	0.00	0.21	2.6 ¹	18.5	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.05	0.00	0.05	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	477.2	-0.05	0.00	-0.05	0.00	2
		756.7	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_v [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	12.2	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		465.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig
		75.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	18.5

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-540.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-542.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-544.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-546.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-548.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-550.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-552.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-540.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-542.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-544.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-546.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-548.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-550.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-552.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-540.0	0.00	0.00	0.00	-0.114	-22.73	400.00	0.00
1	3.25	-542.0	0.00	0.00	0.00	-0.114	-22.82	400.00	0.00
1	2.60	-544.1	0.00	0.00	0.00	-0.115	-22.90	400.00	0.00
1	1.95	-546.1	0.00	0.00	0.00	-0.115	-22.99	400.00	0.00
1	1.30	-548.1	0.00	0.00	0.00	-0.115	-23.08	400.00	0.00
1	0.65	-550.2	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.16	400.00	0.00
1	0.00	-552.2	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.25	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-540.0	0.00	0.00	0.00	-0.114	-22.73	400.00	0.00
1	3.25	-542.0	0.00	0.00	0.00	-0.114	-22.82	400.00	0.00
1	2.60	-544.1	0.00	0.00	0.00	-0.115	-22.90	400.00	0.00
1	1.95	-546.1	0.00	0.00	0.00	-0.115	-22.99	400.00	0.00
1	1.30	-548.1	0.00	0.00	0.00	-0.115	-23.08	400.00	0.00
1	0.65	-550.2	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.16	400.00	0.00
1	0.00	-552.2	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.25	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-510.0	0.00	0.00	-0.108	-3.77	-18.00	1.00		0.21
1	3.25	-512.0	0.00	0.00	-0.108	-3.79	-18.00	1.00		0.21
1	2.60	-514.1	0.00	0.00	-0.109	-3.80	-18.00	1.00		0.21
1	1.95	-516.1	0.00	0.00	-0.109	-3.82	-18.00	1.00		0.21
1	1.30	-518.1	0.00	0.00	-0.110	-3.83	-18.00	1.00		0.21
1	0.65	-520.2	0.00	0.00	-0.110	-3.85	-18.00	1.00		0.21
1	0.00	-522.2	0.00	0.00	-0.110	-3.86	-18.00	1.00		0.21

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,60*L2

A _{s,kalt}	=	18.5 cm ²	R(A _{s,kalt})	=	124 min
N _{Ed}	=	-522.2 kN	μ _{fi}	=	0.176
N _{Rd}	=	-2971.4 kN			
M _{Ryd}	=	32.32 kNm	M _{Rzd}	=	-59.45 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 18.5 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	18.47*43.48/(1250.00*2.27)	=	0.28
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor			=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m			=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)]	=	83*[1.00-0.18*(1+0.28)/((.85/0.85)+0.28)]	=	68.4
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(40-30)	=	16.0 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden			=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(68.4+16.0+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	123.6 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.0 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.00 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.015 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.37 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 123.6 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.73 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	14	1.5	-8.5	-21.0
Bügel: 43Ø8 mm	2	14	1.5	8.5	-21.0
	3	14	1.5	8.5	21.0
	4	14	1.5	-8.5	21.0
	5	14	1.5	-8.5	-12.5
	6	14	1.5	8.5	-12.5

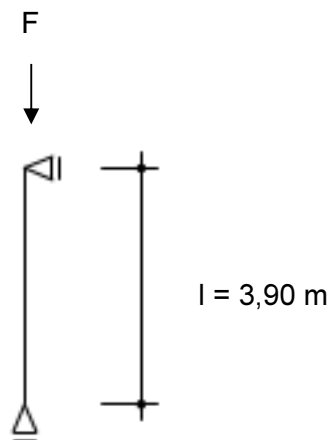
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	14	1.5	-8.5	-4.2
	8	14	1.5	8.5	-4.2
	9	14	1.5	-8.5	4.2
	10	14	1.5	8.5	4.2
	11	14	1.5	-8.5	12.5
	12	14	1.5	8.5	12.5
			18.5		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

4-S2 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht zusätzlich programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 927,80 \text{ kN}$
 $q = 177,60 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/70 \text{ cm}$

Bewehrung:

$10 \text{ } \varnothing 16 (20,1 \text{ cm}^2)$
Bügel: $\varnothing 8 \mid 15 \text{ cm}$

4-S2 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

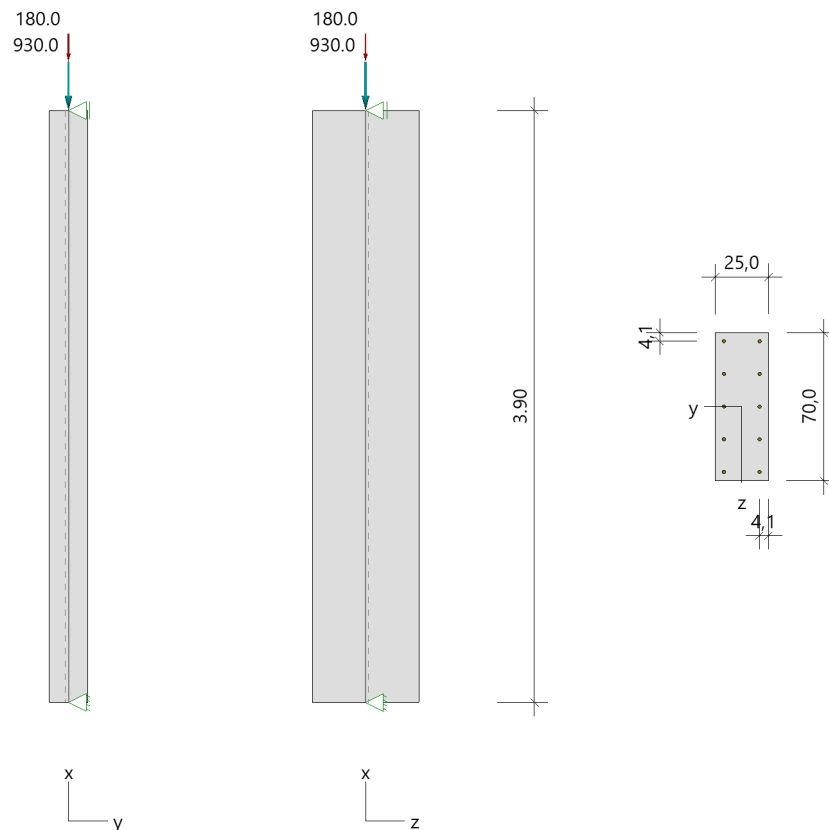
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*1: mit $c_{min,b}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R

Belastungsalter $t_0 = 28 \text{ Tage}$

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 1.88$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/70.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		930.0							ständig		
2	Stützenkopf		180.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-4.38	3.90	-4.38	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 4)
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 4)

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 13,47$ in y- / 105,60 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	54.2	19.4	25.6	25.6	1.0	1.0	1.283	0.922

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1525.5	0.00	0.00	0.31	5.3 ¹	20.1	Querschnitt
	3.25	-1529.3	7.66	-10.17	0.31	5.3 ¹	20.1	
	2.60	-1533.2	13.35	-17.70	0.31	5.3 ¹	20.1	
	1.95	-1537.0	15.58	-20.62	0.31	5.3 ¹	20.1	
	1.30	-1540.9	13.36	-17.73	0.31	5.3 ¹	20.1	
	0.65	-1544.7	7.68	-10.20	0.31	5.3 ¹	20.1	
	0.00	-1548.5	0.00	0.00	0.31	5.3 ¹	20.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.1 0.1	0.00 0.00	0.1 0.1	0.00 0.00	2 1
Fußpunkt	0.00	947.1 1548.5	-0.1 -0.1	0.00 0.00	-0.1 -0.1	0.00 0.00	2 1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	17.1 930.0 180.0	0.0 0.0 0.0	0.00 0.00 0.00	0.0 0.0 0.0	0.00 0.00 0.00	Stützeineigengewicht Lastfall G(Decke über Ebene 4) Lastfall Q(Decke über Ebene 4)	ständig ständig Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1110.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1112.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1115.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1118.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1121.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1124.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1127.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1110.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1112.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1115.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1118.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1121.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1124.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1127.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1110.0	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.00	400.00	0.00
1	3.25	-1112.8	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.09	400.00	0.00
1	2.60	-1115.7	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.18	400.00	0.00
1	1.95	-1118.5	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.27	400.00	0.00
1	1.30	-1121.4	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.35	400.00	0.00
1	0.65	-1124.2	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.44	400.00	0.00
1	0.00	-1127.1	0.00	0.00	0.00	-0.173	-34.53	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1110.0	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.00	400.00	0.00
1	3.25	-1112.8	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.09	400.00	0.00
1	2.60	-1115.7	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.18	400.00	0.00
1	1.95	-1118.5	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.27	400.00	0.00
1	1.30	-1121.4	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.35	400.00	0.00
1	0.65	-1124.2	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.44	400.00	0.00
1	0.00	-1127.1	0.00	0.00	0.00	-0.173	-34.53	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-1038.0	0.00	0.00	-0.159	-5.57	-18.00	1.00		0.31
1	3.25	-1040.8	0.00	0.00	-0.160	-5.59	-18.00	1.00		0.31
1	2.60	-1043.7	0.00	0.00	-0.160	-5.60	-18.00	1.00		0.31
1	1.95	-1046.5	0.00	0.00	-0.161	-5.62	-18.00	1.00		0.31
1	1.30	-1049.4	0.00	0.00	-0.161	-5.63	-18.00	1.00		0.31
1	0.65	-1052.2	0.00	0.00	-0.161	-5.65	-18.00	1.00		0.31
1	0.00	-1055.1	0.00	0.00	-0.162	-5.66	-18.00	1.00		0.31

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,60*L2

$$\begin{aligned}
 A_{s,kalt} &= 20.1 \text{ cm}^2 & R(A_{s,kalt}) &= 113 \text{ min} \\
 N_{Ed} &= -1055.1 \text{ kN} & \mu_{fi} &= 0.269 \\
 N_{Rd} &= -3918.7 \text{ kN} \\
 M_{Ryd} &= 38.07 \text{ kNm} & M_{Rzd} &= -82.15 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\beta_{sk,fi} = 1.000$$

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 20.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

$$\begin{aligned}
 \omega &= A_s \cdot f_{yd} / (A_c \cdot f_{cd}) = 20.11 \cdot 43.48 / (1750.00 \cdot 2.27) = 0.22 \\
 b' &= 1.2 \cdot \min(b, h) = 1.2 \cdot 250.0 = 300.0 \text{ mm} \\
 a_{cc} &= \text{Abminderungsfaktor} = 0.85 \\
 l_{0,fi,max} &= \text{Ersatzlänge; } 2m \leq l_{0,fi,max} \leq 6m = 3.90 \text{ m} \\
 R_{\eta fi} &= 83 \cdot [1.00 - \mu_{fi} \cdot (1 + \omega) / ((.85/\alpha_{cc}) + \omega)] = 83 \cdot [1.00 - 0.27 \cdot (1 + 0.22) / ((.85/0.85) + 0.22)] = 60.7 \\
 R_a &= 1.60(a - 30) = 1.60(41 - 30) = 17.6 \text{ mm} \\
 R_l &= 9.60(5 - l_{0,fi}) = 9.60(5 - 3.90) = 10.56 \text{ m} \\
 R_b &= 0.09 \cdot b' = 0.09 \cdot 300.00 = 27.0 \text{ mm} \\
 R_n &= \text{nur 4 Eckstäbe vorhanden} = 0
 \end{aligned}$$

$$R = 120 \cdot [R_{\eta fi} R_a + R_l + R_b + R_n] / 120]^{1.8} = 120 \cdot [(60.7 + 17.6 + 10.56 + 27.00 + 0) / 120]^{1.8} = 112.6 \text{ min}$$

Stützenlänge	l = 3.90 m	≤	l _{max} = 6.00 m	η = 0.65	✓
Achsabstand	a = 4.1 cm	≤	a _{max} = 8.0 cm	η = 0.51	✓
Verhältnis	h/b = 2.80	≤	h/b _{max} = 4.00	η = 0.70	✓
Verhältnis	A _s /A _c = 0.011	<	A _s /A _{c,max} = 0.04	η = 0.29	✓
1.2 * min(b, h)	b' = 300 mm	≤	b' _{max} = 450 mm	η = 0.67	✓
Branddauer	R = 112.6 min	≥	R _{min} = 90 min	η = 0.80	✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-8.4	-30.9
Bügel: 55Ø8 mm	2	16	2.0	8.4	-30.9
	3	16	2.0	8.4	30.9
	4	16	2.0	-8.4	30.9
	5	16	2.0	-8.4	-15.5
	6	16	2.0	8.4	-15.5

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	-8.4	0.0
	8	16	2.0	8.4	0.0
	9	16	2.0	-8.4	15.5
	10	16	2.0	8.4	15.5

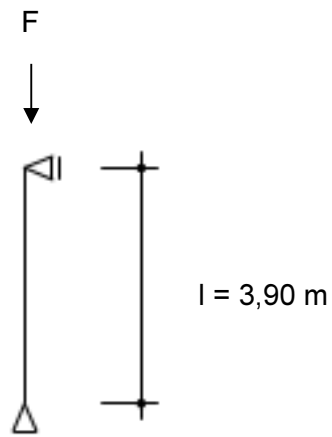
20.1

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

4-S4 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 678,70 \text{ kN}$
 $q = 206,40 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/65 \text{ cm}$

Bewehrung:

10 Ø 16 (20,1 cm²)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

4-S4 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

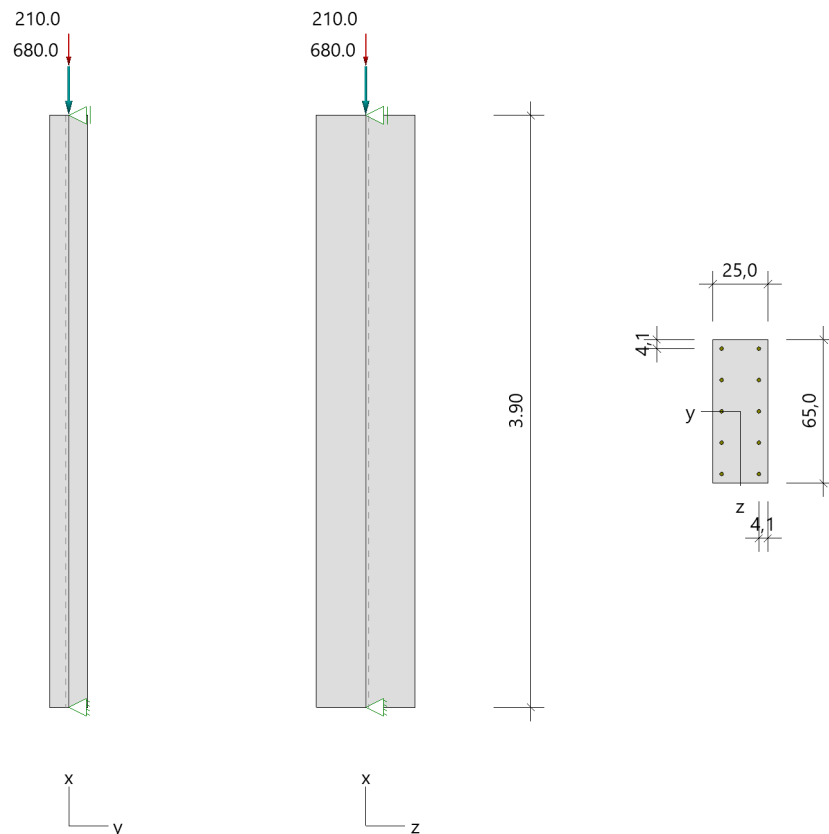
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:	
Luftfeuchte	LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.89$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/65.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		680.0							ständig		
2	Stützenkopf		210.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-4.06	3.90	-4.06	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 4)
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 4)

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 15,46$ in y- / 104,49 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
1	G	g	g	G
2	x		x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.88	3.88	54.3	20.9	27.4	27.4	1.0	1.0	1.237	0.901

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1233.0	0.00	0.00	0.27	4.3 ¹	20.1	Querschnitt
	3.25	-1236.6	6.20	-7.85	0.27	4.3 ¹	20.1	
	2.60	-1240.1	10.81	-13.67	0.27	4.3 ¹	20.1	
	1.95	-1243.7	12.62	-15.93	0.27	4.3 ¹	20.1	
	1.30	-1247.3	10.82	-13.69	0.27	4.3 ¹	20.1	
	0.65	-1250.8	6.22	-7.88	0.27	4.3 ¹	20.1	
	0.00	-1254.4	0.00	0.00	0.27	4.3 ¹	20.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00		695.8	-0.1	0.00	-0.1	2
			1254.4	-0.1	0.00	-0.1	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	15.8	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		680.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall G(Decke über Ebene 4)	ständig
		210.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall Q(Decke über Ebene 4)	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-890.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-892.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-895.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-897.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-900.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-903.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-905.8	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-890.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-892.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-895.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-897.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-900.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-903.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-905.8	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-890.0	0.00	0.00	0.00	-0.146	-29.22	400.00	0.00
1	3.25	-892.6	0.00	0.00	0.00	-0.147	-29.30	400.00	0.00
1	2.60	-895.3	0.00	0.00	0.00	-0.147	-29.39	400.00	0.00
1	1.95	-897.9	0.00	0.00	0.00	-0.147	-29.48	400.00	0.00
1	1.30	-900.6	0.00	0.00	0.00	-0.148	-29.56	400.00	0.00
1	0.65	-903.2	0.00	0.00	0.00	-0.148	-29.65	400.00	0.00
1	0.00	-905.8	0.00	0.00	0.00	-0.149	-29.74	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-890.0	0.00	0.00	0.00	-0.146	-29.22	400.00	0.00
1	3.25	-892.6	0.00	0.00	0.00	-0.147	-29.30	400.00	0.00
1	2.60	-895.3	0.00	0.00	0.00	-0.147	-29.39	400.00	0.00
1	1.95	-897.9	0.00	0.00	0.00	-0.147	-29.48	400.00	0.00
1	1.30	-900.6	0.00	0.00	0.00	-0.148	-29.56	400.00	0.00
1	0.65	-903.2	0.00	0.00	0.00	-0.148	-29.65	400.00	0.00
1	0.00	-905.8	0.00	0.00	0.00	-0.149	-29.74	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-806.0	0.00	0.00	-0.133	-4.64	-18.00	1.00		0.26
1	3.25	-808.6	0.00	0.00	-0.133	-4.66	-18.00	1.00		0.26
1	2.60	-811.3	0.00	0.00	-0.133	-4.67	-18.00	1.00		0.26
1	1.95	-813.9	0.00	0.00	-0.134	-4.69	-18.00	1.00		0.26
1	1.30	-816.6	0.00	0.00	-0.134	-4.70	-18.00	1.00		0.26
1	0.65	-819.2	0.00	0.00	-0.135	-4.72	-18.00	1.00		0.26
1	0.00	-821.8	0.00	0.00	-0.135	-4.73	-18.00	1.00		0.26

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,60*L2

A _{s,kalt} =	20.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	120 min
N _{Ed} =	-821.8 kN	μ _{fi} =	0.222
N _{Rd} =	-3702.8 kN		
M _{Ryd} =	35.96 kNm	M _{Rzd} =	-76.14 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 20.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	20.11*43.48/(1625.00*2.27)	=	0.24
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)]	=	83*[1.00-0.22*(1+0.24)/((.85/0.85)+0.24)]	=	64.6
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(41-30)	=	17.6 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(64.6+17.6+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	119.5 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.1 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.51 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.60 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.65 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.012 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.31 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 119.5 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.75 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-8.4	-28.4
Bügel: 51Ø8 mm	2	16	2.0	8.4	-28.4
	3	16	2.0	8.4	28.4
	4	16	2.0	-8.4	28.4
	5	16	2.0	-8.4	-14.2
	6	16	2.0	8.4	-14.2

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	-8.4	0.0
	8	16	2.0	8.4	0.0
	9	16	2.0	-8.4	14.2
	10	16	2.0	8.4	14.2

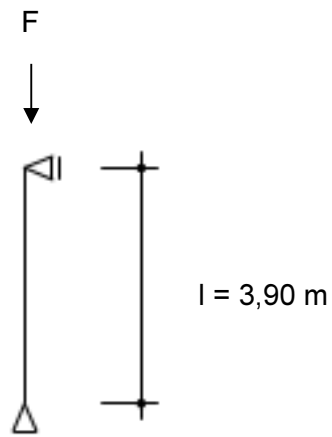
20.1

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

4-S11 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 602,20 \text{ kN}$
 $q = 187,60 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 22/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

8 Ø 16 (16,1 cm²)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

4-S11 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

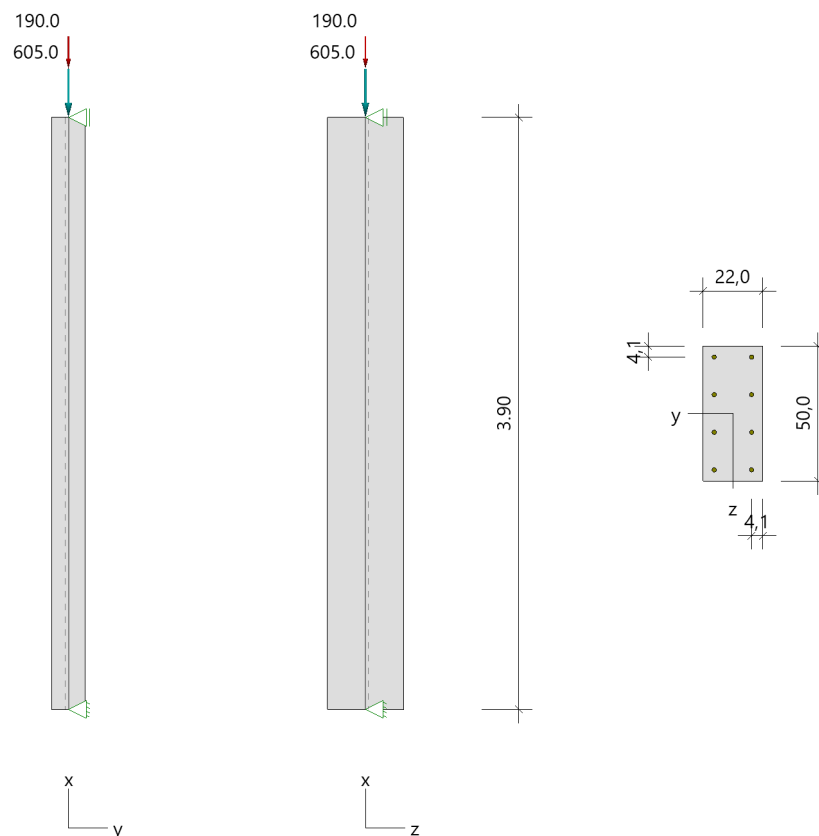
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:		
Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.94$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 22.0/50.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		605.0							ständig		
2	Stützenkopf		190.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.75	3.90	-2.75	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 4)
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 4)

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 9,09$ in y- / 46,94 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
1	G	g	g	G
2	x		x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	61.6	27.1	25.0	25.0	1.0	1.0	1.264	0.945

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1101.8	0.00	0.00	0.35	3.9 ¹	16.1	Querschnitt
	3.25	-1104.2	5.78	-8.91	0.35	3.9 ¹	16.1	
	2.60	-1106.6	10.07	-15.50	0.35	3.9 ¹	16.1	
	1.95	-1109.0	11.75	-18.03	0.35	3.9 ¹	16.1	
	1.30	-1111.4	10.08	-15.53	0.35	3.9 ¹	16.1	
	0.65	-1113.8	5.79	-8.94	0.35	3.9 ¹	16.1	
	0.00	-1116.2	0.00	0.00	0.35	3.9 ¹	16.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.05	0.00	0.04	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	615.7	-0.05	0.00	-0.04	0.00	2
		1116.2	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	10.7	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		605.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall G(Decke über Ebene 4)	ständig
		190.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall Q(Decke über Ebene 4)	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	16.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-795.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-796.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-798.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-800.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-802.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-803.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-805.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-795.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-796.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-798.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-800.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-802.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-803.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-805.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-795.0	0.00	0.00	0.00	-0.190	-38.09	400.00	0.00
1	3.25	-796.8	0.00	0.00	0.00	-0.191	-38.17	400.00	0.00
1	2.60	-798.6	0.00	0.00	0.00	-0.191	-38.26	400.00	0.00
1	1.95	-800.4	0.00	0.00	0.00	-0.192	-38.34	400.00	0.00
1	1.30	-802.2	0.00	0.00	0.00	-0.192	-38.43	400.00	0.00
1	0.65	-803.9	0.00	0.00	0.00	-0.193	-38.52	400.00	0.00
1	0.00	-805.7	0.00	0.00	0.00	-0.193	-38.60	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-795.0	0.00	0.00	0.00	-0.190	-38.09	400.00	0.00
1	3.25	-796.8	0.00	0.00	0.00	-0.191	-38.17	400.00	0.00
1	2.60	-798.6	0.00	0.00	0.00	-0.191	-38.26	400.00	0.00
1	1.95	-800.4	0.00	0.00	0.00	-0.192	-38.34	400.00	0.00
1	1.30	-802.2	0.00	0.00	0.00	-0.192	-38.43	400.00	0.00
1	0.65	-803.9	0.00	0.00	0.00	-0.193	-38.52	400.00	0.00
1	0.00	-805.7	0.00	0.00	0.00	-0.193	-38.60	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-719.0	0.00	0.00	-0.173	-6.05	-18.00	1.00		0.34
1	3.25	-720.8	0.00	0.00	-0.173	-6.06	-18.00	1.00		0.34
1	2.60	-722.6	0.00	0.00	-0.174	-6.08	-18.00	1.00		0.34
1	1.95	-724.4	0.00	0.00	-0.174	-6.09	-18.00	1.00		0.34
1	1.30	-726.2	0.00	0.00	-0.174	-6.11	-18.00	1.00		0.34
1	0.65	-727.9	0.00	0.00	-0.175	-6.12	-18.00	1.00		0.34
1	0.00	-729.7	0.00	0.00	-0.175	-6.14	-18.00	1.00		0.34

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,60*L2

A _{s,kalt} =	16.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	100 min
N _{Ed} =	-729.7 kN	μ _{fi} =	0.319
N _{Rd} =	-2285.0 kN		
M _{Ryd} =	26.71 kNm	M _{Rzd} =	-65.78 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 16.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	16.08*43.48/(1100.00*2.27)	=	0.28
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 220.0	=	264.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.32*(1+0.28)/((.85/0.85)+0.28)] =				56.5
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(41-30)	=	17.6 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*264.00	=	23.8 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(56.5+17.6+10.56+23.76+0)/120] ^{1.8}	=	100.0 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.1 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.51 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.27 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.57 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.015 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.37 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 264 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.59 ✓
Branddauer	R	= 100.0 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.90 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-6.9	-20.9
Bügel: 38Ø8 mm	2	16	2.0	6.9	-20.9
	3	16	2.0	6.9	20.9
	4	16	2.0	-6.9	20.9
	5	16	2.0	-6.9	-7.0
	6	16	2.0	6.9	-7.0

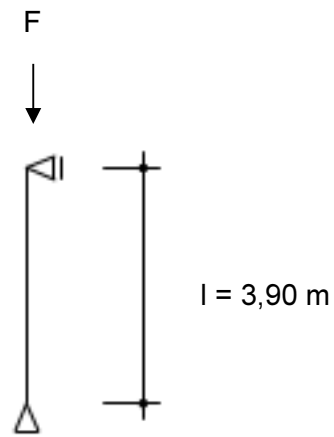
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	-6.9	7.0
	8	16	2.0	6.9	7.0
			16.1		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

4-S17 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 738,90 \text{ kN}$
 $q = 202,80 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

$8 \text{ } \varnothing 16 (16,1 \text{ cm}^2)$
Bügel: $\varnothing 8 \mid 15 \text{ cm}$

4-S17 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

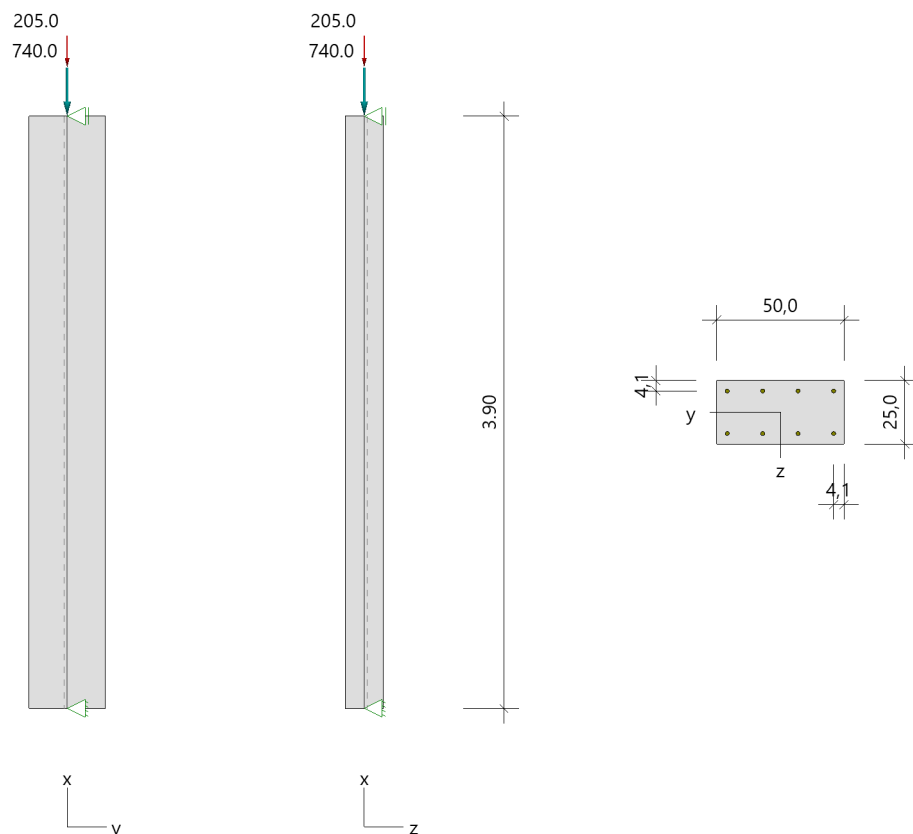
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:		
Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.91$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 50.0/25.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		740.0							ständig		
2	Stützenkopf		205.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-3.13	3.90	-3.13	ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Lastfall G(Decke über Ebene 4)
- Last 2: Lastfall Q(Decke über Ebene 4)

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{ct,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 44,99$ in y- / 11,25 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
1	G	g	g	G
2	x		x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	27.1	54.2	25.0	25.0	1.0	1.0	1.264	0.950

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1306.5	0.00	0.00	0.37	4.6 ¹	16.1	Querschnitt
	3.25	-1309.2	9.32	-6.87	0.37	4.6 ¹	16.1	
	2.60	-1312.0	16.23	-11.98	0.37	4.6 ¹	16.1	
	1.95	-1314.7	18.89	-13.97	0.37	4.6 ¹	16.1	
	1.30	-1317.5	16.25	-11.99	0.37	4.6 ¹	16.1	
	0.65	-1320.2	9.35	-6.89	0.37	4.6 ¹	16.1	
	0.00	-1323.0	0.00	0.00	0.37	4.6 ¹	16.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.05	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	752.2	-0.05	0.00	-0.05	0.00	2
		1323.0	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	12.2	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		740.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall G(Decke über Ebene 4)	ständig
		205.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Lastfall Q(Decke über Ebene 4)	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	16.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-945.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-947.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-949.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-951.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-953.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-955.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-957.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-945.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-947.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-949.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-951.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-953.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-955.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-957.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-945.0	0.00	0.00	0.00	-0.201	-40.19	400.00	0.00
1	3.25	-947.0	0.00	0.00	0.00	-0.201	-40.28	400.00	0.00
1	2.60	-949.1	0.00	0.00	0.00	-0.202	-40.37	400.00	0.00
1	1.95	-951.1	0.00	0.00	0.00	-0.202	-40.45	400.00	0.00
1	1.30	-953.1	0.00	0.00	0.00	-0.203	-40.54	400.00	0.00
1	0.65	-955.2	0.00	0.00	0.00	-0.203	-40.63	400.00	0.00
1	0.00	-957.2	0.00	0.00	0.00	-0.204	-40.71	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-945.0	0.00	0.00	0.00	-0.201	-40.19	400.00	0.00
1	3.25	-947.0	0.00	0.00	0.00	-0.201	-40.28	400.00	0.00
1	2.60	-949.1	0.00	0.00	0.00	-0.202	-40.37	400.00	0.00
1	1.95	-951.1	0.00	0.00	0.00	-0.202	-40.45	400.00	0.00
1	1.30	-953.1	0.00	0.00	0.00	-0.203	-40.54	400.00	0.00
1	0.65	-955.2	0.00	0.00	0.00	-0.203	-40.63	400.00	0.00
1	0.00	-957.2	0.00	0.00	0.00	-0.204	-40.71	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-863.0	0.00	0.00	-0.184	-6.45	-18.00	1.00		0.36
1	3.25	-865.0	0.00	0.00	-0.185	-6.47	-18.00	1.00		0.36
1	2.60	-867.1	0.00	0.00	-0.185	-6.48	-18.00	1.00		0.36
1	1.95	-869.1	0.00	0.00	-0.186	-6.50	-18.00	1.00		0.36
1	1.30	-871.1	0.00	0.00	-0.186	-6.51	-18.00	1.00		0.36
1	0.65	-873.2	0.00	0.00	-0.187	-6.53	-18.00	1.00		0.36
1	0.00	-875.2	0.00	0.00	-0.187	-6.54	-18.00	1.00		0.36

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,60*L2

A _{s,kalt} =	16.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	107 min
N _{Ed} =	-875.2 kN	μ _{fi} =	0.309
N _{Rd} =	-2834.7 kN		
M _{Ryd} =	61.12 kNm	M _{Rzd} =	-31.41 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 16.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	16.08*43.48/(1250.00*2.27)	=	0.25
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.31*(1+0.25)/((.85/0.85)+0.25)]	=	57.4		
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(41-30)	=	17.6 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(57.4+17.6+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	106.9 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.1 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.51 ✓
Verhältnis	b/h	= 2.00 ≤	b/h _{max}	= 4.00	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.013 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.32 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 106.9 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.84 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-20.9	-8.4
Bügel: 38Ø8 mm	2	16	2.0	20.9	-8.4
	3	16	2.0	20.9	8.4
	4	16	2.0	-20.9	8.4
	5	16	2.0	-7.0	-8.4
	6	16	2.0	-7.0	8.4

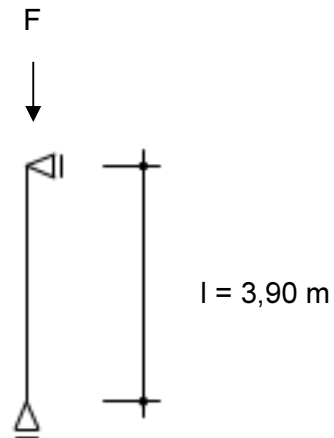
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	7.0	-8.4
	8	16	2.0	7.0	8.4
			16.1		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

4-S18 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell
 - $g = 655,00 \text{ kN}$
 - $q = 120,00 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/130 \text{ cm}$

Bewehrung:

$12 \text{ } \varnothing 10 (12,6 \text{ cm}^2)$
Bügel: $\varnothing 8 \mid 15 \text{ cm}$

4-S18 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

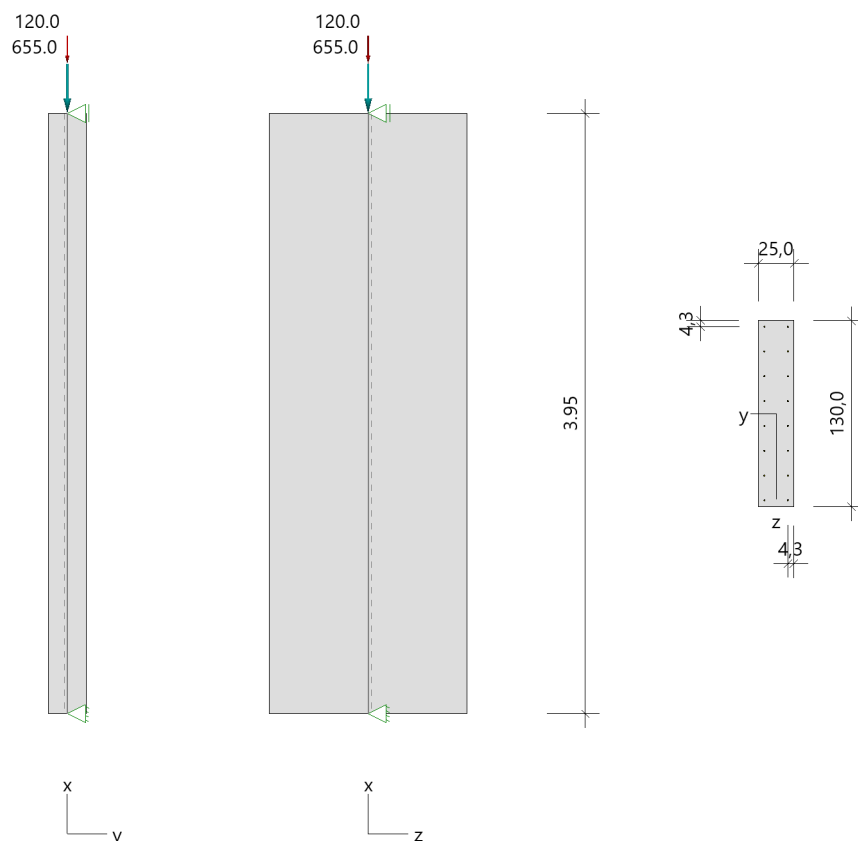
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 10 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 10 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 2.85$ (Benutzervorgabe)

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	γ_c	$\alpha_{cc} = 0.85$ f_{cd} [N/mm ²]	$\alpha_{ct} = 0.85$ f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.95 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/130.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.3/4.3 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche	0.70	0.70	0.60		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		655.0							ständig		
2	Stützenkopf		120.0							Kat. C		

Punktlasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stützenkopf		32.1							ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Kopflast ständig

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- Ansatz Eigengewicht am Stützenabschnittskopf
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Langzeitauswirkungen werden über Ansatz des irreversiblen Anteils der Kriechbiegeline als spannungsfreie Anfangsverformung erfasst
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 33,84$ in y- / $915,03$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	Sk,y [m]	Sk,z [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	ei,y [cm]	ei,z [cm]	ϕ_∞	f _{red}
1	1	Schlanke Wand	3.95	3.95	54.7	10.5	41.3	41.3	1.0	1.0	2.850	0.680

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit ei (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ρ [%]	A _{s,erf} [cm ²]	A _{s,vorh} [cm ²]	Versagensart
1	3.95	-1107.6	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	Querschnitt
	3.29	-1107.6	5.39	-5.74	0.30	9.8 ¹	12.6	
	2.63	-1107.6	9.40	-10.00	0.30	9.8 ¹	12.6	
	1.98	-1107.6	10.96	-11.66	0.30	9.8 ¹	12.6	
	1.32	-1107.6	9.40	-10.00	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.66	-1107.6	5.39	-5.74	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.00	-1107.6	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.6.2 (1)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	A _{d,v} [kN]	H _{d,y} [kN]	M _{d,z} [kNm]	H _{d,z} [kN]	M _{d,y} [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.95		0.0	0.00	0.0	0.00	1
			0.0	0.00	0.0	0.00	3
Fußpunkt	0.00	687.1	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		1107.6	0.0	0.00	0.0	0.00	1
		927.6	0.0	0.00	0.0	0.00	3

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	Sk,y [m]	Sk,z [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	ei,y* [cm]	ei,z* [cm]	ϕ_∞	f _{red}
1	1	Schlanke Wand	3.95	3.95	54.7	10.5	0.0	0.0	0.4	0.4	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit ei (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ρ [%]	A _{s,erf} [cm ²]	A _{s,vorh} [cm ²]	Versagensart
1	3.95	-759.1	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	Querschnitt
	3.29	-759.1	1.51	-2.97	0.39	12.6	12.6	
	2.63	-759.1	2.64	-5.15	0.39	12.6	12.6	
	1.98	-759.1	3.08	-5.98	0.39	12.6	12.6	
	1.32	-759.1	2.64	-5.15	0.39	12.6	12.6	
	0.66	-759.1	1.51	-2.97	0.39	12.6	12.6	
	0.00	-759.1	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.95		0.0	0.00	0.0	0.00	2
			0.0	0.00	0.0	0.00	1
Fußpunkt	0.00	687.1	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		759.1	0.0	0.00	0.0	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	32.1	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		655.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Kopflast	ständig
		120.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	12.6

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.95	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.29	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.63	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.98	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.32	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.66	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.95	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.29	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.63	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.98	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.32	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.66	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-807.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.95	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	3.29	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	2.63	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	1.98	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	1.32	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	0.66	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	0.00	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.95	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	3.29	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	2.63	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	1.98	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	1.32	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	0.66	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00
1	0.00	-807.1	0.00	0.00	0.00	-0.070	-13.94	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϵ_c [‰]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}^1$ [N/mm ²]	vorh $f_{\phi, nl}$	erf $f_{\phi, nl}$	η
1	3.95	-759.1	0.00	0.00	-0.066	-2.29	-18.00	1.00		0.13
1	3.29	-759.1	0.00	0.00	-0.066	-2.29	-18.00	1.00		0.13
1	2.63	-759.1	0.00	0.00	-0.066	-2.29	-18.00	1.00		0.13
1	1.98	-759.1	0.00	0.00	-0.066	-2.29	-18.00	1.00		0.13
1	1.32	-759.1	0.00	0.00	-0.066	-2.29	-18.00	1.00		0.13
1	0.66	-759.1	0.00	0.00	-0.066	-2.29	-18.00	1.00		0.13
1	0.00	-759.1	0.00	0.00	-0.066	-2.29	-18.00	1.00		0.13

1 : $\sigma_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	\emptyset [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy, \theta} / f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	10	0.8	-8.2	-60.7	607	38
Bügel: 13 \emptyset 8 mm	2	10	0.8	8.2	-60.7	607	38
	3	10	0.8	8.2	60.7	607	38
	4	10	0.8	-8.2	60.7	607	38
	5	10	0.8	-8.2	-43.4	386	95

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
	6	10	0.8	8.2	-43.4	386	95
	7	10	0.8	-8.2	-26.1	385	95
	8	10	0.8	8.2	-26.1	385	95
	9	10	0.8	-8.2	-8.7	385	95
	10	10	0.8	8.2	-8.7	385	95
	11	10	0.8	-8.2	8.7	385	95
	12	10	0.8	8.2	8.7	385	95
	13	10	0.8	-8.2	26.1	385	95
	14	10	0.8	8.2	26.1	385	95
	15	10	0.8	-8.2	43.4	386	95
	16	10	0.8	8.2	43.4	386	95

12.6

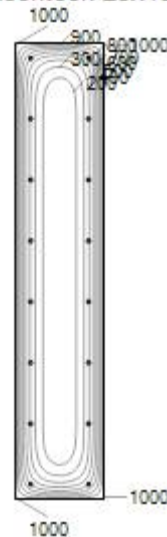
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.8	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

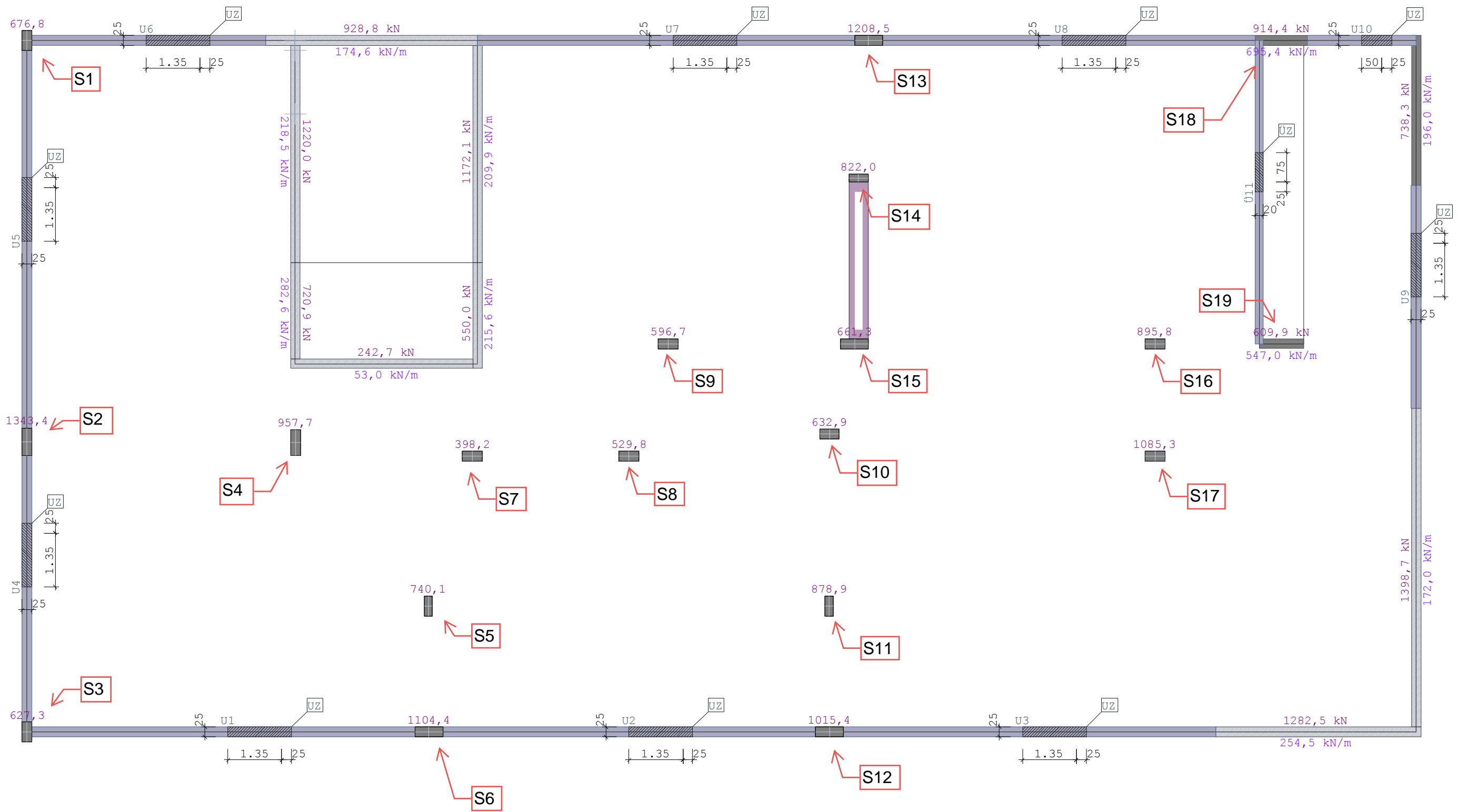
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m²K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m²K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.0 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

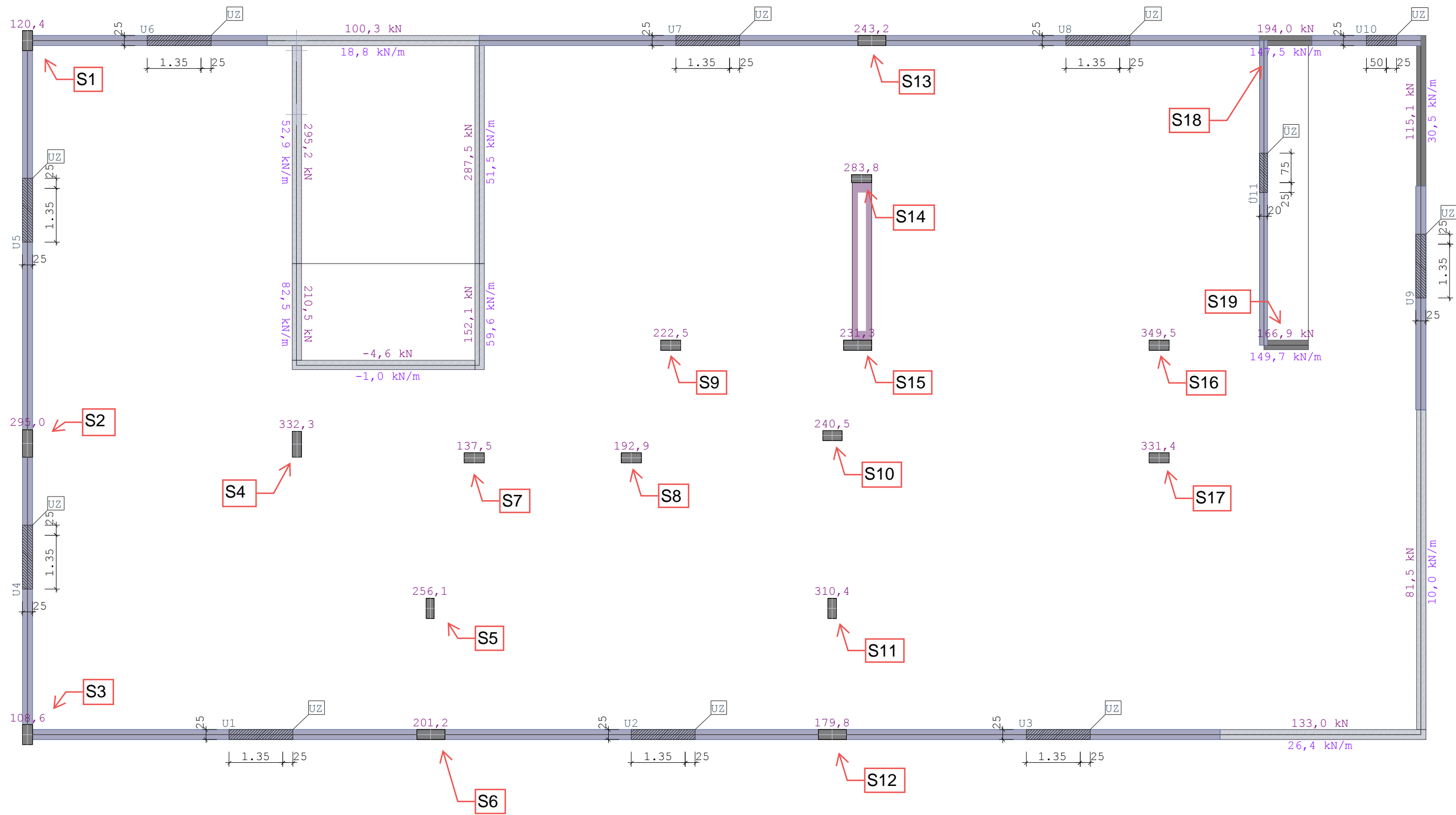
Temperaturfeld Rechteck 25x130 t=90min



3.3.3. Ebene 3 - Übersicht Stb.-Stützen

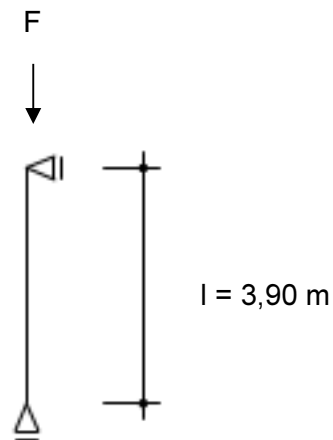
Abmessungen						Belastung				Bemessung			
Pos.		Breite [cm]	Dicke [cm]	Höhe [m]		G [kN]	Q [kN]	Ed [kN]		Betongüte	gewählt	vorh. As	wie
3-S1	Eckstütze	25	50	3,90		676,8	120,4	1094,3		C40/50	12 Ø 14	18,5	
3-S2		25	70	3,90		1343,4	295	2256,1		C40/50	10 Ø 20	31,4	
3-S3	Eckstütze	25	50	3,90		627,3	108,6	1009,8		C40/50	12 Ø 14	18,5	3-S1
3-S4		25	65	3,90		957,7	332,3	1791,3		C40/50	10 Ø 16	20,1	
3-S5		22	50	3,90		740,1	256,1	1383,3		C40/50	10 Ø 20	31,4	3-S11
3-S6		25	70	3,90		1104,4	201,2	1792,7		C40/50	10 Ø 20	31,4	3-S2
3-S7		25	50	3,90		398,2	137,5	743,8		C40/50	8 Ø 16	16,1	3-S10
3-S8		25	50	3,90		529,8	192,9	1004,6		C40/50	8 Ø 16	16,1	3-S10
3-S9		25	50	3,90		596,7	222,5	1139,3		C40/50	8 Ø 16	16,1	3-S10
3-S10		25	50	3,90		632,9	240,5	1215,2		C40/50	8 Ø 16	16,1	
3-S11		22	50	3,90		878,9	310,4	1652,1		C40/50	10 Ø 20	31,4	
3-S12		25	70	3,90		1015,4	179,8	1640,5		C40/50	10 Ø 20	31,4	3-S2
3-S13		25	70	3,90		1208,5	243,2	1996,3		C40/50	10 Ø 20	31,4	3-S2
3-S14		22	50	3,90		822	283,8	1535,4		C40/50	10 Ø 20	31,4	3-S11
3-S15		25	70	3,90		661,3	231,3	1239,7		C40/50	10 Ø 20	31,4	3-S2
3-S16		25	50	3,90		895,8	349,5	1733,6		C40/50	8 Ø 20	25,1	3-S17
3-S17		25	50	3,90		1085,3	331,4	1962,3		C40/50	8 Ø 20	25,1	
3-S18		25	130	3,90		914,4	194	1525,4		C40/50	12 Ø 10	12,6	
3-S19		25	130	3,90		609,9	166,9	1073,7		C40/50	12 Ø 10	12,6	3-S18





3-S1 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 676,80$	kN
$q = 120,40$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
$b/h = 25/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

12 Ø 14 (18,5 cm ²)
Bügel: Ø 8 15 cm

3-S1 Stb.-Eckstütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

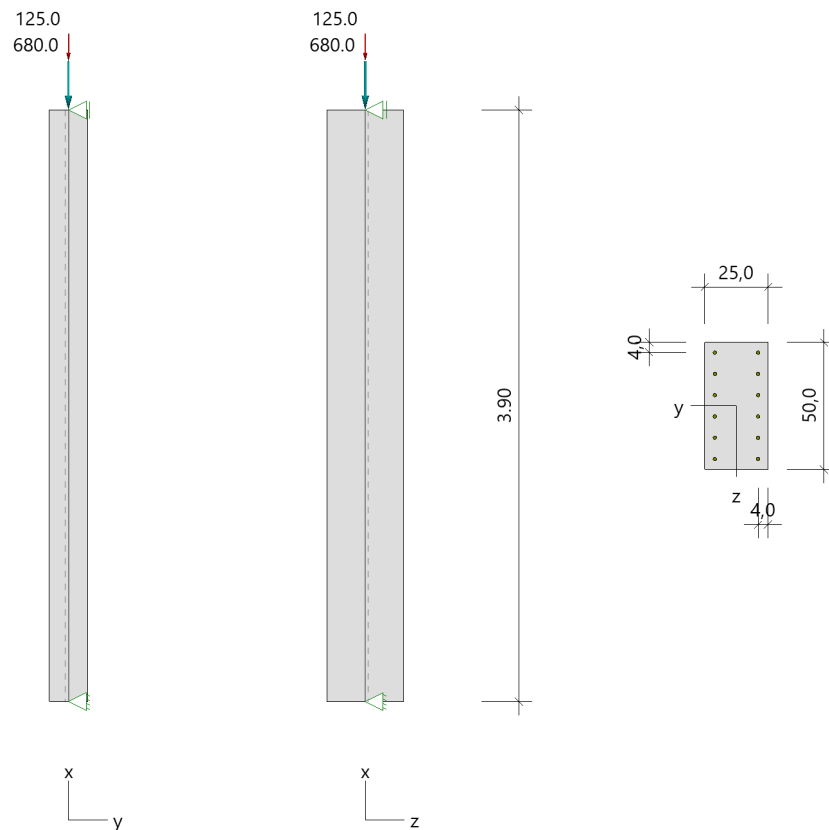
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 14 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 14 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*1: mit $c_{min,b}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R

Belastungsalter $t_0 = 28 \text{ Tage}$

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 1.91$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/50.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.0/4.0 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		680.0							ständig		
2	Stützenkopf		125.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-3.13	3.90	-3.13	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 13,28$ in y- / 53,11 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Slankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	54.2	27.1	25.4	25.4	1.0	1.0	1.306	0.933

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1105.5	0.00	0.00	0.31	3.9 ¹	18.5	Querschnitt
	3.25	-1108.2	5.76	-7.42	0.31	3.9 ¹	18.5	
	2.60	-1111.0	10.03	-12.92	0.31	3.9 ¹	18.5	
	1.95	-1113.7	11.70	-15.05	0.31	3.9 ¹	18.5	
	1.30	-1116.5	10.04	-12.95	0.31	3.9 ¹	18.5	
	0.65	-1119.2	5.77	-7.45	0.31	3.9 ¹	18.5	
	0.00	-1122.0	0.00	0.00	0.31	3.9 ¹	18.5	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.05	0.00	0.05	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	692.2	-0.05	0.00	-0.05	0.00	2
		1122.0	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_v [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	12.2	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		680.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig
		125.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	18.5

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-805.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-807.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-809.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-811.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-813.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-815.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-817.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-805.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-807.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-809.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-811.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-813.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-815.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-817.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-805.0	0.00	0.00	0.00	-0.170	-33.91	400.00	0.00
1	3.25	-807.0	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.00	400.00	0.00
1	2.60	-809.1	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.08	400.00	0.00
1	1.95	-811.1	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.17	400.00	0.00
1	1.30	-813.1	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.25	400.00	0.00
1	0.65	-815.2	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.34	400.00	0.00
1	0.00	-817.2	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.42	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-805.0	0.00	0.00	0.00	-0.170	-33.91	400.00	0.00
1	3.25	-807.0	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.00	400.00	0.00
1	2.60	-809.1	0.00	0.00	0.00	-0.170	-34.08	400.00	0.00
1	1.95	-811.1	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.17	400.00	0.00
1	1.30	-813.1	0.00	0.00	0.00	-0.171	-34.25	400.00	0.00
1	0.65	-815.2	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.34	400.00	0.00
1	0.00	-817.2	0.00	0.00	0.00	-0.172	-34.42	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-755.0	0.00	0.00	-0.159	-5.58	-18.00	1.00		0.31
1	3.25	-757.0	0.00	0.00	-0.160	-5.60	-18.00	1.00		0.31
1	2.60	-759.1	0.00	0.00	-0.160	-5.61	-18.00	1.00		0.31
1	1.95	-761.1	0.00	0.00	-0.161	-5.63	-18.00	1.00		0.31
1	1.30	-763.1	0.00	0.00	-0.161	-5.64	-18.00	1.00		0.31
1	0.65	-765.2	0.00	0.00	-0.162	-5.66	-18.00	1.00		0.31
1	0.00	-767.2	0.00	0.00	-0.162	-5.67	-18.00	1.00		0.32

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,60*L2

A _{s,kalt} =	18.5 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	111 min
N _{Ed} =	-767.2 kN	μ _{fi} =	0.261
N _{Rd} =	-2940.7 kN		
M _{Ryd} =	32.31 kNm	M _{Rzd} =	-61.20 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 18.5 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	18.47*43.48/(1250.00*2.27)	=	0.28
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.26*(1+0.28)/((.85/0.85)+0.28)]	=		=	61.3
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(40-30)	=	16.0 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(61.3+16.0+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	111.0 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.0 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.00 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.015 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.37 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 111.0 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.81 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	14	1.5	-8.5	-21.0
Bügel: 43Ø8 mm	2	14	1.5	8.5	-21.0
	3	14	1.5	8.5	21.0
	4	14	1.5	-8.5	21.0
	5	14	1.5	-8.5	-12.6
	6	14	1.5	8.5	-12.6

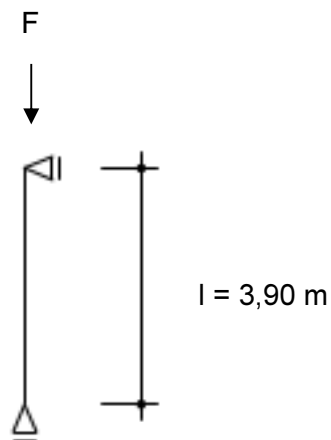
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	14	1.5	-8.5	-4.2
	8	14	1.5	8.5	-4.2
	9	14	1.5	-8.5	4.2
	10	14	1.5	8.5	4.2
	11	14	1.5	-8.5	12.6
	12	14	1.5	8.5	12.6
			18.5		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

3-S2 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht zusätzlich programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 1343,40$	kN
$q = 295,00$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze $b/h = 25/70 \text{ cm}$
--

Bewehrung:

10 Ø 20 (31,4 cm²) Bügel: Ø 10 15 cm
--

3-S2 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

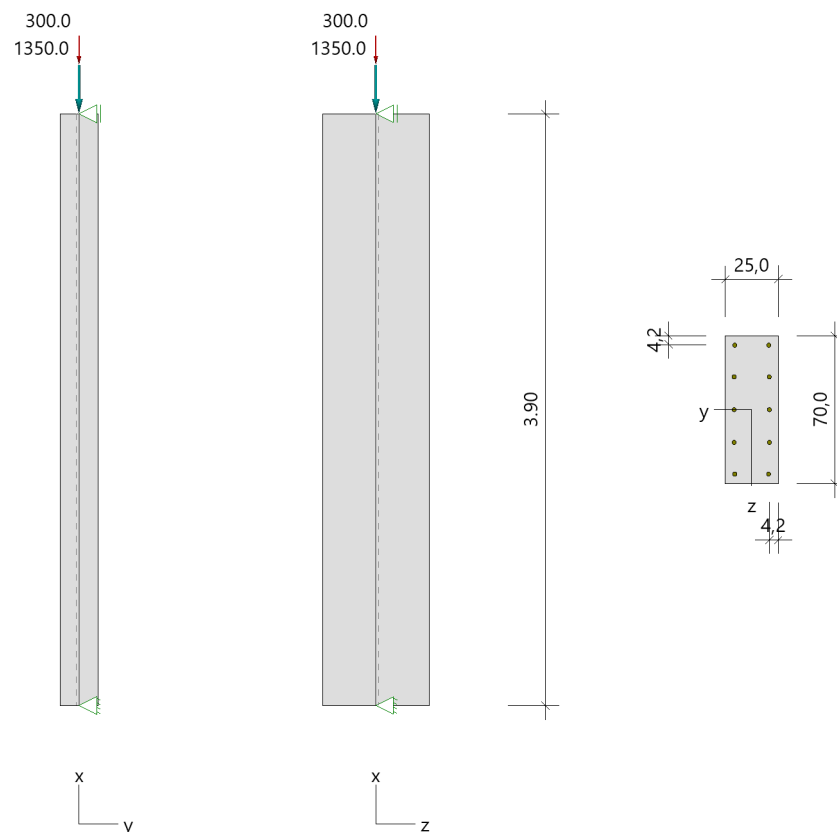
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

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

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.88$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/70.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.2/4.2 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1350.0							ständig		
2	Stützenkopf		300.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-4.38	3.90	-4.38	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- Mindestausmittungen 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 9,06$ in y- / $71,06$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
2	x			x
1	G	g	G	g

Slankheiten, Ausmittungen und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	54.2	19.3	25.0	25.0	1.0	1.0	1.270	0.980

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-2272.5	0.00	0.00	0.45	7.9 ¹	31.4	Querschnitt
	3.25	-2276.3	11.56	-18.07	0.45	7.9 ¹	31.4	
	2.60	-2280.2	20.13	-31.43	0.45	7.9 ¹	31.4	
	1.95	-2284.0	23.49	-36.56	0.45	7.9 ¹	31.4	
	1.30	-2287.9	20.15	-31.48	0.45	7.9 ¹	31.4	
	0.65	-2291.7	11.57	-18.12	0.45	7.9 ¹	31.4	
	0.00	-2295.5	0.00	0.00	0.45	7.9 ¹	31.4	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00		-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
			-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	17.1	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		300.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		1350.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	31.4

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1650.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1652.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1655.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1658.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1661.4	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-1664.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1667.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-1650.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1652.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1655.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1658.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1661.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1664.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1667.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1650.0	0.00	0.00	0.00	-0.244	-48.88	400.00	0.00
1	3.25	-1652.8	0.00	0.00	0.00	-0.245	-48.96	400.00	0.00
1	2.60	-1655.7	0.00	0.00	0.00	-0.245	-49.04	400.00	0.00
1	1.95	-1658.5	0.00	0.00	0.00	-0.246	-49.13	400.00	0.00
1	1.30	-1661.4	0.00	0.00	0.00	-0.246	-49.21	400.00	0.00
1	0.65	-1664.2	0.00	0.00	0.00	-0.246	-49.30	400.00	0.00
1	0.00	-1667.1	0.00	0.00	0.00	-0.247	-49.38	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1650.0	0.00	0.00	0.00	-0.244	-48.88	400.00	0.00
1	3.25	-1652.8	0.00	0.00	0.00	-0.245	-48.96	400.00	0.00
1	2.60	-1655.7	0.00	0.00	0.00	-0.245	-49.04	400.00	0.00
1	1.95	-1658.5	0.00	0.00	0.00	-0.246	-49.13	400.00	0.00
1	1.30	-1661.4	0.00	0.00	0.00	-0.246	-49.21	400.00	0.00
1	0.65	-1664.2	0.00	0.00	0.00	-0.246	-49.30	400.00	0.00
1	0.00	-1667.1	0.00	0.00	0.00	-0.247	-49.38	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-1530.0	0.00	0.00	-0.227	-7.94	-18.00	1.00		0.44
1	3.25	-1532.8	0.00	0.00	-0.227	-7.95	-18.00	1.00		0.44
1	2.60	-1535.7	0.00	0.00	-0.228	-7.97	-18.00	1.00		0.44
1	1.95	-1538.5	0.00	0.00	-0.228	-7.98	-18.00	1.00		0.44
1	1.30	-1541.4	0.00	0.00	-0.229	-8.00	-18.00	1.00		0.44
1	0.65	-1544.2	0.00	0.00	-0.229	-8.01	-18.00	1.00		0.45
1	0.00	-1547.1	0.00	0.00	-0.229	-8.03	-18.00	1.00		0.45

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 0,60*L2 + 1,00*L1

A _{s,kalt} =	31.4 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	102 min
N _{Ed} =	-1547.1 kN	μ _{fi} =	0.361
N _{Rd} =	-4282.3 kN		
M _{Ryd} =	41.65 kNm	M _{Rzd} =	-90.97 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 31.4 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	31.42*43.48/(1750.00*2.27)	=	0.34
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.36*(1+0.34)/((.85/0.85)+0.34)]	=		=	53.0
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(42-30)	=	19.2 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(53.0+19.2+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	102.2 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.2 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.53 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.80 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.70 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.018 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.45 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 102.2 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.88 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-8.0	-30.5
Bügel: 32Ø10 mm	2	20	3.1	8.0	-30.5
	3	20	3.1	8.0	30.5
	4	20	3.1	-8.0	30.5
	5	20	3.1	-8.3	-15.5
	6	20	3.1	8.3	-15.5

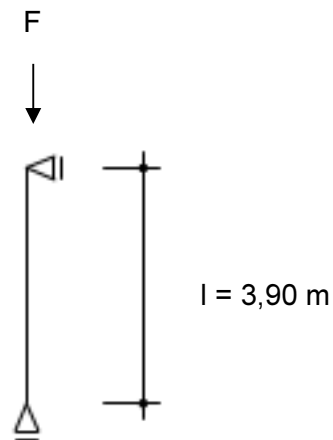
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
	7	20	3.1	-8.3	0.0
	8	20	3.1	8.3	0.0
	9	20	3.1	-8.3	15.5
	10	20	3.1	8.3	15.5
			31.4		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	3.0	2.0	3.2	2.2

3-S4 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 958,70$	kN
$q = 332,30$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
$b/h = 25/65 \text{ cm}$

Bewehrung:

10 Ø 16 (20,1 cm ²)
Bügel: Ø 8 15 cm

3-S4 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

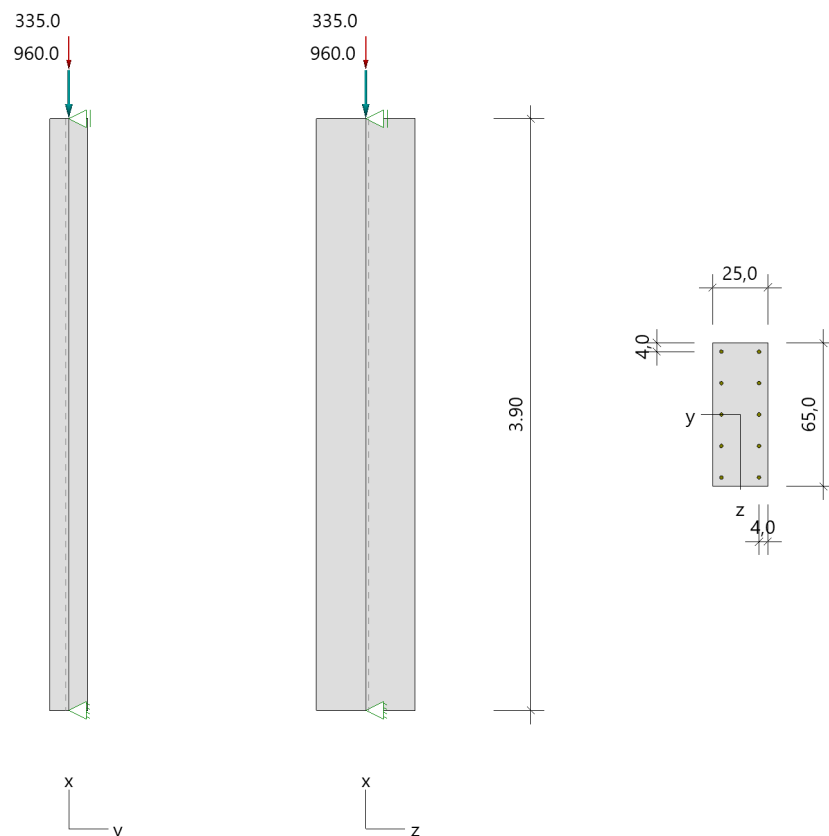
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:		
Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.89$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/65.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.0/4.0 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		960.0							ständig		
2	Stützenkopf		335.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-4.06	3.90	-4.06	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 10,63$ in y- / 71,83 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	54.2	20.8	25.0	25.0	1.0	1.0	1.221	0.943

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1798.5	0.00	0.00	0.39	6.3 ¹	20.1	Querschnitt
	3.25	-1802.1	9.15	-13.09	0.39	6.3 ¹	20.1	
	2.60	-1805.6	15.95	-22.77	0.39	6.3 ¹	20.1	
	1.95	-1809.2	18.61	-26.50	0.39	6.3 ¹	20.1	
	1.30	-1812.8	15.96	-22.81	0.39	6.3 ¹	20.1	
	0.65	-1816.3	9.17	-13.12	0.39	6.3 ¹	20.1	
	0.00	-1819.9	0.00	0.00	0.39	6.3 ¹	20.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	975.8	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		1819.9	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_v [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	15.8	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		335.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		960.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1295.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1297.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1300.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1302.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1305.6	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-1308.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1310.8	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-1295.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1297.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1300.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1302.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1305.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1308.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1310.8	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1295.0	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.52	400.00	0.00
1	3.25	-1297.6	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.61	400.00	0.00
1	2.60	-1300.3	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.70	400.00	0.00
1	1.95	-1302.9	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.79	400.00	0.00
1	1.30	-1305.6	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.87	400.00	0.00
1	0.65	-1308.2	0.00	0.00	0.00	-0.215	-42.96	400.00	0.00
1	0.00	-1310.8	0.00	0.00	0.00	-0.215	-43.05	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1295.0	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.52	400.00	0.00
1	3.25	-1297.6	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.61	400.00	0.00
1	2.60	-1300.3	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.70	400.00	0.00
1	1.95	-1302.9	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.79	400.00	0.00
1	1.30	-1305.6	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.87	400.00	0.00
1	0.65	-1308.2	0.00	0.00	0.00	-0.215	-42.96	400.00	0.00
1	0.00	-1310.8	0.00	0.00	0.00	-0.215	-43.05	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-1161.0	0.00	0.00	-0.191	-6.68	-18.00	1.00		0.37
1	3.25	-1163.6	0.00	0.00	-0.191	-6.70	-18.00	1.00		0.37
1	2.60	-1166.3	0.00	0.00	-0.192	-6.71	-18.00	1.00		0.37
1	1.95	-1168.9	0.00	0.00	-0.192	-6.73	-18.00	1.00		0.37
1	1.30	-1171.6	0.00	0.00	-0.193	-6.74	-18.00	1.00		0.37
1	0.65	-1174.2	0.00	0.00	-0.193	-6.76	-18.00	1.00		0.38
1	0.00	-1176.8	0.00	0.00	-0.193	-6.77	-18.00	1.00		0.38

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 0,60*L2 + 1,00*L1

A _{s,kalt} =	20.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	103 min
N _{Ed} =	-1176.8 kN	μ _{fi} =	0.320
N _{Rd} =	-3673.3 kN		
M _{Ryd} =	35.72 kNm	M _{Rzd} =	-78.12 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 20.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	20.11*43.48/(1625.00*2.27)	=	0.24
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.32*(1+0.24)/((.85/0.85)+0.24)] =				56.4
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(40-30)	=	16.0 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(56.4+16.0+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	102.6 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.0 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	h/b	= 2.60 ≤	h/b _{max}	= 4.00	η	= 0.65 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.012 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.31 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 102.6 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.88 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-8.5	-28.5
Bügel: 51Ø8 mm	2	16	2.0	8.5	-28.5
	3	16	2.0	8.5	28.5
	4	16	2.0	-8.5	28.5
	5	16	2.0	-8.5	-14.3
	6	16	2.0	8.5	-14.3

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	-8.5	0.0
	8	16	2.0	8.5	0.0
	9	16	2.0	-8.5	14.3
	10	16	2.0	8.5	14.3

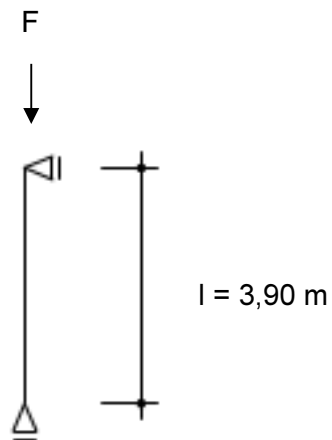
20.1

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.2	2.4

3-S10 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 632,90 \text{ kN}$
 $q = 240,50 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

$8 \text{ } \varnothing 16 (16,1 \text{ cm}^2)$
Bügel: $\varnothing 8 \mid 15 \text{ cm}$

3-S10 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

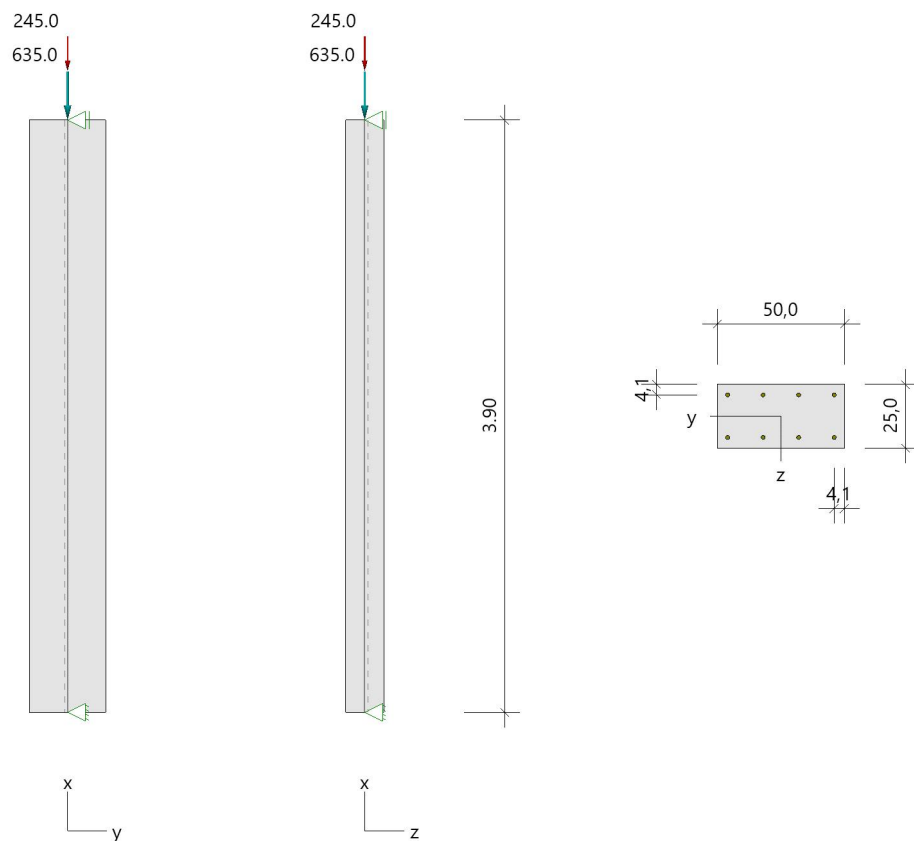
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 16 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 16 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:		
Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.91$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 50.0/25.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.1/4.1 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		635.0							ständig		
2	Stützenkopf		245.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-3.13	3.90	-3.13	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 47,97$ in y- / 11,99 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Krieeffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	27.1	54.2	25.0	25.0	1.0	1.0	1.222	0.933

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1224.8	0.00	0.00	0.34	4.3 ¹	16.1	Querschnitt
	3.25	-1227.5	8.48	-6.41	0.34	4.3 ¹	16.1	
	2.60	-1230.2	14.76	-11.17	0.34	4.3 ¹	16.1	
	1.95	-1233.0	17.18	-13.03	0.34	4.3 ¹	16.1	
	1.30	-1235.7	14.78	-11.18	0.34	4.3 ¹	16.1	
	0.65	-1238.5	8.50	-6.42	0.34	4.3 ¹	16.1	
	0.00	-1241.2	0.00	0.00	0.34	4.3 ¹	16.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.05	0.00	0.05	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	647.2	-0.05	0.00	-0.05	0.00	2
		1241.2	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_v [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	12.2	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		245.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		635.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	16.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-880.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-882.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-884.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-886.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-888.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-890.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-892.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-880.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-882.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-884.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-886.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-888.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-890.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-892.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-880.0	0.00	0.00	0.00	-0.187	-37.42	400.00	0.00
1	3.25	-882.0	0.00	0.00	0.00	-0.188	-37.51	400.00	0.00
1	2.60	-884.1	0.00	0.00	0.00	-0.188	-37.60	400.00	0.00
1	1.95	-886.1	0.00	0.00	0.00	-0.188	-37.68	400.00	0.00
1	1.30	-888.1	0.00	0.00	0.00	-0.189	-37.77	400.00	0.00
1	0.65	-890.2	0.00	0.00	0.00	-0.189	-37.86	400.00	0.00
1	0.00	-892.2	0.00	0.00	0.00	-0.190	-37.94	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-880.0	0.00	0.00	0.00	-0.187	-37.42	400.00	0.00
1	3.25	-882.0	0.00	0.00	0.00	-0.188	-37.51	400.00	0.00
1	2.60	-884.1	0.00	0.00	0.00	-0.188	-37.60	400.00	0.00
1	1.95	-886.1	0.00	0.00	0.00	-0.188	-37.68	400.00	0.00
1	1.30	-888.1	0.00	0.00	0.00	-0.189	-37.77	400.00	0.00
1	0.65	-890.2	0.00	0.00	0.00	-0.189	-37.86	400.00	0.00
1	0.00	-892.2	0.00	0.00	0.00	-0.190	-37.94	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-782.0	0.00	0.00	-0.167	-5.85	-18.00	1.00		0.32
1	3.25	-784.0	0.00	0.00	-0.168	-5.86	-18.00	1.00		0.33
1	2.60	-786.1	0.00	0.00	-0.168	-5.88	-18.00	1.00		0.33
1	1.95	-788.1	0.00	0.00	-0.168	-5.89	-18.00	1.00		0.33
1	1.30	-790.1	0.00	0.00	-0.169	-5.91	-18.00	1.00		0.33
1	0.65	-792.2	0.00	0.00	-0.169	-5.92	-18.00	1.00		0.33
1	0.00	-794.2	0.00	0.00	-0.170	-5.94	-18.00	1.00		0.33

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 0,60*L2 + 1,00*L1

A _{s,kalt} =	16.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	111 min
N _{Ed} =	-794.2 kN	μ _{fi} =	0.280
N _{Rd} =	-2841.2 kN		
M _{Ryd} =	60.62 kNm	M _{Rzd} =	-31.39 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 16.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	16.08*43.48/(1250.00*2.27)	=	0.25
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.28*(1+0.25)/((.85/0.85)+0.25)]	=		=	59.8
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(41-30)	=	17.6 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(59.8+17.6+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	111.1 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.1 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.51 ✓
Verhältnis	b/h	= 2.00 ≤	b/h _{max}	= 4.00	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.013 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.32 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 111.1 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.81 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-20.9	-8.4
Bügel: 38Ø8 mm	2	16	2.0	20.9	-8.4
	3	16	2.0	20.9	8.4
	4	16	2.0	-20.9	8.4
	5	16	2.0	-7.0	-8.4
	6	16	2.0	-7.0	8.4

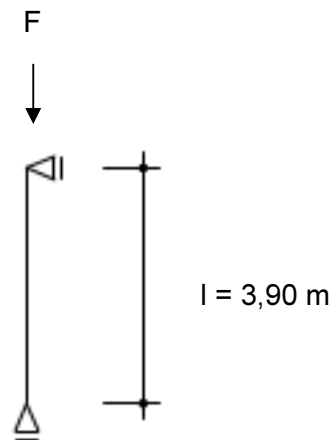
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	16	2.0	7.0	-8.4
	8	16	2.0	7.0	8.4
			16.1		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

3-S11 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 878,90 \text{ kN}$
 $q = 310,40 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 22/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

8 Ø 16 (16,1 cm²)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

3-S11 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

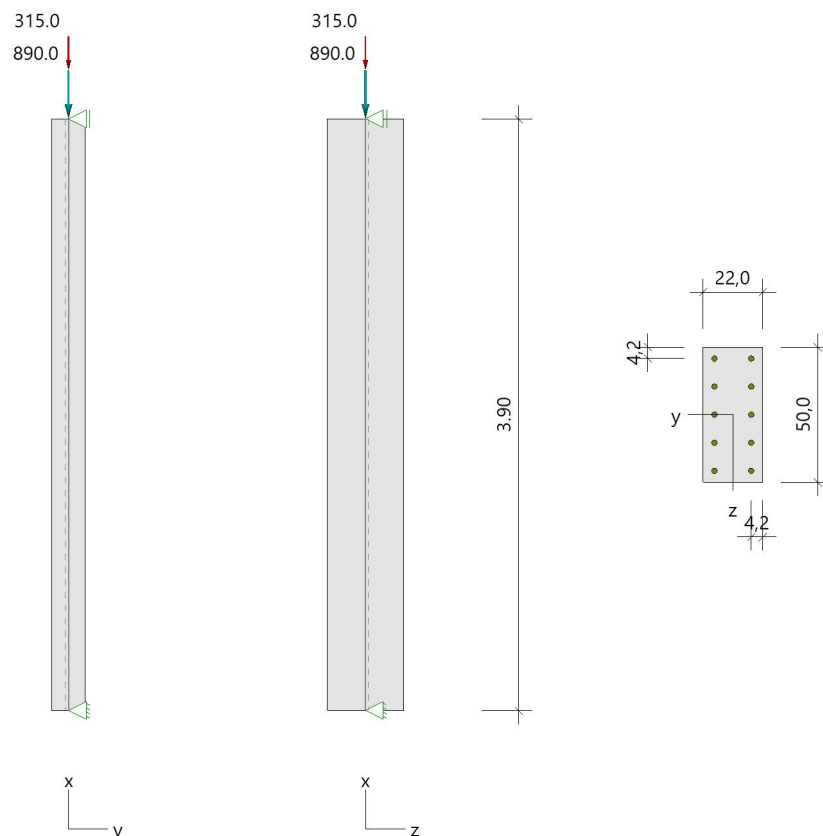
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8$ 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	$c_{v,b} = 22$ mm
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40$ mm

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28$ Tage	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.94$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00$ N/mm ²	$E_{cm} = 35000$ N/mm ²
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00$ N/mm ²	$E_s = 200000$ N/mm ²
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0$ ‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90$ m
Querschnitt	$b_y/d_z = 22.0/50.0$ cm
	$b_1/d_1 = 4.2/4.2$ cm
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		890.0							ständig		
2	Stützenkopf		315.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.75	3.90	-2.75	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 5,99$ in y- / 30,96 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Krieeffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	61.5	27.1	25.0	25.0	1.0	1.0	1.249	1.000

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1674.0	0.00	0.00	0.53	5.8 ¹	31.4	Querschnitt
	3.25	-1676.4	9.13	-20.33	0.53	5.8 ¹	31.4	
	2.60	-1678.8	15.91	-35.34	0.53	5.8 ¹	31.4	
	1.95	-1681.2	18.55	-41.03	0.53	5.8 ¹	31.4	
	1.30	-1683.7	15.92	-35.40	0.53	5.8 ¹	31.4	
	0.65	-1686.1	9.15	-20.40	0.53	5.8 ¹	31.4	
	0.00	-1688.5	0.00	0.00	0.53	5.8 ¹	31.4	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.05	0.00	0.04	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	900.7	-0.05	0.00	-0.04	0.00	2
		1688.5	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_v [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	10.7	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		315.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		890.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	31.4

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1205.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1206.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1208.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1210.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1212.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-1213.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1215.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-1205.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1206.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1208.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1210.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1212.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1213.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1215.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1205.0	0.00	0.00	0.00	-0.269	-53.78	400.00	0.00
1	3.25	-1206.8	0.00	0.00	0.00	-0.269	-53.86	400.00	0.00
1	2.60	-1208.6	0.00	0.00	0.00	-0.270	-53.94	400.00	0.00
1	1.95	-1210.4	0.00	0.00	0.00	-0.270	-54.02	400.00	0.00
1	1.30	-1212.2	0.00	0.00	0.00	-0.271	-54.10	400.00	0.00
1	0.65	-1213.9	0.00	0.00	0.00	-0.271	-54.18	400.00	0.00
1	0.00	-1215.7	0.00	0.00	0.00	-0.271	-54.26	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1205.0	0.00	0.00	0.00	-0.269	-53.78	400.00	0.00
1	3.25	-1206.8	0.00	0.00	0.00	-0.269	-53.86	400.00	0.00
1	2.60	-1208.6	0.00	0.00	0.00	-0.270	-53.94	400.00	0.00
1	1.95	-1210.4	0.00	0.00	0.00	-0.270	-54.02	400.00	0.00
1	1.30	-1212.2	0.00	0.00	0.00	-0.271	-54.10	400.00	0.00
1	0.65	-1213.9	0.00	0.00	0.00	-0.271	-54.18	400.00	0.00
1	0.00	-1215.7	0.00	0.00	0.00	-0.271	-54.26	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-1079.0	0.00	0.00	-0.241	-8.44	-18.00	1.00		0.47
1	3.25	-1080.8	0.00	0.00	-0.242	-8.46	-18.00	1.00		0.47
1	2.60	-1082.6	0.00	0.00	-0.242	-8.47	-18.00	1.00		0.47
1	1.95	-1084.4	0.00	0.00	-0.242	-8.49	-18.00	1.00		0.47
1	1.30	-1086.2	0.00	0.00	-0.243	-8.50	-18.00	1.00		0.47
1	0.65	-1087.9	0.00	0.00	-0.243	-8.51	-18.00	1.00		0.47
1	0.00	-1089.7	0.00	0.00	-0.244	-8.53	-18.00	1.00		0.47

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 0,60*L2 + 1,00*L1

A _{s,kalt} =	31.4 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	93 min
N _{Ed} =	-1089.7 kN	μ _{fi} =	0.393
N _{Rd} =	-2773.7 kN		
M _{Ryd} =	32.17 kNm	M _{Rzd} =	-76.76 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 31.4 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	31.42*43.48/(1100.00*2.27)	=	0.55
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 220.0	=	264.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.39*(1+0.55)/((.85/0.85)+0.55)]	=		=	50.4
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(42-30)	=	19.2 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*264.00	=	23.8 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(50.4+19.2+10.56+23.76+0)/120] ^{1.8}	=	92.6 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m	≤	l _{max} = 6.00 m	η = 0.65	✓
Achsabstand	a	= 4.2 cm	≤	a _{max} = 8.0 cm	η = 0.53	✓
Verhältnis	h/b	= 2.27	≤	h/b _{max} = 4.00	η = 0.57	✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.029	<	A _s /A _{c,max} = 0.04	η = 0.71	✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 264 mm	≤	b' _{max} = 450 mm	η = 0.59	✓
Branddauer	R	= 92.6 min	≥	R _{min} = 90 min	η = 0.97	✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-6.8	-20.8
Bügel: 33Ø8 mm	2	20	3.1	6.8	-20.8
	3	20	3.1	6.8	20.8
	4	20	3.1	-6.8	20.8
	5	20	3.1	-6.8	-10.4
	6	20	3.1	6.8	-10.4

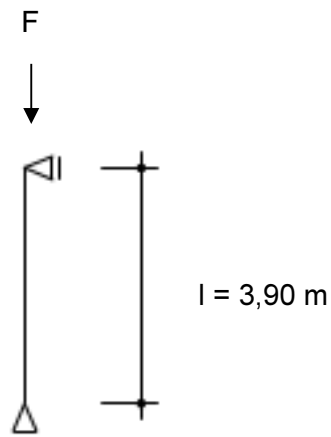
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	20	3.1	-6.8	0.0
	8	20	3.1	6.8	0.0
	9	20	3.1	-6.8	10.4
	10	20	3.1	6.8	10.4
			31.4		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	3.0	2.0	3.2	2.4

3-S17 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 1085,30$	kN
$q = 331,40$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze $b/h = 25/50 \text{ cm}$	
--	--

Bewehrung:

$8 \text{ } \varnothing 20 (25,1 \text{ cm}^2)$ Bügel: $\varnothing 8 \mid 15 \text{ cm}$	
--	--

3-S17 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

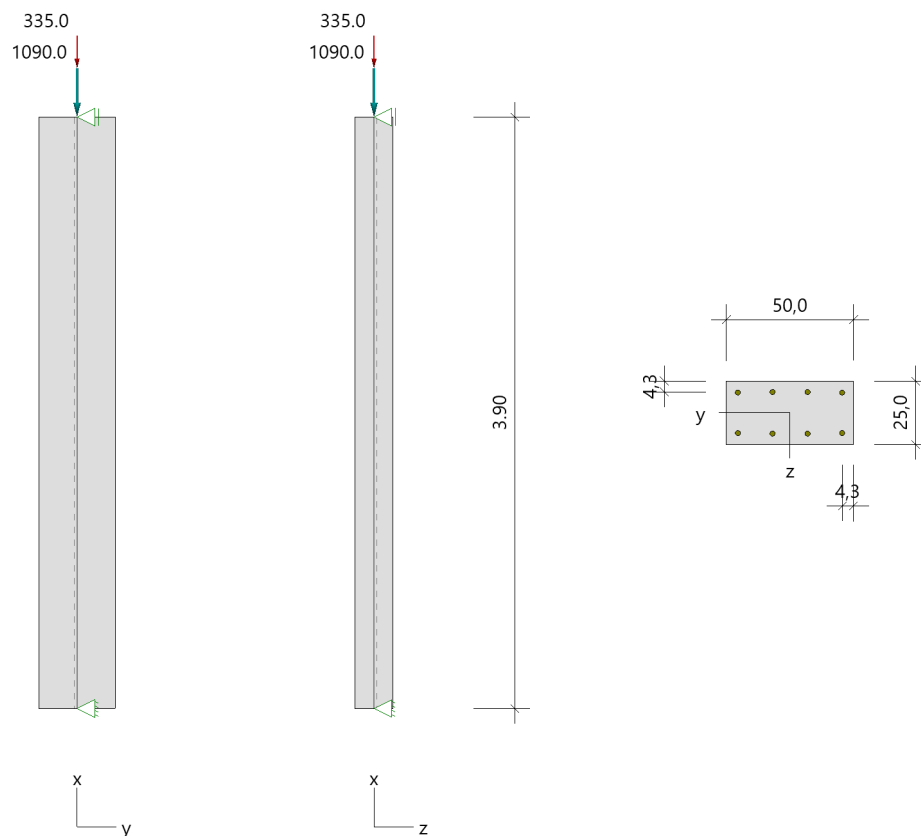
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8$ 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	$c_{v,b} = 22$ mm
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40$ mm

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28$ Tage	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.91$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00$ N/mm ²	$E_{cm} = 35000$ N/mm ²
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00$ N/mm ²	$E_s = 200000$ N/mm ²
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0$ ‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90$ m
Querschnitt	$b_y/d_z = 50.0/25.0$ cm
	$b_1/d_1 = 4.3/4.3$ cm
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1090.0							ständig		
2	Stützenkopf		335.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-3.13	3.90	-3.13	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- Mindestausmittungen 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 29,84$ in y- / 7,46 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Slankheiten, Ausmittungen und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	27.1	54.1	25.0	25.0	1.0	1.0	1.251	1.000

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1974.0	0.00	0.00	0.55	6.9 ¹	25.1	Querschnitt
	3.25	-1976.7	18.36	-10.82	0.55	6.9 ¹	25.1	
	2.60	-1979.5	31.92	-18.85	0.55	6.9 ¹	25.1	
	1.95	-1982.2	37.10	-21.98	0.55	6.9 ¹	25.1	
	1.30	-1985.0	31.97	-18.86	0.55	6.9 ¹	25.1	
	0.65	-1987.7	18.41	-10.84	0.55	6.9 ¹	25.1	
	0.00	-1990.5	0.00	0.00	0.55	6.9 ¹	25.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.05	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1102.2	-0.05	0.00	-0.1	0.00	2
		1990.5	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	12.2	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		335.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		1090.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	25.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1425.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1427.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1429.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1431.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1433.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-1435.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1437.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-1425.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1427.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1429.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1431.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1433.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1435.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1437.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1425.0	0.00	0.00	0.00	-0.292	-58.41	400.00	0.00
1	3.25	-1427.0	0.00	0.00	0.00	-0.292	-58.49	400.00	0.00
1	2.60	-1429.1	0.00	0.00	0.00	-0.293	-58.58	400.00	0.00
1	1.95	-1431.1	0.00	0.00	0.00	-0.293	-58.66	400.00	0.00
1	1.30	-1433.1	0.00	0.00	0.00	-0.294	-58.74	400.00	0.00
1	0.65	-1435.2	0.00	0.00	0.00	-0.294	-58.83	400.00	0.00
1	0.00	-1437.2	0.00	0.00	0.00	-0.295	-58.91	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1425.0	0.00	0.00	0.00	-0.292	-58.41	400.00	0.00
1	3.25	-1427.0	0.00	0.00	0.00	-0.292	-58.49	400.00	0.00
1	2.60	-1429.1	0.00	0.00	0.00	-0.293	-58.58	400.00	0.00
1	1.95	-1431.1	0.00	0.00	0.00	-0.293	-58.66	400.00	0.00
1	1.30	-1433.1	0.00	0.00	0.00	-0.294	-58.74	400.00	0.00
1	0.65	-1435.2	0.00	0.00	0.00	-0.294	-58.83	400.00	0.00
1	0.00	-1437.2	0.00	0.00	0.00	-0.295	-58.91	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-1291.0	0.00	0.00	-0.265	-9.29	-18.00	1.00		0.52
1	3.25	-1293.0	0.00	0.00	-0.266	-9.30	-18.00	1.00		0.52
1	2.60	-1295.1	0.00	0.00	-0.266	-9.32	-18.00	1.00		0.52
1	1.95	-1297.1	0.00	0.00	-0.267	-9.33	-18.00	1.00		0.52
1	1.30	-1299.1	0.00	0.00	-0.267	-9.35	-18.00	1.00		0.52
1	0.65	-1301.2	0.00	0.00	-0.267	-9.36	-18.00	1.00		0.52
1	0.00	-1303.2	0.00	0.00	-0.268	-9.38	-18.00	1.00		0.52

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 0,60*L2 + 1,00*L1

A _{s,kalt} =	25.1 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	97 min
N _{Ed} =	-1303.2 kN	μ _{fi} =	0.419
N _{Rd} =	-3113.3 kN		
M _{Ryd} =	68.85 kNm	M _{Rzd} =	-34.76 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 25.1 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	25.13*43.48/(1250.00*2.27)	=	0.39
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 250.0	=	300.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)] = 83*[1.00-0.42*(1+0.39)/((.85/0.85)+0.39)]	=	48.3		
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(43-30)	=	20.8 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*300.00	=	27.0 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(48.3+20.8+10.56+27.00+0)/120] ^{1.8}	=	97.0 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.3 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.54 ✓
Verhältnis	b/h	= 2.00 ≤	b/h _{max}	= 4.00	η	= 0.50 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.020 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.50 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 300 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.67 ✓
Branddauer	R	= 97.0 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.93 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-20.5	-8.0
Bügel: 32Ø8 mm	2	20	3.1	20.5	-8.0
	3	20	3.1	20.5	8.0
	4	20	3.1	-20.5	8.0
	5	20	3.1	6.9	-8.2
	6	20	3.1	6.9	8.2

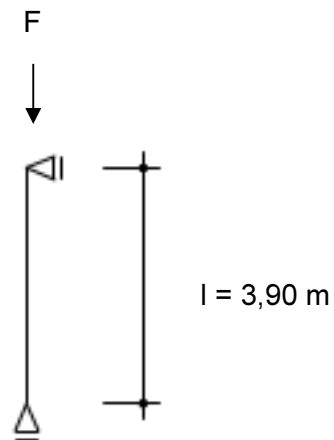
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	20	3.1	-6.9	-8.2
	8	20	3.1	-6.9	8.2
			25.1		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	3.0	2.0	3.3	2.5

3-S18 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 914,40$	kN
$q = 194,00$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
$b/h = 25/130 \text{ cm}$

Bewehrung:

12 Ø 10 (12,6 cm ²)
Bügel: Ø 8 15 cm

3-S18 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

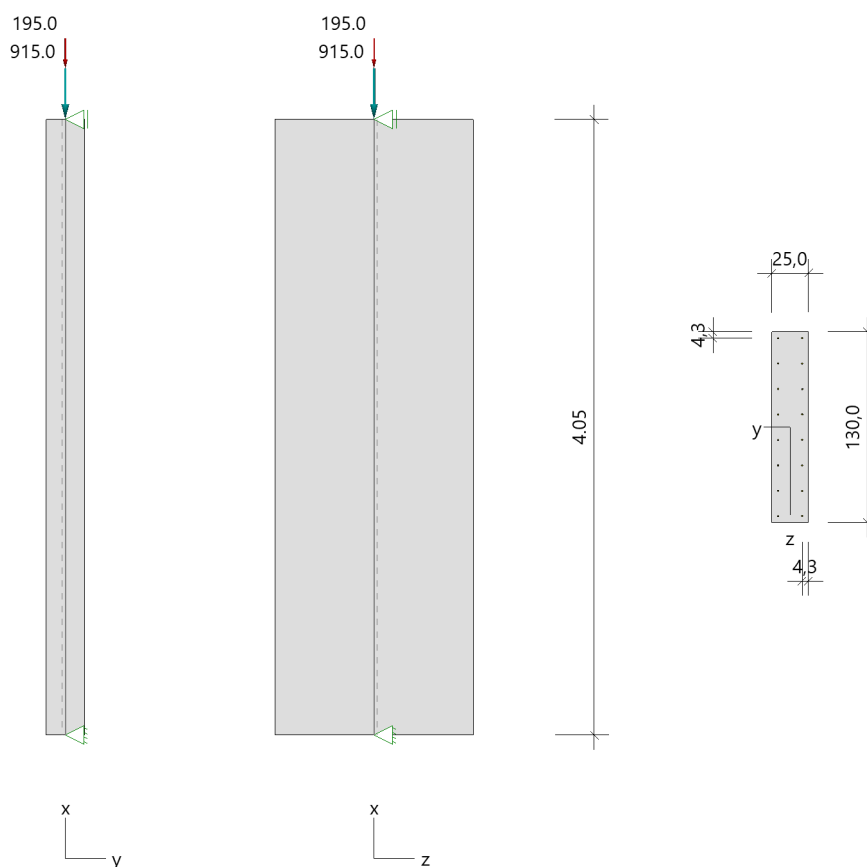
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 10 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 10 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 2.85$ (Benutzervorgabe)

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	γ_c	$\alpha_{cc} = 0.85$ f_{cd} [N/mm ²]	$\alpha_{ct} = 0.85$ f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützhöhe	$l = 4.05 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/130.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.3/4.3 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche	0.70	0.70	0.60		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		915.0							ständig		
2	Stützenkopf		195.0							Kat. C		

Punktlasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stützenkopf		32.9							ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Kopflast ständig

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- Ansatz Eigengewicht am Stützenabschnittskopf
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Langzeitauswirkungen werden über Ansatz des irreversiblen Anteils der Kriechbiegeline als spannungsfreie Anfangsverformung erfasst
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 22,68$ in y- / $613,18$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	Sk,y [m]	Sk,z [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	ei,y [cm]	ei,z [cm]	ϕ_∞	f _{red}
1	1	Schlanke Wand	4.05	4.05	56.1	10.8	34.6	34.6	1.0	1.0	2.850	0.682

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit ei (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ρ [%]	A _{s,erf} [cm ²]	A _{s,vorh} [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-1572.2	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	Querschnitt
	3.38	-1572.2	7.81	-8.60	0.30	9.8 ¹	12.6	
	2.70	-1572.2	13.61	-14.98	0.30	9.8 ¹	12.6	
	2.03	-1572.2	15.87	-17.46	0.30	9.8 ¹	12.6	
	1.35	-1572.2	13.61	-14.98	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.68	-1572.2	7.81	-8.60	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.00	-1572.2	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.6.2 (1)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	A _{d,v} [kN]	H _{d,y} [kN]	M _{d,z} [kNm]	H _{d,z} [kN]	M _{d,y} [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.0	0.00	0.0	0.00	1
			0.0	0.00	0.0	0.00	2
Fußpunkt	0.00	947.9	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		1572.2	0.0	0.00	0.0	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	Sk,y [m]	Sk,z [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	ei,y* [cm]	ei,z* [cm]	ϕ_∞	f _{red}
1	1	Schlanke Wand	4.05	4.05	56.1	10.8	0.0	0.0	0.4	0.4	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit ei (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ρ [%]	A _{s,erf} [cm ²]	A _{s,vorh} [cm ²]	Versagensart
1	4.05	-1064.9	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	Querschnitt
	3.38	-1064.9	2.19	-5.61	0.39	12.6	12.6	
	2.70	-1064.9	3.81	-9.74	0.39	12.6	12.6	
	2.03	-1064.9	4.44	-11.29	0.39	12.6	12.6	
	1.35	-1064.9	3.81	-9.74	0.39	12.6	12.6	
	0.68	-1064.9	2.19	-5.61	0.39	12.6	12.6	
	0.00	-1064.9	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	4.05		0.0	0.00	0.0	0.00	2
			0.0	0.00	0.0	0.00	1
Fußpunkt	0.00	947.9	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		1064.9	0.0	0.00	0.0	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	32.9	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		915.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Kopflast	ständig
		195.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	12.6

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	4.05	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.38	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.70	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.03	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.35	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.68	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1142.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	3.38	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	2.70	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	2.03	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	1.35	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	0.68	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	0.00	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	4.05	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	3.38	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	2.70	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	2.03	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	1.35	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	0.68	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00
1	0.00	-1142.9	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.74	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϵ_c [‰]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}^1$ [N/mm ²]	vorh $f_{\phi, nl}$	erf $f_{\phi, nl}$	η
1	4.05	-1064.9	0.00	0.00	-0.092	-3.22	-18.00	1.00		0.18
1	3.38	-1064.9	0.00	0.00	-0.092	-3.22	-18.00	1.00		0.18
1	2.70	-1064.9	0.00	0.00	-0.092	-3.22	-18.00	1.00		0.18
1	2.03	-1064.9	0.00	0.00	-0.092	-3.22	-18.00	1.00		0.18
1	1.35	-1064.9	0.00	0.00	-0.092	-3.22	-18.00	1.00		0.18
1	0.68	-1064.9	0.00	0.00	-0.092	-3.22	-18.00	1.00		0.18
1	0.00	-1064.9	0.00	0.00	-0.092	-3.22	-18.00	1.00		0.18

1 : $\sigma_{c,lim} = 0,45 \cdot f_{c,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	\emptyset [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy, \theta} / f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	10	0.8	-8.2	-60.7	607	38
Bügel: 13 \emptyset 8 mm	2	10	0.8	8.2	-60.7	607	38
	3	10	0.8	8.2	60.7	607	38
	4	10	0.8	-8.2	60.7	607	38
	5	10	0.8	-8.2	-43.4	386	95

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
	6	10	0.8	8.2	-43.4	386	95
	7	10	0.8	-8.2	-26.1	385	95
	8	10	0.8	8.2	-26.1	385	95
	9	10	0.8	-8.2	-8.7	385	95
	10	10	0.8	8.2	-8.7	385	95
	11	10	0.8	-8.2	8.7	385	95
	12	10	0.8	8.2	8.7	385	95
	13	10	0.8	-8.2	26.1	385	95
	14	10	0.8	8.2	26.1	385	95
	15	10	0.8	-8.2	43.4	386	95
	16	10	0.8	8.2	43.4	386	95

12.6

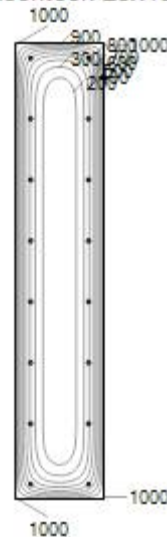
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.8	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m²K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m²K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.0 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

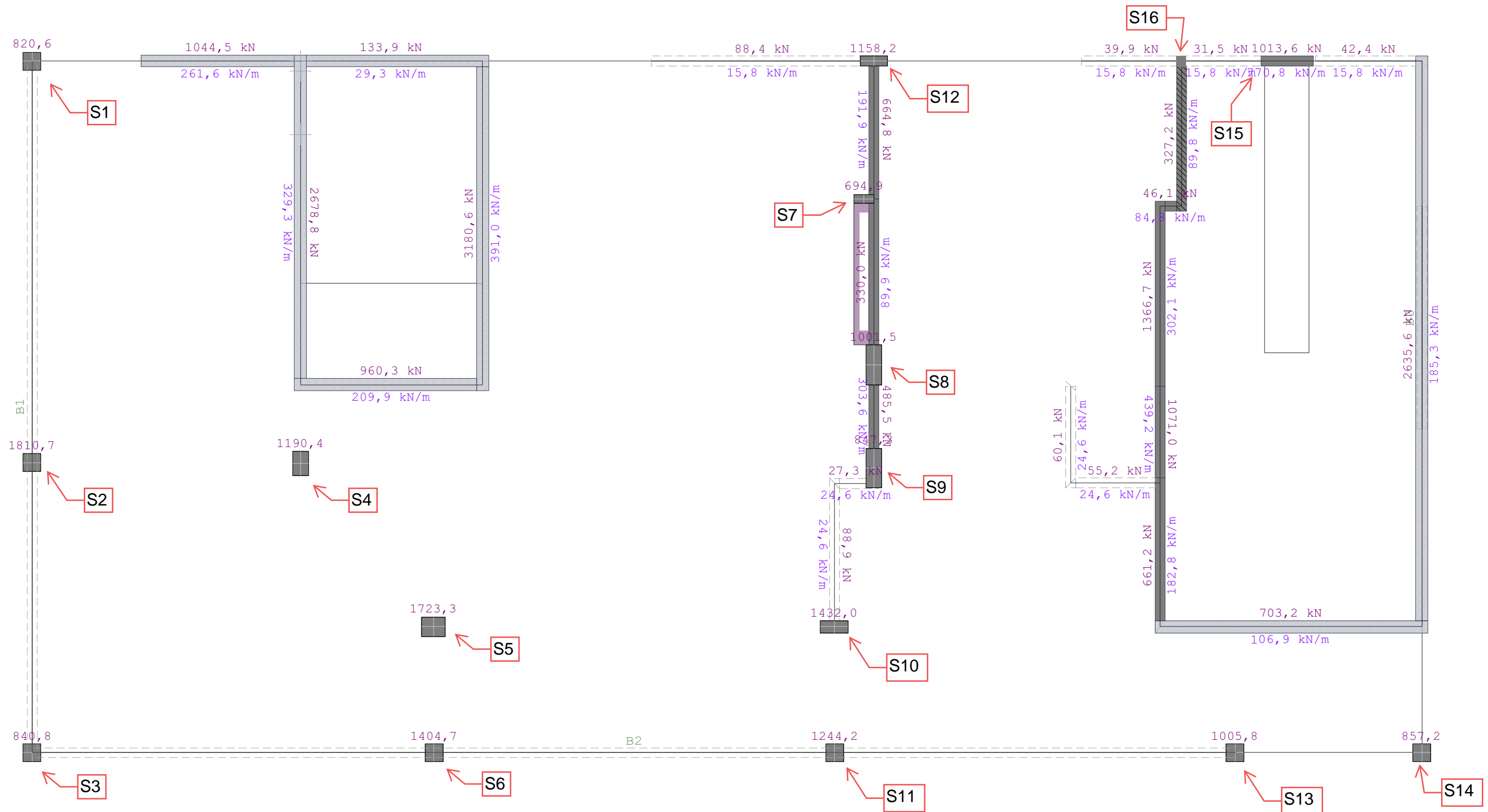
Temperaturfeld Rechteck 25x130 t=90min



3.3.4 Ebene 1 & Ebene 2 - Übersicht Stb.-Stütze

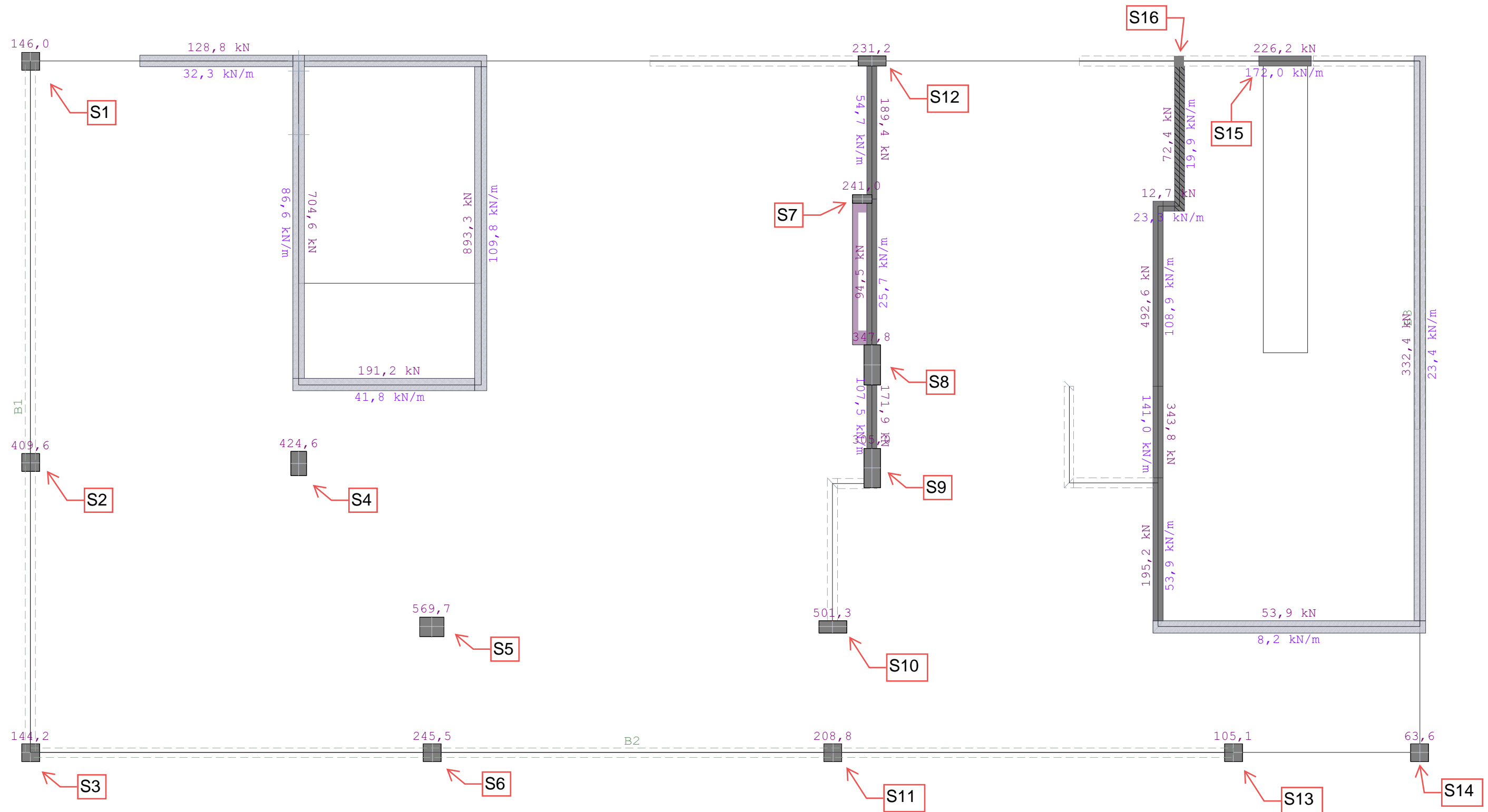
Aufgrund der überwiegend geschossübergreifenden Stützen werden Ebene 1 und 2 zusammen betrachtet

Abmessungen						Belastung				Bemessung			
Pos.		Breite [cm]	Dicke [cm]	Höhe [m]		G [kN]	Q [kN]	Ed [kN]		Betongüte	gewählt	vorh. As	wie
1/2-S1		45	45	6,90		820,6	146	1326,8		C40/50	8 Ø 28	49,3	1/2-S2
1/2-S2		45	45	6,90		1810,7	409,6	3058,8		C40/50	8 Ø 28	49,3	1/2-S2
1/2-S3		45	45	6,90		840,8	144,2	1351,4		C40/50	8 Ø 28	49,3	1/2-S2
1/2-S4		40	60	6,90		1190,4	424,6	2243,9		C40/50	10 Ø 25	49,1	
1/2-S5		50	60	6,90		1723,3	569,7	3181,0		C40/50	12 Ø 25	58,9	
1/2-S6		45	45	6,90		1404,7	245,5	2264,6		C40/50	8 Ø 28	49,3	1/2-S2
1/2-S7	1-geschossig	22	50	3,90		694,9	241	1299,6		C40/50	12 Ø 20	37,7	
1/2-S8		40	100	6,90		1001,5	347,8	1873,7		C40/50	16 Ø 25	78,5	
1/2-S9		40	100	6,90		847,3	305	1601,4		C40/50	16 Ø 25	78,5	1/2-S8
1/2-S10		30	70	6,90		1432	501,3	2685,2		C40/50	14 Ø 28	86,2	
1/2-S11		45	45	6,90		1244,2	208,8	1992,9		C40/50	8 Ø 28	49,3	1/2-S2
1/2-S12	1-geschossig	25	70	3,90		1158,2	231,2	1910,4		C40/50	10 Ø 20	31,4	
1/2-S13		45	45	6,90		1005,8	105,1	1515,5		C40/50	8 Ø 28	49,3	1/2-S2
1/2-S14		45	45	6,90		857,2	63,6	1252,6		C40/50	8 Ø 28	49,3	1/2-S2
1/2-S15	1-geschossig	25	130	3,90		1068,7	237,3	1798,7		C40/50	12 Ø 10	12,6	
1/2-S16	1-geschossig	24	24	3,90		165	100	372,8		C40/50	4 Ø 14	6,2	



Teil 1-1 - Aussteifung - Gesamtsystem
 001
 Geschoss: Decke über Ebene 2
 Summen G-Lasten (Wand- bzw. Stützenfuß)

1 : 100

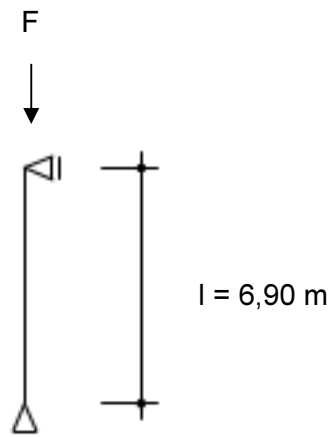


Teil 1-1 - Aussteifung - Gesamtsystem
001
Geschoss: Decke über Ebene 2
Summen Q-Lasten (Wand- bzw. Stützenfuß)

1 : 100

1/2-S2 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 1810,70 \text{ kN}$
 $q = 409,60 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 45/45 \text{ cm}$

Bewehrung:

$8 \text{ } \varnothing 28 (49,3 \text{ cm}^2)$
Bügel: $\varnothing 10 \mid 15 \text{ cm}$

1/2-S2 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

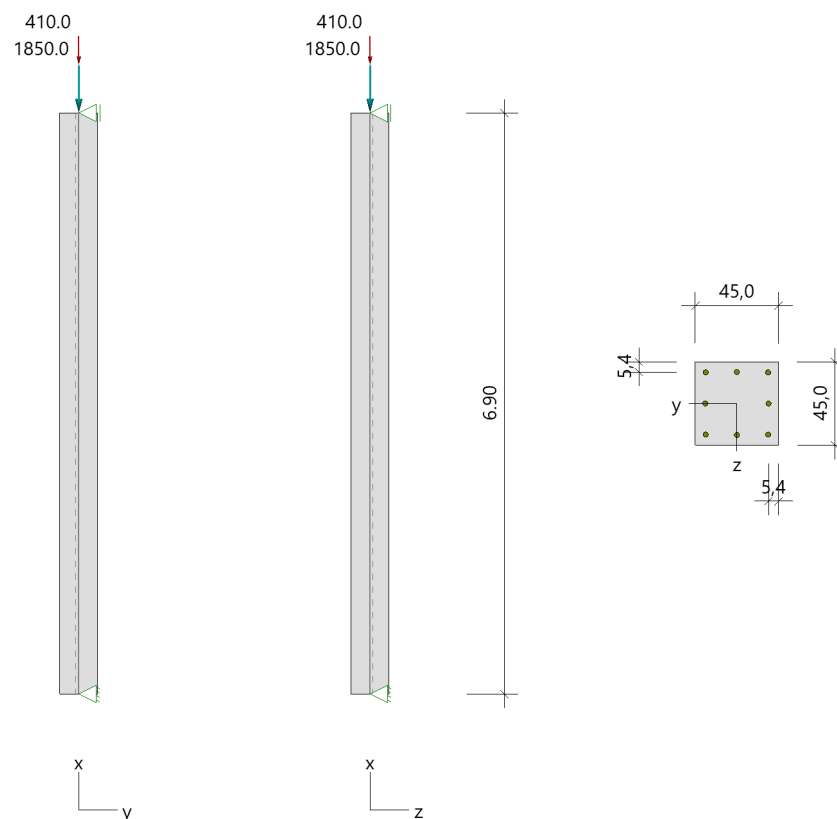
- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 10 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 28 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$C_{min,b} = 10 \text{ mm} \cdot 5$
Betondeckung	$C_{nom,b} = 20 \text{ mm} \cdot 5$
Längsbewehrung	$C_{min,l} = 28 \text{ mm} \cdot 5$
Betondeckung	$C_{nom,l} = 38 \text{ mm}$
Verlegemaß Bügel	$C_{v,b} = 28 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$W_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.83$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 6.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 45.0/45.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 5.4/5.4 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1850.0							ständig		
2	Stützenkopf		410.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-5.06	6.90	-5.06	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 7,91$ in y- / $7,91$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
2	x			x
1	G	g	G	g

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.87	6.87	53.3	53.3	25.0	25.0	1.3	1.3	1.235	1.000

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.90	-3112.5	0.00	0.00	0.54	10.9 ¹	49.3	Querschnitt
	5.75	-3120.4	36.56	-36.56	0.54	10.9 ¹	49.3	
	4.60	-3128.2	63.62	-63.62	0.54	10.9 ¹	49.3	
	3.45	-3136.1	73.99	-73.99	0.54	10.9 ¹	49.3	
	2.30	-3143.9	63.77	-63.77	0.54	10.9 ¹	49.3	
	1.15	-3151.8	36.73	-36.73	0.54	10.9 ¹	49.3	
	0.00	-3159.7	0.00	0.00	0.54	10.9 ¹	49.3	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.90		0.1 0.2	0.00 0.00	0.1 0.2	0.00 0.00	2 1
Fußpunkt	0.00	1884.9 3159.7	-0.1 -0.2	0.00 0.00	-0.1 -0.2	0.00 0.00	2 1

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}^*$ [cm]	$e_{i,z}^*$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.87	6.87	53.3	53.3	0.0	0.0	0.7	0.7	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.90	-2096.0	0.00	0.00	2.43	49.3	49.3	Querschnitt
	5.75	-2101.8	31.40	-31.40	2.43	49.3	49.3	
	4.60	-2107.6	54.47	-54.47	2.43	49.3	49.3	
	3.45	-2113.5	63.09	-63.09	2.43	49.3	49.3	
	2.30	-2119.3	54.64	-54.64	2.43	49.3	49.3	
	1.15	-2125.1	31.59	-31.59	2.43	49.3	49.3	
	0.00	-2130.9	0.00	0.00	2.43	49.3	49.3	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.90		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1884.9	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		2130.9	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	34.9	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		410.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		1850.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	49.3

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.90	-2260.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.75	-2265.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.60	-2271.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.45	-2277.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.30	-2283.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-2289.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-2294.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.90	-2260.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.75	-2265.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.60	-2271.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.45	-2277.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.30	-2283.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-2289.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-2294.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.90	-2260.0	0.00	0.00	0.00	-0.280	-55.98	400.00	0.00
1	5.75	-2265.8	0.00	0.00	0.00	-0.281	-56.12	400.00	0.00
1	4.60	-2271.6	0.00	0.00	0.00	-0.281	-56.27	400.00	0.00
1	3.45	-2277.5	0.00	0.00	0.00	-0.282	-56.41	400.00	0.00
1	2.30	-2283.3	0.00	0.00	0.00	-0.283	-56.55	400.00	0.00
1	1.15	-2289.1	0.00	0.00	0.00	-0.283	-56.70	400.00	0.00
1	0.00	-2294.9	0.00	0.00	0.00	-0.284	-56.84	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{yk}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.90	-2260.0	0.00	0.00	0.00	-0.280	-55.98	400.00	0.00
1	5.75	-2265.8	0.00	0.00	0.00	-0.281	-56.12	400.00	0.00
1	4.60	-2271.6	0.00	0.00	0.00	-0.281	-56.27	400.00	0.00
1	3.45	-2277.5	0.00	0.00	0.00	-0.282	-56.41	400.00	0.00
1	2.30	-2283.3	0.00	0.00	0.00	-0.283	-56.55	400.00	0.00
1	1.15	-2289.1	0.00	0.00	0.00	-0.283	-56.70	400.00	0.00
1	0.00	-2294.9	0.00	0.00	0.00	-0.284	-56.84	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{yk}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϵ_c [‰]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}^1$ [N/mm ²]	vorh $f_{\phi, nl}$	erf $f_{\phi, nl}$	η
1	6.90	-2096.0	0.00	0.00	-0.260	-9.10	-18.00	1.00		0.51
1	5.75	-2101.8	0.00	0.00	-0.261	-9.13	-18.00	1.00		0.51
1	4.60	-2107.6	0.00	0.00	-0.261	-9.15	-18.00	1.00		0.51
1	3.45	-2113.5	0.00	0.00	-0.262	-9.18	-18.00	1.00		0.51
1	2.30	-2119.3	0.00	0.00	-0.263	-9.20	-18.00	1.00		0.51
1	1.15	-2125.1	0.00	0.00	-0.264	-9.23	-18.00	1.00		0.51
1	0.00	-2130.9	0.00	0.00	-0.264	-9.25	-18.00	1.00		0.51

1 : $\sigma_{c,lim} = 0,45 \cdot f_{c,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	\emptyset [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy, \theta} / f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	28	6.2	-16.9	-16.9	479	73
Bügel: 39Ø10 mm	2	28	6.2	16.9	-16.9	479	73
	3	28	6.2	16.9	16.9	479	73
	4	28	6.2	-16.9	16.9	479	73
	5	28	6.2	0.0	-17.1	306	100

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
	6	28	6.2	0.0	17.1	306	100
	7	28	6.2	-17.1	0.0	306	100
	8	28	6.2	17.1	0.0	306	100
49.3							

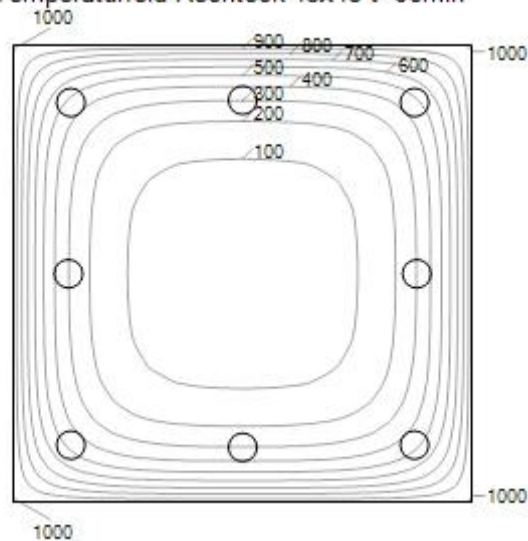
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. c _{nom,L} [cm]	erf. c _{nom,B} [cm]	vorh. c _{nom,L} [cm]	vorh. c _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	3.8	2.0	4.0	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

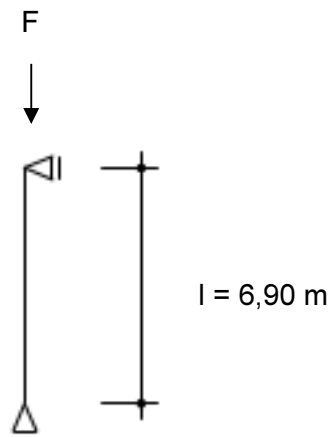
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m ² K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m ³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.5 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

Temperaturfeld Rechteck 45x45 t=90min



1/2-S4 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 1190,40 \text{ kN}$
 $q = 424,60 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 40/60 \text{ cm}$

Bewehrung:

10 Ø 25 ($49,1 \text{ cm}^2$)
Bügel: Ø 10 | 15 cm

1/2-S4 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

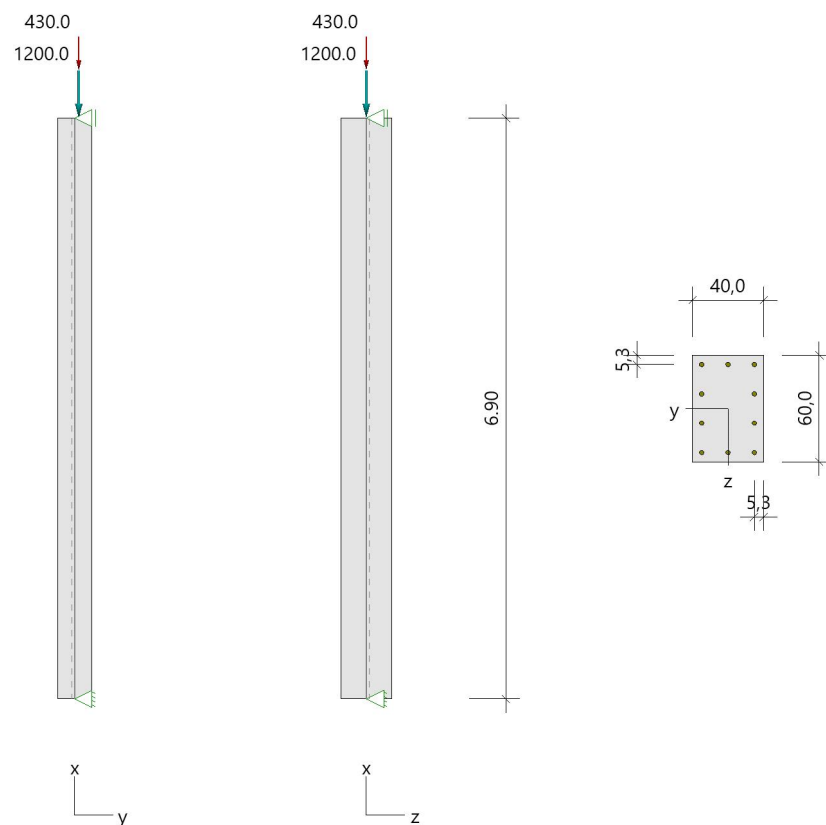
- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 10 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 25 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$C_{min,b} = 10 \text{ mm} \cdot 5$
Betondeckung	$C_{nom,b} = 20 \text{ mm} \cdot 5$
Längsbewehrung	$C_{min,l} = 25 \text{ mm} \cdot 5$
Betondeckung	$C_{nom,l} = 35 \text{ mm}$
Verlegemaß Bügel	$C_{v,b} = 25 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$W_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.82$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 6.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 40.0/60.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 5.3/5.3 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1200.0	5.0						ständig		
2	Stützenkopf		430.0	5.0						Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-6.00	6.90	-6.00	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- Mindestausmittungen 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 10,13$ in y- / 22,79 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.86	6.86	60.1	40.1	25.0	25.0	-1.3	1.3	1.170	0.913

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.90	-2265.0	0.00	113.25	0.33	8.0 ¹	49.1	Querschnitt
	5.75	-2274.3	17.65	140.89	0.33	8.0 ¹	49.1	
	4.60	-2283.6	30.76	151.53	0.33	8.0 ¹	49.1	
	3.45	-2292.9	35.87	141.17	0.33	8.0 ¹	49.1	
	2.30	-2302.3	30.81	108.75	0.33	8.0 ¹	49.1	
	1.15	-2311.6	17.72	59.18	0.33	8.0 ¹	49.1	
	0.00	-2320.9	0.00	0.00	0.33	8.0 ¹	49.1	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.90		8.5	0.00	0.1	0.00	2
			16.5	0.00	0.2	0.00	1
			8.8	0.00	0.1	0.00	2
			16.1	0.00	0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1241.4	-8.5	0.00	-0.1	0.00	2
		2320.9	-16.5	0.00	-0.2	0.00	1
		1241.4	-8.8	0.00	-0.1	0.00	2
		2320.9	-16.1	0.00	-0.2	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}^*$ [cm]	$e_{i,z}^*$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.85	6.85	60.2	40.1	0.0	0.0	-0.7	0.7	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.90	-1458.0	0.00	72.90	2.05	49.1	49.1	Querschnitt
	5.75	-1464.9	7.06	114.66	2.05	49.1	49.1	
	4.60	-1471.8	12.31	136.54	2.05	49.1	49.1	
	3.45	-1478.7	14.34	134.00	2.05	49.1	49.1	
	2.30	-1485.6	12.36	106.60	2.05	49.1	49.1	
	1.15	-1492.5	7.13	59.07	2.05	49.1	49.1	
	0.00	-1499.4	0.00	0.00	2.05	49.1	49.1	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.90		8.5	0.00	0.1	0.00	2
			10.5	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00		-8.7	0.00	-0.1	0.00	2
			-10.3	0.00	-0.1	0.00	1
			-10.5	0.00	-0.1	0.00	1
			-8.5	0.00	-0.1	0.00	2

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Abschnitt 1	6.90		3.1	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C ständig
			8.7	0.00	0.0	0.00	Last 1	
Fußpunkt	0.00	41.4	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		430.0	-3.1	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		1200.0	-8.7	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	49.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.90	-1630.0	0.00	81.50	0.0	0.0			
1	5.75	-1636.9	0.00	72.93	-0.3	0.0			
1	4.60	-1643.8	0.00	61.82	-0.5	0.0			
1	3.45	-1650.7	0.00	48.51	-0.5	0.0			
1	2.30	-1657.6	0.00	33.39	-0.4	0.0			
1	1.15	-1664.5	0.00	17.02	-0.2	0.0			
1	0.00	-1671.4	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.90	-1630.0	0.00	81.50	0.0	0.0			
1	5.75	-1636.9	0.00	70.14	-0.1	0.0			
1	4.60	-1643.8	0.00	57.60	-0.2	0.0			
1	3.45	-1650.7	0.00	44.09	-0.2	0.0			
1	2.30	-1657.6	0.00	29.82	-0.2	0.0			
1	1.15	-1664.5	0.00	15.04	-0.1	0.0			
1	0.00	-1671.4	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.90	-1630.0	0.00	81.50	1.63	-0.189	-37.89	400.00	0.00
1	5.75	-1636.9	0.00	72.93	1.63	-0.212	-42.46	400.00	0.00
1	4.60	-1643.8	0.00	61.82	1.63	-0.241	-48.27	400.00	0.00
1	3.45	-1650.7	0.00	48.51	1.63	-0.276	-55.18	400.00	0.00
1	2.30	-1657.6	0.00	33.39	1.63	-0.315	-62.98	400.00	0.00
1	1.15	-1664.5	0.00	17.02	1.63	-0.357	-71.39	400.00	0.00
1	0.00	-1671.4	0.00	0.00	1.63	-0.406	-81.22	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.90	-1630.0	0.00	81.50	0.00	-0.081	-16.28	400.00	0.00
1	5.75	-1636.9	0.00	70.14	0.00	-0.095	-19.03	400.00	0.00
1	4.60	-1643.8	0.00	57.60	0.00	-0.110	-22.05	400.00	0.00
1	3.45	-1650.7	0.00	44.09	0.00	-0.126	-25.29	400.00	0.00
1	2.30	-1657.6	0.00	29.82	0.00	-0.144	-28.70	400.00	0.00
1	1.15	-1664.5	0.00	15.04	0.00	-0.161	-32.24	400.00	0.00
1	0.00	-1671.4	0.00	0.00	0.00	-0.181	-36.30	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	6.90	-1458.0	0.00	72.90	-0.270	-9.43	-18.00	1.00		0.52
1	5.75	-1464.9	0.00	62.52	-0.254	-8.89	-18.00	1.00		0.49
1	4.60	-1471.8	0.00	51.20	-0.237	-8.30	-18.00	1.00		0.46
1	3.45	-1478.7	0.00	39.11	-0.219	-7.66	-18.00	1.00		0.43
1	2.30	-1485.6	0.00	26.41	-0.200	-6.99	-18.00	1.00		0.39
1	1.15	-1492.5	0.00	13.31	-0.180	-6.30	-18.00	1.00		0.35
1	0.00	-1499.4	0.00	0.00	-0.163	-5.70	-18.00	1.00		0.32

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
Abschnitt 1 Bügel: 40Ø10 mm	1	25	4.9	-14.8	-24.8	510	64
	2	25	4.9	14.8	-24.8	510	64
	3	25	4.9	14.8	24.8	510	64
	4	25	4.9	-14.8	24.8	510	64
	5	25	4.9	0.0	-24.8	316	99
	6	25	4.9	0.0	24.8	316	99
	7	25	4.9	-14.8	-8.2	313	99
	8	25	4.9	14.8	-8.2	313	99
	9	25	4.9	-14.8	8.2	313	99
	10	25	4.9	14.8	8.2	313	99

49.1

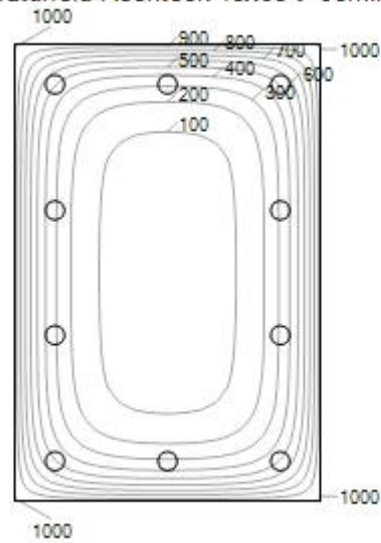
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. c _{nom,L} [cm]	erf. c _{nom,B} [cm]	vorh. c _{nom,L} [cm]	vorh. c _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	3.5	2.0	4.0	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

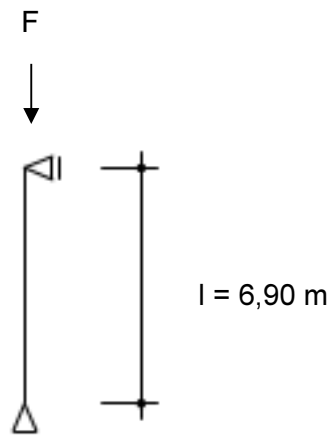
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m ² K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m ³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.3 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

Temperaturfeld Rechteck 40x60 t=90min



1/2-S5 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 1723,30$	kN
$q = 569,70$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze	
$b/h = 50/60 \text{ cm}$	

Bewehrung:

12 Ø 25 (58,9 cm²)	
Bügel: Ø 10 15 cm	

1/2-S5 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

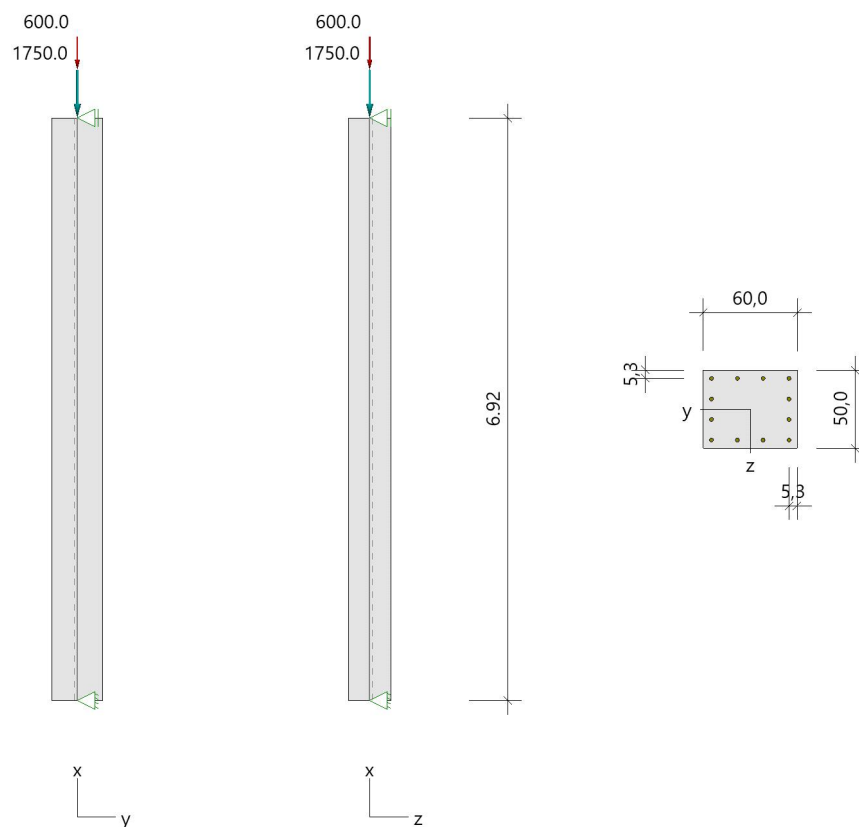
- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 10 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 25 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$C_{min,b} = 10 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$C_{nom,b} = 20 \text{ mm} \quad *5$
Längsbewehrung	$C_{min,l} = 25 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$C_{nom,l} = 35 \text{ mm}$
Verlegemaß Bügel	$C_{v,b} = 25 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$W_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:			
Luftfeuchte	LU =	50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 =$	28 Tage	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) =$	1.79	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 6.92 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 60.0/50.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 5.3/5.3 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt	
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild	

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1750.0							ständig		
2	Stützenkopf		600.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-7.50	6.92	-7.50	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 19,72$ in y- / 13,69 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$S_{k,y}$ [m]	$S_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.88	6.88	40.1	48.2	25.0	25.0	1.3	1.3	1.157	0.930

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.92	-3262.5	0.00	0.00	0.38	11.5 ¹	58.9	Querschnitt
	5.76	-3274.2	28.74	-26.03	0.38	11.5 ¹	58.9	
	4.61	-3285.8	50.07	-45.35	0.38	11.5 ¹	58.9	
	3.46	-3297.5	58.34	-52.88	0.38	11.5 ¹	58.9	
	2.31	-3309.2	50.19	-45.45	0.38	11.5 ¹	58.9	
	1.15	-3320.8	28.88	-26.14	0.38	11.5 ¹	58.9	
	0.00	-3332.5	0.00	0.00	0.38	11.5 ¹	58.9	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.92		0.2	0.00	0.2	0.00	2
			0.2	0.00	0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00		1801.9	-0.2	0.00	-0.2	2
			3332.5	-0.2	0.00	-0.2	1

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$S_{k,y}$ [m]	$S_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}^*$ [cm]	$e_{i,z}^*$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.87	6.87	40.2	48.2	0.0	0.0	0.7	0.7	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.92	-2110.0	0.00	0.00	1.96	58.9	58.9	Querschnitt
	5.76	-2118.6	13.32	-10.48	1.96	58.9	58.9	
	4.61	-2127.3	23.19	-18.24	1.96	58.9	58.9	
	3.46	-2135.9	26.98	-21.25	1.96	58.9	58.9	
	2.31	-2144.6	23.27	-18.29	1.96	58.9	58.9	
	1.15	-2153.2	13.41	-10.53	1.96	58.9	58.9	
	0.00	-2161.9	0.00	0.00	1.96	58.9	58.9	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.92		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1801.9	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		2161.9	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	51.9	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		600.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		1750.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	58.9

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.92	-2350.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.76	-2358.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.61	-2367.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.46	-2375.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.31	-2384.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-2393.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-2401.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.92	-2350.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.76	-2358.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.61	-2367.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.46	-2375.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.31	-2384.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-2393.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-2401.9	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.92	-2350.0	0.00	0.00	0.00	-0.205	-40.97	400.00	0.00
1	5.76	-2358.6	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.12	400.00	0.00
1	4.61	-2367.3	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.27	400.00	0.00
1	3.46	-2375.9	0.00	0.00	0.00	-0.207	-41.42	400.00	0.00
1	2.31	-2384.6	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.57	400.00	0.00
1	1.15	-2393.2	0.00	0.00	0.00	-0.209	-41.72	400.00	0.00
1	0.00	-2401.9	0.00	0.00	0.00	-0.209	-41.87	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{yk}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.92	-2350.0	0.00	0.00	0.00	-0.205	-40.97	400.00	0.00
1	5.76	-2358.6	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.12	400.00	0.00
1	4.61	-2367.3	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.27	400.00	0.00
1	3.46	-2375.9	0.00	0.00	0.00	-0.207	-41.42	400.00	0.00
1	2.31	-2384.6	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.57	400.00	0.00
1	1.15	-2393.2	0.00	0.00	0.00	-0.209	-41.72	400.00	0.00
1	0.00	-2401.9	0.00	0.00	0.00	-0.209	-41.87	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{yk}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϵ_c [‰]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}^1$ [N/mm ²]	vorh $f_{\phi, nl}$	erf $f_{\phi, nl}$	η
1	6.92	-2110.0	0.00	0.00	-0.184	-6.44	-18.00	1.00		0.36
1	5.76	-2118.6	0.00	0.00	-0.185	-6.46	-18.00	1.00		0.36
1	4.61	-2127.3	0.00	0.00	-0.185	-6.49	-18.00	1.00		0.36
1	3.46	-2135.9	0.00	0.00	-0.186	-6.52	-18.00	1.00		0.36
1	2.31	-2144.6	0.00	0.00	-0.187	-6.54	-18.00	1.00		0.36
1	1.15	-2153.2	0.00	0.00	-0.188	-6.57	-18.00	1.00		0.36
1	0.00	-2161.9	0.00	0.00	-0.188	-6.60	-18.00	1.00		0.37

1 : $\sigma_{c,lim} = 0,45 \cdot f_{c,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	\emptyset [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy, \theta} / f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	25	4.9	-24.8	-19.8	511	64
Bügel: 41Ø10 mm	2	25	4.9	24.8	-19.8	511	64
	3	25	4.9	24.8	19.8	511	64
	4	25	4.9	-24.8	19.8	511	64
	5	25	4.9	-8.2	-19.8	313	99

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
	6	25	4.9	-8.2	19.8	313	99
	7	25	4.9	8.2	-19.8	313	99
	8	25	4.9	8.2	19.8	313	99
	9	25	4.9	-24.8	-6.5	317	99
	10	25	4.9	24.8	-6.5	317	99
	11	25	4.9	-24.8	6.5	317	99
	12	25	4.9	24.8	6.5	317	99

58.9

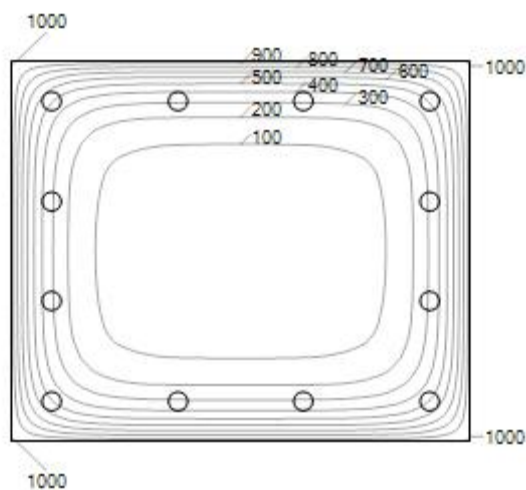
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. c _{nom,L} [cm]	erf. c _{nom,B} [cm]	vorh. c _{nom,L} [cm]	vorh. c _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	3.5	2.0	4.0	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

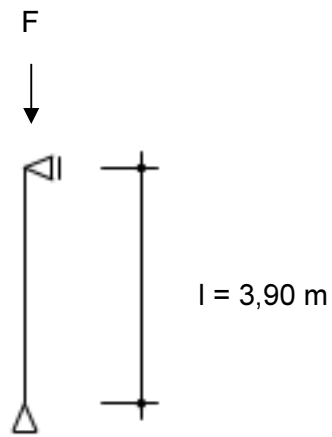
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m²K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m²K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.6 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

Temperaturfeld Rechteck 60x50 t=90min



1/2-S7 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell $g = 694,9 \text{ kN}$
 $q = 241,0 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 22/50 \text{ cm}$

Bewehrung:

12 Ø 20 (37,7 cm²)
Bügel: Ø 10 | 15 cm

1/2-S7 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

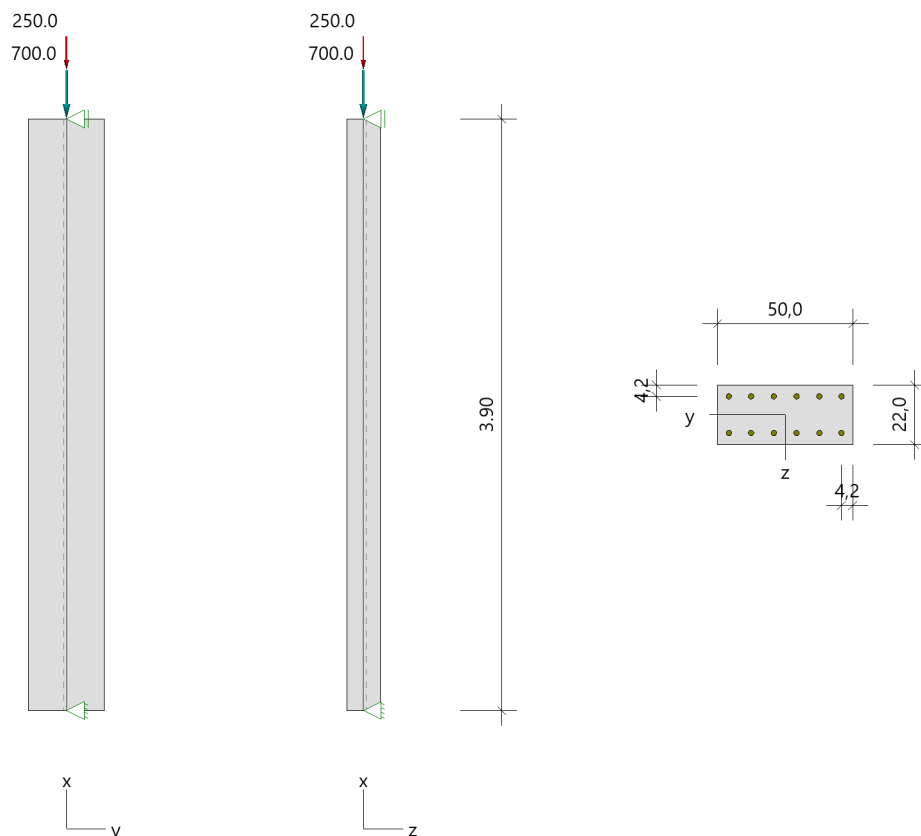
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

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

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.94$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 50.0/22.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.2/4.2 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		700.0							ständig		
2	Stützenkopf		250.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.75	3.90	-2.75	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 39,22$ in y- / 7,59 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	27.1	61.6	25.0	25.0	1.0	1.0	1.248	0.969

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1320.0	0.00	0.00	0.42	4.6 ¹	37.7	Querschnitt
	3.25	-1322.4	12.11	-7.02	0.42	4.6 ¹	37.7	
	2.60	-1324.8	21.06	-12.23	0.42	4.6 ¹	37.7	
	1.95	-1327.2	24.48	-14.26	0.42	4.6 ¹	37.7	
	1.30	-1329.7	21.10	-12.24	0.42	4.6 ¹	37.7	
	0.65	-1332.1	12.15	-7.03	0.42	4.6 ¹	37.7	
	0.00	-1334.5	0.00	0.00	0.42	4.6 ¹	37.7	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.04	0.00	0.05	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	710.7	-0.04	0.00	-0.05	0.00	2
		1334.5	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_v [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	10.7	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		250.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		700.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	37.7

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-950.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-951.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-953.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-955.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-957.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-958.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-960.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-950.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-951.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-953.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-955.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-957.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-958.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-960.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-950.0	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.21	400.00	0.00
1	3.25	-951.8	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.28	400.00	0.00
1	2.60	-953.6	0.00	0.00	0.00	-0.207	-41.36	400.00	0.00
1	1.95	-955.4	0.00	0.00	0.00	-0.207	-41.44	400.00	0.00
1	1.30	-957.2	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.52	400.00	0.00
1	0.65	-958.9	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.60	400.00	0.00
1	0.00	-960.7	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.67	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-950.0	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.21	400.00	0.00
1	3.25	-951.8	0.00	0.00	0.00	-0.206	-41.28	400.00	0.00
1	2.60	-953.6	0.00	0.00	0.00	-0.207	-41.36	400.00	0.00
1	1.95	-955.4	0.00	0.00	0.00	-0.207	-41.44	400.00	0.00
1	1.30	-957.2	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.52	400.00	0.00
1	0.65	-958.9	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.60	400.00	0.00
1	0.00	-960.7	0.00	0.00	0.00	-0.208	-41.67	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-850.0	0.00	0.00	-0.185	-6.49	-18.00	1.00		0.36
1	3.25	-851.8	0.00	0.00	-0.186	-6.50	-18.00	1.00		0.36
1	2.60	-853.6	0.00	0.00	-0.186	-6.52	-18.00	1.00		0.36
1	1.95	-855.4	0.00	0.00	-0.187	-6.53	-18.00	1.00		0.36
1	1.30	-857.2	0.00	0.00	-0.187	-6.54	-18.00	1.00		0.36
1	0.65	-858.9	0.00	0.00	-0.187	-6.56	-18.00	1.00		0.36
1	0.00	-860.7	0.00	0.00	-0.188	-6.57	-18.00	1.00		0.37

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 0,60*L2 + 1,00*L1

A _{s,kalt} =	37.7 cm ²	R(A _{s,kalt}) =	107 min
N _{Ed} =	-860.7 kN	μ _{fi} =	0.285
N _{Rd} =	-3019.9 kN		
M _{Ryd} =	78.73 kNm	M _{Rzd} =	-34.36 kNm

β_{sk,fi} = 1.000

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 37.7 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

ω	=	A _s *f _{yd} /(A _c *f _{cd})	=	37.70*43.48/(1100.00*2.27)	=	0.66
b'	=	1.2 * min(b,h)	=	1.2 * 220.0	=	264.0 mm
a _{cc}	=	Abminderungsfaktor	=		=	0.85
l _{0,fi,max}	=	Ersatzlänge; 2m ≤ l _{0,fi,max} ≤ 6 m	=		=	3.90 m
R _{ηfi}	=	83*[1.00 - μ _{fi} *(1 + ω) / ((.85/α _{cc})+ ω)]	=	83*[1.00-0.29*(1+0.66)/((.85/0.85)+0.66)]	=	59.3
R _a	=	1.60(a-30)	=	1.60*(42-30)	=	19.2 mm
R _l	=	9.60(5 - l _{0,fi})	=	9.60*(5-3.90)	=	10.56 m
R _b	=	0.09*b'	=	0.09*264.00	=	23.8 mm
R _n	=	nur 4 Eckstäbe vorhanden	=		=	0
R	=	120*[R _{ηfi} R _a +R _l +R _b +R _n]/120 ^{1.8}	=	120*[(59.3+19.2+10.56+23.76+0)/120] ^{1.8}	=	107.5 min
Stützenlänge	l	= 3.90 m ≤	l _{max}	= 6.00 m	η	= 0.65 ✓
Achsabstand	a	= 4.2 cm ≤	a _{max}	= 8.0 cm	η	= 0.53 ✓
Verhältnis	b/h	= 2.27 ≤	b/h _{max}	= 4.00	η	= 0.57 ✓
Verhältnis	A _s /A _c	= 0.034 <	A _s /A _{c,max}	= 0.04	η	= 0.86 ✓
1.2 * min(b,h)	b'	= 264 mm ≤	b' _{max}	= 450 mm	η	= 0.59 ✓
Branddauer	R	= 107.5 min ≥	R _{min}	= 90 min	η	= 0.84 ✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-20.8	-6.8
Bügel: 33Ø10 mm	2	20	3.1	20.8	-6.8
	3	20	3.1	20.8	6.8
	4	20	3.1	-20.8	6.8
	5	20	3.1	-12.6	-6.8
	6	20	3.1	-12.6	6.8

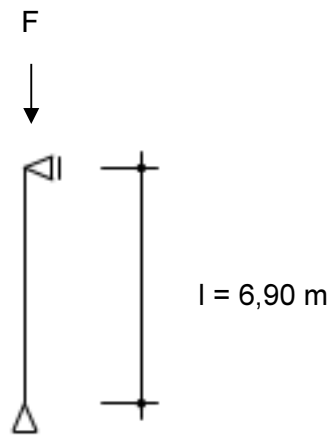
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	20	3.1	-4.2	-6.8
	8	20	3.1	-4.2	6.8
	9	20	3.1	4.2	-6.8
	10	20	3.1	4.2	6.8
	11	20	3.1	12.6	-6.8
	12	20	3.1	12.6	6.8
			37.7		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	3.0	2.0	3.2	2.2

1/2-S8 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell
 $g = 1001,5 \text{ kN}$
 $q = 347,8 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 40/100 \text{ cm}$

Bewehrung:

16 Ø 25 (78,5 cm²)
Bügel: Ø 10 | 15 cm

1/2-S8 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

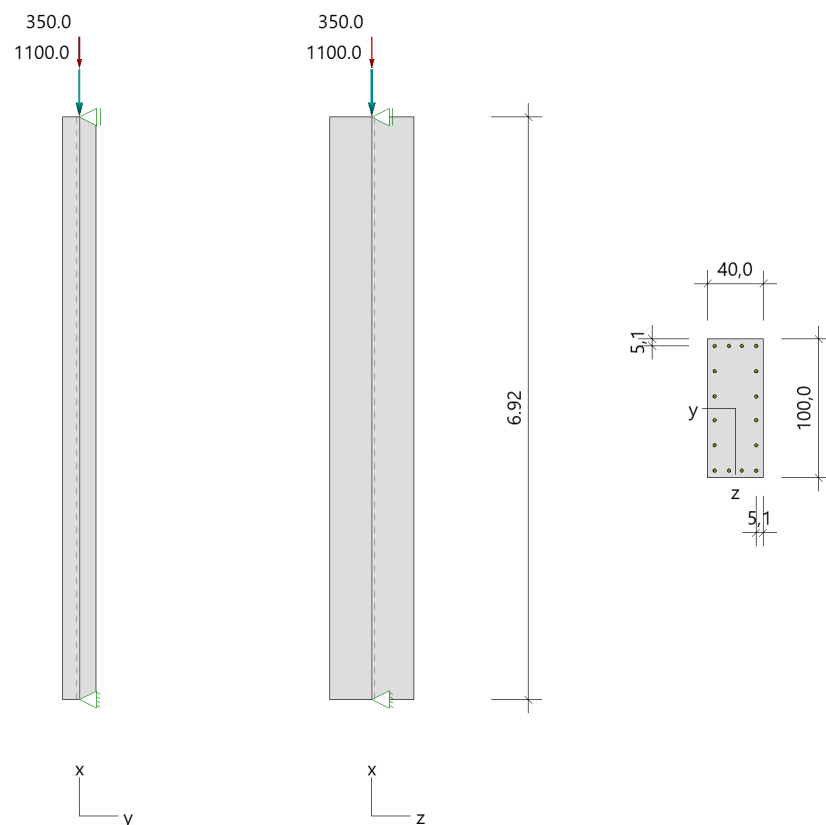
- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 25 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 25 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 35 \text{ mm}$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 27 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:	
Luftfeuchte	LU = 50 % Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.78$

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 6.92 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 40.0/100.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 5.1/5.1 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1100.0							ständig		
2	Stützenkopf		350.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-10.00	6.92	-10.00	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 18,73$ in y- / $117,09$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
1	G	g	g	G
2	x		x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.84	6.84	60.6	24.2	33.2	33.2	1.3	1.3	1.161	0.859

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.92	-2010.0	0.00	0.00	0.18	7.3 ¹	78.5	Querschnitt
	5.76	-2025.6	13.85	-16.65	0.18	7.3 ¹	78.5	
	4.61	-2041.1	24.16	-29.05	0.18	7.3 ¹	78.5	
	3.46	-2056.7	28.23	-33.90	0.18	7.3 ¹	78.5	
	2.31	-2072.2	24.24	-29.17	0.18	7.3 ¹	78.5	
	1.15	-2087.8	13.94	-16.80	0.18	7.3 ¹	78.5	
	0.00	-2103.4	0.00	0.00	0.18	7.3 ¹	78.5	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.92		0.2	0.00	0.2	0.00	2
			0.3	0.00	0.3	0.00	1
			0.2	0.00	0.2	0.00	3
			0.3	0.00	0.3	0.00	4
Fußpunkt	0.00	1169.2	-0.2	0.00	-0.2	0.00	2
		2103.4	-0.3	0.00	-0.3	0.00	1
		1578.4	-0.3	0.00	-0.3	0.00	4
		1694.2	-0.2	0.00	-0.2	0.00	3

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}^*$ [cm]	$e_{i,z}^*$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.83	6.83	60.7	24.3	0.0	0.0	0.7	0.7	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.92	-1310.0	0.00	0.00	1.96	78.5	78.5	Querschnitt
	5.76	-1321.5	4.91	-6.98	1.96	78.5	78.5	
	4.61	-1333.0	8.57	-12.17	1.96	78.5	78.5	
	3.46	-1344.6	10.01	-14.20	1.96	78.5	78.5	
	2.31	-1356.1	8.60	-12.25	1.96	78.5	78.5	
	1.15	-1367.6	4.95	-7.06	1.96	78.5	78.5	
	0.00	-1379.2	0.00	0.00	1.96	78.5	78.5	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.92		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1169.2	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		1379.2	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	69.2	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		1100.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig
		350.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	78.5

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.92	-1450.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.76	-1461.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.61	-1473.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.46	-1484.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.31	-1496.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-1507.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1519.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.92	-1450.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.76	-1461.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.61	-1473.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.46	-1484.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.31	-1496.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-1507.6	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1519.2	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [%]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.92	-1450.0	0.00	0.00	0.00	-0.095	-18.96	400.00	0.00
1	5.76	-1461.5	0.00	0.00	0.00	-0.096	-19.11	400.00	0.00
1	4.61	-1473.0	0.00	0.00	0.00	-0.096	-19.26	400.00	0.00
1	3.46	-1484.6	0.00	0.00	0.00	-0.097	-19.41	400.00	0.00
1	2.31	-1496.1	0.00	0.00	0.00	-0.098	-19.56	400.00	0.00
1	1.15	-1507.6	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.71	400.00	0.00
1	0.00	-1519.2	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.86	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [%]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.92	-1450.0	0.00	0.00	0.00	-0.095	-18.96	400.00	0.00
1	5.76	-1461.5	0.00	0.00	0.00	-0.096	-19.11	400.00	0.00
1	4.61	-1473.0	0.00	0.00	0.00	-0.096	-19.26	400.00	0.00
1	3.46	-1484.6	0.00	0.00	0.00	-0.097	-19.41	400.00	0.00
1	2.31	-1496.1	0.00	0.00	0.00	-0.098	-19.56	400.00	0.00
1	1.15	-1507.6	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.71	400.00	0.00
1	0.00	-1519.2	0.00	0.00	0.00	-0.099	-19.86	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϵ_c [%]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}^1$ [N/mm ²]	vorh $f_{\phi, nl}$	erf $f_{\phi, nl}$	η
1	6.92	-1310.0	0.00	0.00	-0.086	-3.00	-18.00	1.00		0.17
1	5.76	-1321.5	0.00	0.00	-0.086	-3.02	-18.00	1.00		0.17
1	4.61	-1333.0	0.00	0.00	-0.087	-3.05	-18.00	1.00		0.17
1	3.46	-1344.6	0.00	0.00	-0.088	-3.08	-18.00	1.00		0.17
1	2.31	-1356.1	0.00	0.00	-0.089	-3.10	-18.00	1.00		0.17
1	1.15	-1367.6	0.00	0.00	-0.089	-3.13	-18.00	1.00		0.17
1	0.00	-1379.2	0.00	0.00	-0.090	-3.16	-18.00	1.00		0.18

1 : $\sigma_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
Abschnitt 1 Bügel: 58Ø8 mm	1	25	4.9	-15.0	-45.0	528	59
	2	25	4.9	15.0	-45.0	528	59
	3	25	4.9	15.0	45.0	528	59
	4	25	4.9	-15.0	45.0	528	59
	5	25	4.9	-4.6	-45.0	337	98
	6	25	4.9	-4.6	45.0	337	98
	7	25	4.9	4.6	-45.0	337	98
	8	25	4.9	4.6	45.0	337	98
	9	25	4.9	-15.0	-26.7	325	99
	10	25	4.9	15.0	-26.7	325	99
	11	25	4.9	-15.0	-8.6	324	99
	12	25	4.9	15.0	-8.6	324	99
	13	25	4.9	-15.0	8.6	324	99
	14	25	4.9	15.0	8.6	324	99
	15	25	4.9	-15.0	26.7	325	99
	16	25	4.9	15.0	26.7	325	99
78.5							

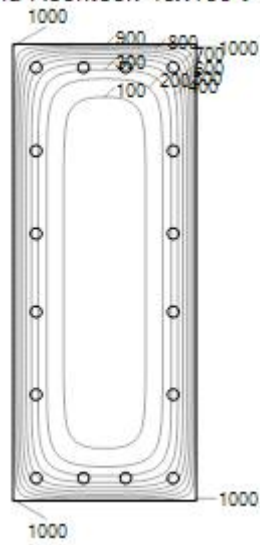
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. c _{nom,L} [cm]	erf. c _{nom,B} [cm]	vorh. c _{nom,L} [cm]	vorh. c _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	3.5	2.0	3.8	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

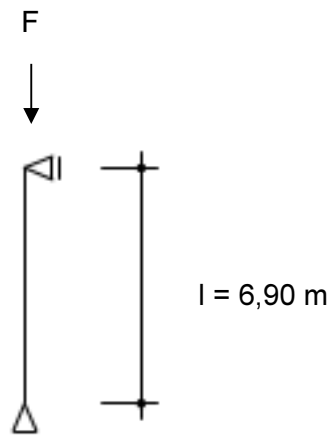
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m ² K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m ³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.3 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

Temperaturfeld Rechteck 40x100 t=90min



1/2-S10 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 1432,0$	kN
$q = 501,30$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
$b/h = 30/70 \text{ cm}$

Bewehrung:

14 Ø 28 (86,2 cm ²)
Bügel: Ø 10 15 cm

1/2-S10 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

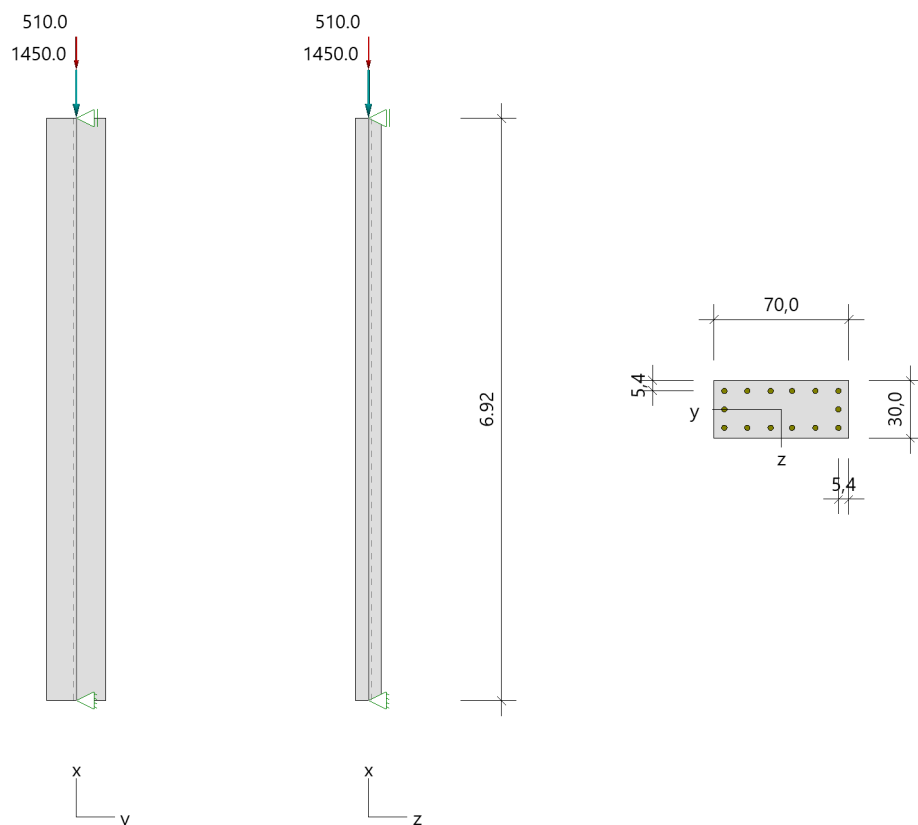
- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 10 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 28 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$C_{min,b} = 10 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$C_{nom,b} = 20 \text{ mm} \quad *5$
Längsbewehrung	$C_{min,l} = 28 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$C_{nom,l} = 38 \text{ mm}$
Verlegemaß Bügel	$C_{v,b} = 28 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$W_{max} = 0.40 \text{ mm}$

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.85$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 6.92 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 70.0/30.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 5.4/5.4 \text{ cm}$

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1450.0							ständig		
2	Stützenkopf		510.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-5.25	6.92	-5.25	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 22,55$ in y- / 4,14 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.88	6.88	34.4	80.2	25.0	25.0	1.3	1.3	1.195	1.000

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.92	-2722.5	0.00	0.00	0.78	16.4	86.2	Stabilität
	5.76	-2730.7	85.27	-21.01	0.78	16.4	86.2	
	4.61	-2738.8	148.68	-36.66	0.78	16.4	86.2	
	3.46	-2747.0	172.81	-42.79	0.78	16.4	86.2	
	2.31	-2755.2	149.34	-36.72	0.78	16.4	86.2	
	1.15	-2763.3	86.00	-21.08	0.78	16.4	86.2	
	0.00	-2771.5	0.00	0.00	0.78	16.4	86.2	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.92		0.1 0.1	0.00 0.00	0.1 0.4	0.00 0.00	2 1
Fußpunkt	0.00	1486.3 2771.5	-0.1 -0.1	0.00 0.00	-0.1 -0.4	0.00 0.00	2 1

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}^*$ [cm]	$e_{i,z}^*$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	6.88	6.88	34.4	80.3	0.0	0.0	0.7	0.7	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	6.92	-1756.0	0.00	0.00	4.11	86.2	86.2	Querschnitt
	5.76	-1762.0	72.63	-7.41	4.11	86.2	86.2	
	4.61	-1768.1	125.95	-12.89	4.11	86.2	86.2	
	3.46	-1774.1	145.86	-15.03	4.11	86.2	86.2	
	2.31	-1780.2	126.64	-12.92	4.11	86.2	86.2	
	1.15	-1786.3	73.39	-7.43	4.11	86.2	86.2	
	0.00	-1792.3	0.00	0.00	4.11	86.2	86.2	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	6.92		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.3	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1486.3	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		1792.3	-0.1	0.00	-0.3	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	36.3	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		510.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		1450.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	86.2

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.92	-1960.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.76	-1966.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.61	-1972.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.46	-1978.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.31	-1984.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-1990.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1996.3	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	6.92	-1960.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	5.76	-1966.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	4.61	-1972.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.46	-1978.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.31	-1984.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.15	-1990.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1996.3	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.92	-1960.0	0.00	0.00	0.00	-0.216	-43.18	400.00	0.00
1	5.76	-1966.0	0.00	0.00	0.00	-0.217	-43.32	400.00	0.00
1	4.61	-1972.1	0.00	0.00	0.00	-0.217	-43.45	400.00	0.00
1	3.46	-1978.1	0.00	0.00	0.00	-0.218	-43.58	400.00	0.00
1	2.31	-1984.2	0.00	0.00	0.00	-0.219	-43.72	400.00	0.00
1	1.15	-1990.3	0.00	0.00	0.00	-0.219	-43.85	400.00	0.00
1	0.00	-1996.3	0.00	0.00	0.00	-0.220	-43.98	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	6.92	-1960.0	0.00	0.00	0.00	-0.216	-43.18	400.00	0.00
1	5.76	-1966.0	0.00	0.00	0.00	-0.217	-43.32	400.00	0.00
1	4.61	-1972.1	0.00	0.00	0.00	-0.217	-43.45	400.00	0.00
1	3.46	-1978.1	0.00	0.00	0.00	-0.218	-43.58	400.00	0.00
1	2.31	-1984.2	0.00	0.00	0.00	-0.219	-43.72	400.00	0.00
1	1.15	-1990.3	0.00	0.00	0.00	-0.219	-43.85	400.00	0.00
1	0.00	-1996.3	0.00	0.00	0.00	-0.220	-43.98	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϵ_c [‰]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}^1$ [N/mm ²]	vorh $f_{\phi, nl}$	erf $f_{\phi, nl}$	η
1	6.92	-1756.0	0.00	0.00	-0.194	-6.78	-18.00	1.00		0.38
1	5.76	-1762.0	0.00	0.00	-0.194	-6.81	-18.00	1.00		0.38
1	4.61	-1768.1	0.00	0.00	-0.195	-6.83	-18.00	1.00		0.38
1	3.46	-1774.1	0.00	0.00	-0.196	-6.85	-18.00	1.00		0.38
1	2.31	-1780.2	0.00	0.00	-0.196	-6.88	-18.00	1.00		0.38
1	1.15	-1786.3	0.00	0.00	-0.197	-6.90	-18.00	1.00		0.38
1	0.00	-1792.3	0.00	0.00	-0.198	-6.92	-18.00	1.00		0.38

1 : $\sigma_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	\emptyset [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy, \theta} / f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	28	6.2	-29.6	-9.6	499	67
Bügel: 41Ø10 mm	2	28	6.2	29.6	-9.6	499	67
	3	28	6.2	29.6	9.6	499	67
	4	28	6.2	-29.6	9.6	499	67
	5	28	6.2	-17.7	-9.6	312	99

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
	6	28	6.2	-17.7	9.6	312	99
	7	28	6.2	-5.6	-9.6	306	100
	8	28	6.2	-5.6	9.6	306	100
	9	28	6.2	5.6	-9.6	306	100
	10	28	6.2	5.6	9.6	306	100
	11	28	6.2	17.7	-9.6	312	99
	12	28	6.2	17.7	9.6	312	99
	13	28	6.2	-29.6	0.0	332	98
	14	28	6.2	29.6	0.0	332	98
86.2							

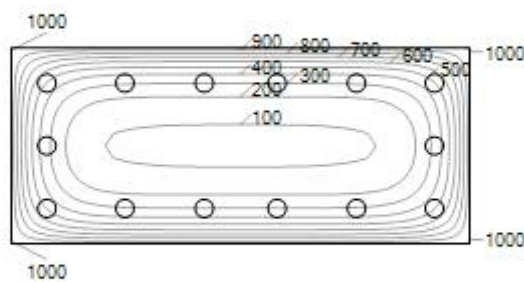
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. c _{nom,L} [cm]	erf. c _{nom,B} [cm]	vorh. c _{nom,L} [cm]	vorh. c _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	3.8	2.0	4.0	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

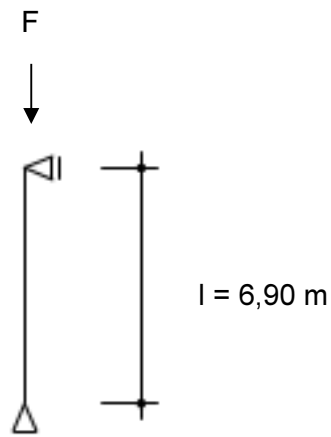
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m ² K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m ³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.1 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

Temperaturfeld Rechteck 70x30 t=90min



1/2-S12 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 1158,80 \text{ kN}$
 $q = 231,20 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
 Stahlgüte: B500A
 Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 25/70 \text{ cm}$

Bewehrung:

10 Ø 20 (31,4 cm²)
Bügel: Ø 10 | 15 cm

1/2-S12 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

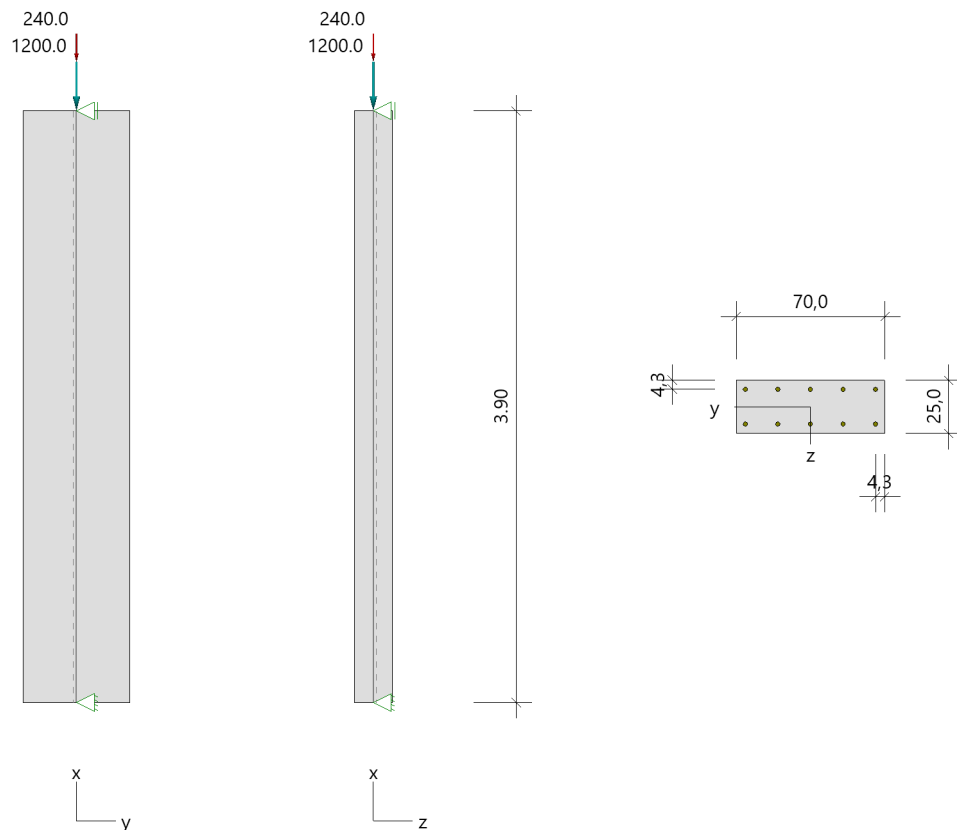
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8$ 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	$c_{v,b} = 22$ mm
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40$ mm

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:

Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28$ Tage	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 1.88$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00$ N/mm ²	$E_{cm} = 35000$ N/mm ²
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00$ N/mm ²	$E_s = 200000$ N/mm ²
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0$ ‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	γ_s	f_{yd} [N/mm ²]	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$ [N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	$l = 3.90$ m
Querschnitt	$b_y/d_z = 70.0/25.0$ cm
	$b_1/d_1 = 4.3/4.3$ cm

Bewehrungsanordnung (kalt) umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand) wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y [kN/m]	ϕ_z [kNm/rad]	u_z [kN/m]	ϕ_y [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1200.0							ständig		
2	Stützenkopf		240.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-4.38	3.90	-4.38	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 81,50$ in y- / 10,40 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Slankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.89	3.89	19.4	54.2	25.0	25.0	1.0	1.0	1.280	0.958

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1980.0	0.00	0.00	0.39	6.9 ¹	31.4	Querschnitt
	3.25	-1983.8	14.67	-10.02	0.39	6.9 ¹	31.4	
	2.60	-1987.7	25.53	-17.46	0.39	6.9 ¹	31.4	
	1.95	-1991.5	29.70	-20.37	0.39	6.9 ¹	31.4	
	1.30	-1995.4	25.56	-17.47	0.39	6.9 ¹	31.4	
	0.65	-1999.2	14.71	-10.03	0.39	6.9 ¹	31.4	
	0.00	-2003.0	0.00	0.00	0.39	6.9 ¹	31.4	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.1	0.00	0.1	0.00	2
			0.1	0.00	0.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1217.1	-0.1	0.00	-0.1	0.00	2
		2003.0	-0.1	0.00	-0.1	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	17.1	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		1200.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig
		240.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	31.4

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1440.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1442.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1445.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1448.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1451.4	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-1454.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1457.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-1440.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1442.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1445.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1448.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1451.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1454.2	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1457.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1440.0	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.63	400.00	0.00
1	3.25	-1442.8	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.71	400.00	0.00
1	2.60	-1445.7	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.80	400.00	0.00
1	1.95	-1448.5	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.88	400.00	0.00
1	1.30	-1451.4	0.00	0.00	0.00	-0.215	-42.97	400.00	0.00
1	0.65	-1454.2	0.00	0.00	0.00	-0.215	-43.05	400.00	0.00
1	0.00	-1457.1	0.00	0.00	0.00	-0.216	-43.13	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1440.0	0.00	0.00	0.00	-0.213	-42.63	400.00	0.00
1	3.25	-1442.8	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.71	400.00	0.00
1	2.60	-1445.7	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.80	400.00	0.00
1	1.95	-1448.5	0.00	0.00	0.00	-0.214	-42.88	400.00	0.00
1	1.30	-1451.4	0.00	0.00	0.00	-0.215	-42.97	400.00	0.00
1	0.65	-1454.2	0.00	0.00	0.00	-0.215	-43.05	400.00	0.00
1	0.00	-1457.1	0.00	0.00	0.00	-0.216	-43.13	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-1344.0	0.00	0.00	-0.199	-6.98	-18.00	1.00		0.39
1	3.25	-1346.8	0.00	0.00	-0.200	-7.00	-18.00	1.00		0.39
1	2.60	-1349.7	0.00	0.00	-0.200	-7.01	-18.00	1.00		0.39
1	1.95	-1352.5	0.00	0.00	-0.201	-7.03	-18.00	1.00		0.39
1	1.30	-1355.4	0.00	0.00	-0.201	-7.04	-18.00	1.00		0.39
1	0.65	-1358.2	0.00	0.00	-0.202	-7.06	-18.00	1.00		0.39
1	0.00	-1361.1	0.00	0.00	-0.202	-7.07	-18.00	1.00		0.39

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 1,00*L1 + 0,60*L2

$$\begin{aligned} A_{s,kalt} &= 31.4 \text{ cm}^2 & R(A_{s,kalt}) &= 111 \text{ min} \\ N_{Ed} &= -1361.1 \text{ kN} & \mu_{fi} &= 0.317 \\ N_{Rd} &= -4288.8 \text{ kN} \\ M_{Ryd} &= 90.32 \text{ kNm} & M_{Rzd} &= -41.70 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\beta_{sk,fi} = 1.000$$

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 31.4 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

$$\begin{aligned} \omega &= A_s \cdot f_{yd} / (A_c \cdot f_{cd}) = 31.42 \cdot 43.48 / (1750.00 \cdot 2.27) = 0.34 \\ b' &= 1.2 \cdot \min(b, h) = 1.2 \cdot 250.0 = 300.0 \text{ mm} \\ a_{cc} &= \text{Abminderungsfaktor} = 0.85 \\ l_{o,fi,max} &= \text{Ersatzlänge; } 2m \leq l_{o,fi,max} \leq 6m = 3.90 \text{ m} \\ R_{\eta fi} &= 83 \cdot [1.00 - \mu_{fi} \cdot (1 + \omega) / ((.85/\alpha_{cc}) + \omega)] = 83 \cdot [1.00 - 0.32 \cdot (1 + 0.34) / ((.85/0.85) + 0.34)] = 56.7 \\ R_a &= 1.60(a - 30) = 1.60(43 - 30) = 20.8 \text{ mm} \\ R_l &= 9.60(5 - l_{o,fi}) = 9.60(5 - 3.90) = 10.56 \text{ m} \\ R_b &= 0.09 \cdot b' = 0.09 \cdot 300.0 = 27.0 \text{ mm} \\ R_n &= \text{nur 4 Eckstäbe vorhanden} = 0 \end{aligned}$$

$$R = 120 \cdot [R_{\eta fi} R_a + R_l + R_b + R_n] / 120]^{1.8} = 120 \cdot [(56.7 + 20.8 + 10.56 + 27.00 + 0) / 120]^{1.8} = 111.2 \text{ min}$$

Stützenlänge	l = 3.90 m	≤	l _{max} = 6.00 m	η = 0.65	✓
Achsabstand	a = 4.3 cm	≤	a _{max} = 8.0 cm	η = 0.54	✓
Verhältnis	b/h = 2.80	≤	b/h _{max} = 4.00	η = 0.70	✓
Verhältnis	A _s /A _c = 0.018	<	A _s /A _{c,max} = 0.04	η = 0.45	✓
1.2 * min(b, h)	b' = 300 mm	≤	b' _{max} = 450 mm	η = 0.67	✓
Branddauer	R = 111.2 min	≥	R _{min} = 90 min	η = 0.81	✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-30.7	-8.2
Bügel: 42Ø8 mm	2	20	3.1	30.7	-8.2
	3	20	3.1	30.7	8.2
	4	20	3.1	-30.7	8.2
	5	20	3.1	-15.4	-8.2
	6	20	3.1	-15.4	8.2

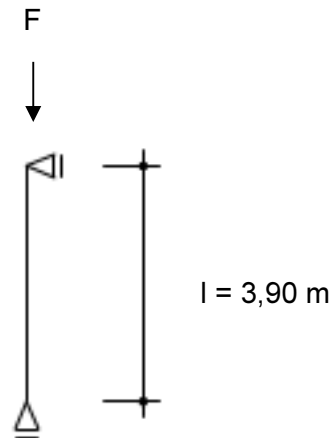
Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]
	7	20	3.1	0.0	-8.2
	8	20	3.1	0.0	8.2
	9	20	3.1	15.4	-8.2
	10	20	3.1	15.4	8.2
			31.4		

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	3.0	2.0	3.3	2.5

1/2-S15 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Gesamtmodell

$g = 1068,70$	kN
$q = 237,30$	kN

Bemessung:

Betongüte:	C40/50
Stahlgüte:	B500A
Expositionsklasse:	XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
$b/h = 25/130 \text{ cm}$

Bewehrung:

12 Ø 10 (12,6 cm²)
Bügel: Ø 8 15 cm

1/2-S15 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

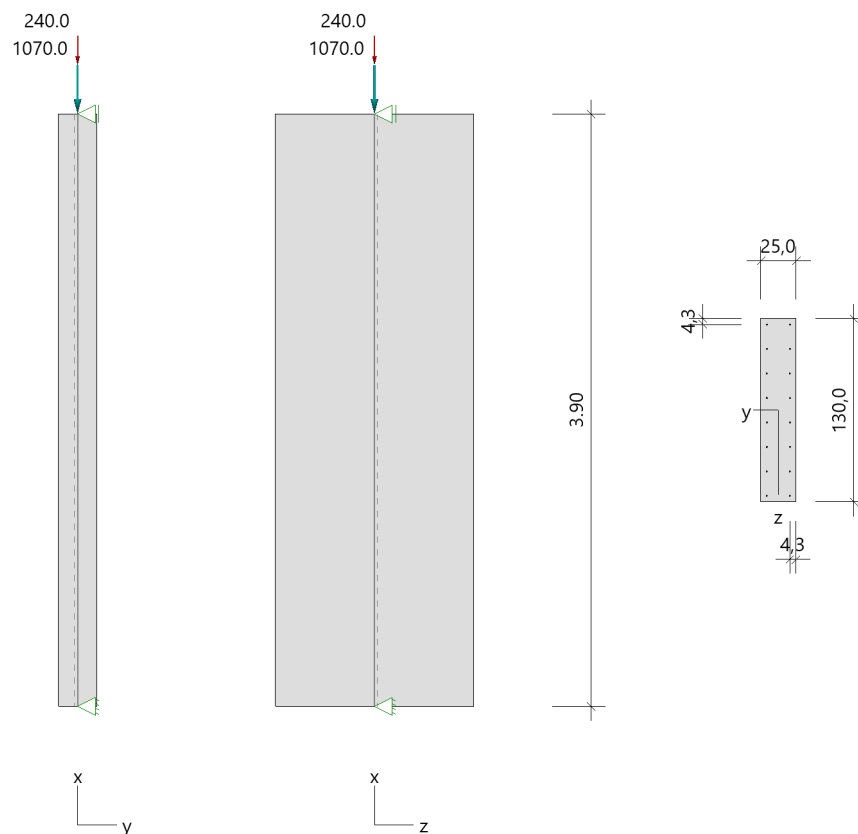
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 10 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 10 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Endkriechzahl $\phi(t_0, \infty) = 2.85$ (Benutzervorgabe)

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 25.0/130.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.3/4.3 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	umfangsverteilt
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche	0.70	0.70	0.60		1.500
ständig				1.000	1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		1070.0							ständig		
2	Stützenkopf		240.0							Kat. C		

Punktlasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stützenkopf		31.7							ständig		

Bezeichnungen der Lasten

- Last 1: Kopflast ständig

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- Ansatz Eigengewicht am Stützenabschnittskopf
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Kriecheffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Langzeitauswirkungen werden über Ansatz des irreversiblen Anteils der Kriechbiegeline als spannungsfreie Anfangsverformung erfasst
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

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 $\theta \leq 1/500$ begrenzt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $E_{eff,cal} = E_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 20,81$ in y- / $562,78$ in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	G	g
1	G	g	G	g
2	x			x

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	Sk,y [m]	Sk,z [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	ei,y [cm]	ei,z [cm]	ϕ_∞	f _{red}
1	1	Schlanke Wand	3.90	3.90	54.0	10.4	32.0	32.0	1.0	1.0	2.850	0.683

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit ei (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ρ [%]	A _{s,erf} [cm ²]	A _{s,vorh} [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1847.3	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	Querschnitt
	3.25	-1847.3	8.89	-9.90	0.30	9.8 ¹	12.6	
	2.60	-1847.3	15.50	-17.23	0.30	9.8 ¹	12.6	
	1.95	-1847.3	18.08	-20.09	0.30	9.8 ¹	12.6	
	1.30	-1847.3	15.50	-17.23	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.65	-1847.3	8.89	-9.90	0.30	9.8 ¹	12.6	
	0.00	-1847.3	0.00	0.00	0.30	9.8 ¹	12.6	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.6.2 (1)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	A _{d,v} [kN]	H _{d,y} [kN]	M _{d,z} [kNm]	H _{d,z} [kN]	M _{d,y} [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.0	0.00	0.0	0.00	1
			0.0	0.00	0.0	0.00	2
Fußpunkt	0.00	1101.7	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		1847.3	0.0	0.00	0.0	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R90) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Schlankheiten, Ausmitten und Kriecheffekte

LK	Abschnitt	Art	Sk,y [m]	Sk,z [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	ei,y* [cm]	ei,z* [cm]	ϕ_∞	f _{red}
1	1	Schlanke Wand	3.90	3.90	54.0	10.4	0.0	0.0	0.4	0.4	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/500

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit ei (Bemessungssituation Brand)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ρ [%]	A _{s,erf} [cm ²]	A _{s,vorh} [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-1245.7	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	Querschnitt
	3.25	-1245.7	2.46	-5.94	0.39	12.6	12.6	
	2.60	-1245.7	4.28	-10.31	0.39	12.6	12.6	
	1.95	-1245.7	5.00	-11.95	0.39	12.6	12.6	
	1.30	-1245.7	4.28	-10.31	0.39	12.6	12.6	
	0.65	-1245.7	2.46	-5.94	0.39	12.6	12.6	
	0.00	-1245.7	0.00	0.00	0.39	12.6	12.6	

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (Brand)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.0	0.00	0.0	0.00	1
			0.0	0.00	0.0	0.00	2
Fußpunkt	0.00	1101.7	0.0	0.00	0.0	0.00	2
		1245.7	0.0	0.00	0.0	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	31.7	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		1070.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Kopflast	ständig
		240.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	12.6

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1341.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	3.25	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	2.60	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	1.95	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	1.30	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	0.65	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	0.00	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{yk}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = 0$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ϵ_s [‰]	σ_s [N/mm ²]	$\sigma_{s,lim}^1$ [N/mm ²]	η
1	3.90	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	3.25	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	2.60	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	1.95	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	1.30	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	0.65	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00
1	0.00	-1341.7	0.00	0.00	0.00	-0.116	-23.17	400.00	0.00

1 : $\sigma_{s,lim} = 0,80 \cdot f_{yk}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
1	g	g
2	x	

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϵ_c [‰]	σ_c [N/mm ²]	$\sigma_{c,lim}^1$ [N/mm ²]	vorh $f_{\phi, nl}$	erf $f_{\phi, nl}$	η
1	3.90	-1245.7	0.00	0.00	-0.108	-3.76	-18.00	1.00		0.21
1	3.25	-1245.7	0.00	0.00	-0.108	-3.76	-18.00	1.00		0.21
1	2.60	-1245.7	0.00	0.00	-0.108	-3.76	-18.00	1.00		0.21
1	1.95	-1245.7	0.00	0.00	-0.108	-3.76	-18.00	1.00		0.21
1	1.30	-1245.7	0.00	0.00	-0.108	-3.76	-18.00	1.00		0.21
1	0.65	-1245.7	0.00	0.00	-0.108	-3.76	-18.00	1.00		0.21
1	0.00	-1245.7	0.00	0.00	-0.108	-3.76	-18.00	1.00		0.21

1 : $\sigma_{c,lim} = 0,45 \cdot f_{c,k}$ (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 90 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	\emptyset [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy, \theta} / f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	10	0.8	-8.2	-60.7	607	38
Bügel: 13 \emptyset 8 mm	2	10	0.8	8.2	-60.7	607	38
	3	10	0.8	8.2	60.7	607	38
	4	10	0.8	-8.2	60.7	607	38
	5	10	0.8	-8.2	-43.4	386	95

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	f _{sy,θ} /f _{yk} [%]
	6	10	0.8	8.2	-43.4	386	95
	7	10	0.8	-8.2	-26.1	385	95
	8	10	0.8	8.2	-26.1	385	95
	9	10	0.8	-8.2	-8.7	385	95
	10	10	0.8	8.2	-8.7	385	95
	11	10	0.8	-8.2	8.7	385	95
	12	10	0.8	8.2	8.7	385	95
	13	10	0.8	-8.2	26.1	385	95
	14	10	0.8	8.2	26.1	385	95
	15	10	0.8	-8.2	43.4	386	95
	16	10	0.8	8.2	43.4	386	95

12.6

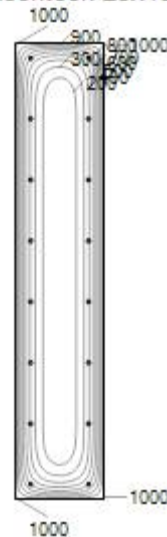
Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. C _{nom,L} [cm]	erf. C _{nom,B} [cm]	vorh. C _{nom,L} [cm]	vorh. C _{nom,B} [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.8	3.0

Temperaturverteilung im Querschnitt

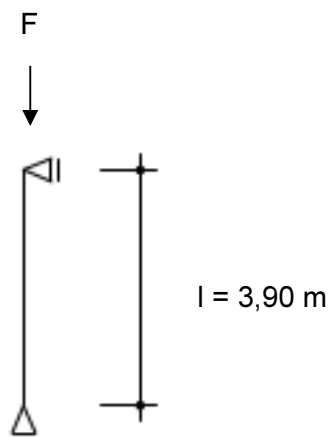
Wärmeübergangskoeffizient	α =	25.0 W/(m²K)
Wärmeübergangskoeffizient unbeflammt	α _c =	5.0 W/(m²K)
Emissivität	ε _m =	0.70
Betonfeuchte	u =	3.0 %
Wärmeleitfähigkeit	λ =	obere Grenze
Rohdichte	ρ =	2400 kg/m³
Elementgröße	d _{Elem} =	1.0 cm
Betonzuschlag	=	quarzitisch
Betonstahl	=	kaltgewalzt
Thermische Leitfähigkeit des Stahls	=	vernachlässigt

Temperaturfeld Rechteck 25x130 t=90min



1/2-S16 Stb.-Stütze

System:



Belastung:

- Eigengewicht programmintern ermittelt
- Aus Pos. 1/2 –WAT (s. Teil 1-4)
 - $g = 165,00 \text{ kN}$
 - $q = 100,00 \text{ kN}$

Bemessung:

Betongüte: C40/50
Stahlgüte: B500A
Expositionsklasse: XC1

gewählt:

Stb.-Stütze
 $b/h = 24/24 \text{ cm}$

Bewehrung:

4 Ø 14 ($6,2 \text{ cm}^2$)
Bügel: Ø 8 | 15 cm

1/2-S16 Stb.-Stütze

Stahlbetonstütze (x64) B5+ 02/24A (FRILO R-2024-2/P06)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 40/50, B500A

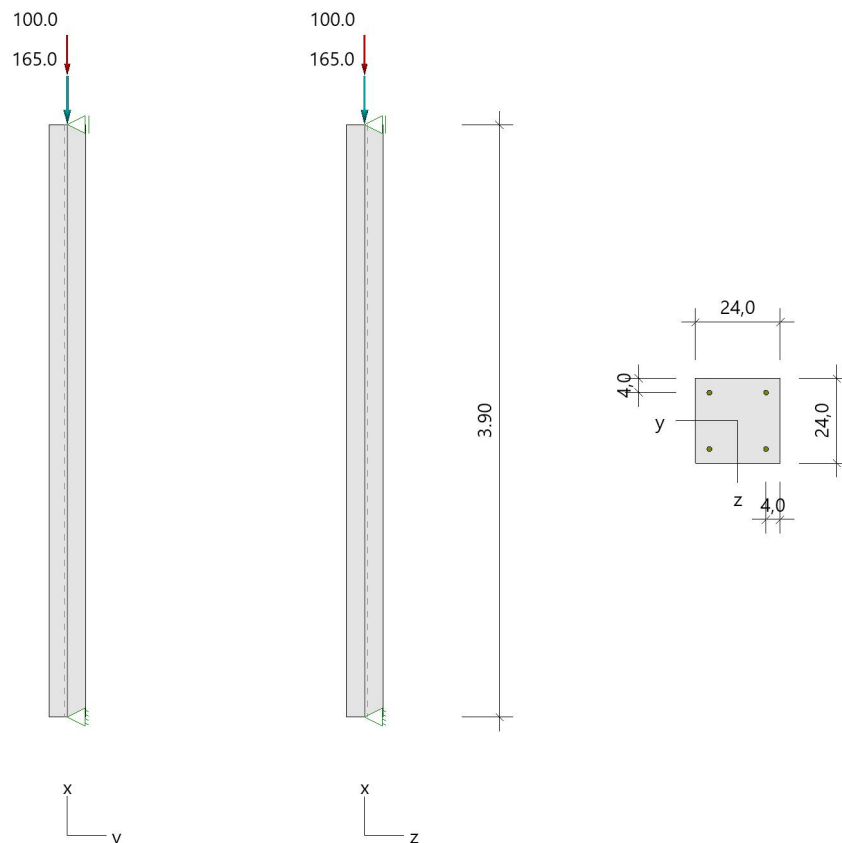
Norm und Sicherheitskonzept

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
Ψ_2 für Kranlasten	:	0.90
$\Psi_2 = 0.5$ für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Standort in Windzone 3 oder 4	:	berücksichtigt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleiches γ_F ($\gamma_{G,sup}$ oder $\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 50



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff	X0
Bewehrungskorrosion	XC1
Mindestbetonklasse	C 16/20
Bügel	$d_{s,b} = 8 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$d_{s,l} = 14 \text{ mm}$
Vorhaltemaß	$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$
Bügel	$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$
Betondeckung	$c_{nom,b} = 20 \text{ mm}$
Längsbewehrung	$c_{min,l} = 14 \text{ mm} \quad *5$
Betondeckung	$c_{nom,l} = 28 \text{ mm} \quad *1$
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b} = 20 \text{ mm}$
zul. Rissbreite	$w_{max} = 0.40 \text{ mm}$
*1: mit $c_{min,b}$	
*5: Verbund maßgebend	

Kriechzahl

Umgebungsbedingungen:		
Luftfeuchte	LU = 50 %	Zementtyp ZEM_N_R
Belastungsalter	$t_0 = 28 \text{ Tage}$	
Endkriechzahl	$\phi(t_0, \infty) = 2.01$	

Materialauswahl

Beton C 40/50	$f_{ck} = 40.00 \text{ N/mm}^2$	$E_{cm} = 35000 \text{ N/mm}^2$	
Betonstahl B500A	$f_{yk} = 500.00 \text{ N/mm}^2$	$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$	
	$k(f_t/f_y) = 1.05$	$\epsilon_{uk} = 25.0 \text{ ‰}$	(Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 40/50			Betonstahl B500A		
	$\alpha_{cc} = 0.85$	$\alpha_{ct} = 0.85$				
	γ_c	f_{cd}	f_{ctd}	γ_s	f_{yd}	$f_{td} = f_{tk,cal} / \gamma_s$
		[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]
ständig/vorübergehend	1.50	22.67	1.39	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung	
Stützenhöhe	$l = 3.90 \text{ m}$
Querschnitt	$b_y/d_z = 24.0/24.0 \text{ cm}$
	$b_1/d_1 = 4.0/4.0 \text{ cm}$
Bewehrungsanordnung (kalt)	1/4 je Ecke
Bewehrungsanordnung (Brand)	wie Bewehrungsbild

Lagerbedingungen

Lage	u_y	ϕ_z	u_z	ϕ_y
	[kN/m]	[kNm/rad]	[kN/m]	[kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr		starr	

Lasten

Übersicht der verwendeten Einwirkungen (für STR und P/T)

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
Kat. C: Versammlungsbereiche ständig	0.70	0.70	0.60	1.000	1.500 1.350

Punktlasten

Nr.	Angriffsort	Abstand [m]	V [kN]	e_y [cm]	e_z [cm]	F_y [kN]	F_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
1	Stützenkopf		165.0							ständig		
2	Stützenkopf		100.0							Kat. C		

Verteilte Lasten (Stützeigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-1.44	3.90	-1.44	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

- kontinuierlicher Ansatz Eigengewichts
- Jeder Stützenabschnitt wird intern in 6 Unterelemente unterteilt

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegeline angesetzt.
- Lastniveau für Krieeffekte: quasi-ständige Bemessungssituation
- Ansatz der Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen über mod. Stahlarbeitslinie im GZG ($f_{t,m}$)
- 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
- Die zusätzliche Abminderung der Steifigkeiten (f_{red}) bei kleinen Bewehrungsgraden ist aktiviert

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min $N_{cr}/N = 16,68$ in y- / 16,68 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

Tragfähigkeit - ständig/vorübergehend - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2	LK3	LK4
g	G	g	g	G
2	x		x	
1	G	g	g	G

Schlankheiten, Ausmitten und Krieeffekte

LK	Abschnitt	Art	$s_{k,y}$ [m]	$s_{k,z}$ [m]	λ_y	λ_z	$\lambda_{lim,y}$	$\lambda_{lim,z}$	$e_{i,y}$ [cm]	$e_{i,z}$ [cm]	ϕ_{eff}	f_{red}
1	1	Stütze	3.88	3.88	56.6	56.6	29.6	29.6	1.0	1.0	1.214	0.887

Schnittgrößen und Biegebemessung nach Th. II. O. mit e_i (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ρ [%]	$A_{s,erf}$ [cm ²]	$A_{s,vorh}$ [cm ²]	Versagensart
1	3.90	-372.8	0.00	0.00	0.23	1.3 ¹	6.2	Querschnitt
	3.25	-374.0	2.32	-2.32	0.23	1.3 ¹	6.2	
	2.60	-375.3	4.05	-4.05	0.23	1.3 ¹	6.2	
	1.95	-376.5	4.72	-4.72	0.23	1.3 ¹	6.2	
	1.30	-377.8	4.06	-4.06	0.23	1.3 ¹	6.2	
	0.65	-379.1	2.33	-2.33	0.23	1.3 ¹	6.2	
	0.00	-380.3	0.00	0.00	0.23	1.3 ¹	6.2	

1 : Mindestlängsbewehrung nach EN 1992-1-1, 9.5.2 (2)

Auflagerreaktionen - Extremwerte aus allen berechneten Überlagerungen (ständig/vorübergehend)

Lager	Höhe [m]	$A_{d,v}$ [kN]	$H_{d,y}$ [kN]	$M_{d,z}$ [kNm]	$H_{d,z}$ [kN]	$M_{d,y}$ [kNm]	LK
Abschnitt 1	3.90		0.02	0.00	0.02	0.00	2
			0.03	0.00	0.03	0.00	1
Fußpunkt	0.00	170.6	-0.02	0.00	-0.02	0.00	2
		380.3	-0.03	0.00	-0.03	0.00	1

Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6) - Lagerkräfte

Auflagerreaktionen - charakteristische Werte (Th. I. O.) je Last

Lager	Höhe [m]	A_v [kN]	H_y [kN]	M_z [kNm]	H_z [kN]	M_y [kNm]	Last	Einwirkung
Fußpunkt	0.00	5.6	0.0	0.00	0.0	0.00	Stützeigengewicht	ständig
		100.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 2	Kat. C
		165.0	0.0	0.00	0.0	0.00	Last 1	ständig

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen A_s [cm ²]
1	6.2

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für $t = \infty$)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	f_y [cm]	f_z [cm]	$f_{y,lim}$ [cm]	$f_{z,lim}$ [cm]	η
1	3.90	-265.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-265.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-266.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-267.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-268.7	0.00	0.00	0.0	0.0			

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	0.65	-269.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-270.6	0.00	0.00	0.0	0.0			

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	f _y [cm]	f _z [cm]	f _{y,lim} [cm]	f _{z,lim} [cm]	η
1	3.90	-265.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.25	-265.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.60	-266.9	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.95	-267.8	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.30	-268.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.65	-269.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-270.6	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = ∞)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-265.0	0.00	0.00	0.00	-0.123	-24.63	400.00	0.00
1	3.25	-265.9	0.00	0.00	0.00	-0.124	-24.72	400.00	0.00
1	2.60	-266.9	0.00	0.00	0.00	-0.124	-24.81	400.00	0.00
1	1.95	-267.8	0.00	0.00	0.00	-0.124	-24.90	400.00	0.00
1	1.30	-268.7	0.00	0.00	0.00	-0.125	-24.98	400.00	0.00
1	0.65	-269.7	0.00	0.00	0.00	-0.125	-25.07	400.00	0.00
1	0.00	-270.6	0.00	0.00	0.00	-0.126	-25.16	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Begrenzung der Stahlgugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation für t = 0)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	φ _{eff}	ε _s [‰]	σ _s [N/mm ²]	σ _{s,lim} ¹ [N/mm ²]	η
1	3.90	-265.0	0.00	0.00	0.00	-0.123	-24.63	400.00	0.00
1	3.25	-265.9	0.00	0.00	0.00	-0.124	-24.72	400.00	0.00
1	2.60	-266.9	0.00	0.00	0.00	-0.124	-24.81	400.00	0.00
1	1.95	-267.8	0.00	0.00	0.00	-0.124	-24.90	400.00	0.00
1	1.30	-268.7	0.00	0.00	0.00	-0.125	-24.98	400.00	0.00
1	0.65	-269.7	0.00	0.00	0.00	-0.125	-25.07	400.00	0.00
1	0.00	-270.6	0.00	0.00	0.00	-0.126	-25.16	400.00	0.00

1 : σ_{s,lim} = 0,80 * f_{y,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (5))

Untersuchte Lastkombinationen (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	LK1	LK2
g	g	g
2	x	
1	g	g

Überprüfung der Gültigkeit des linearen Kriechansatzes - Th. II. O. (quasi-ständige Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N _d [kN]	M _{y,d} [kNm]	M _{z,d} [kNm]	ε _c [‰]	σ _c [N/mm ²]	σ _{c,lim} ¹ [N/mm ²]	vorh f _{φ,nl}	erf f _{φ,nl}	η
1	3.90	-225.0	0.00	0.00	-0.107	-3.73	-18.00	1.00		0.21
1	3.25	-225.9	0.00	0.00	-0.107	-3.74	-18.00	1.00		0.21
1	2.60	-226.9	0.00	0.00	-0.107	-3.76	-18.00	1.00		0.21
1	1.95	-227.8	0.00	0.00	-0.108	-3.78	-18.00	1.00		0.21
1	1.30	-228.7	0.00	0.00	-0.108	-3.78	-18.00	1.00		0.21
1	0.65	-229.7	0.00	0.00	-0.109	-3.80	-18.00	1.00		0.21
1	0.00	-230.6	0.00	0.00	-0.109	-3.81	-18.00	1.00		0.21

1 : σ_{c,lim} = 0,45 * f_{c,k} (EN 1992-1-1, 7.2 (2))

Brandwiderstand nach EN 1992-1-2, Methode A, Abs. 5.3.2

Überlagerung: 1,00*g + 0,60*L2 + 1,00*L1

$$\begin{aligned} A_{s,kalt} &= 6.2 \text{ cm}^2 & R(A_{s,kalt}) &= 113 \text{ min} \\ N_{Ed} &= -230.6 \text{ kN} & \mu_{fi} &= 0.182 \\ N_{Rd} &= -1269.5 \text{ kN} \\ M_{Ryd} &= 26.66 \text{ kNm} & M_{Rzd} &= -26.66 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\beta_{sk,fi} = 1.000$$

Der folgende Nachweis der Brandwiderstandsdauer gilt für A_{s,fi} = 6.2 cm².

Brandschutz: R 90, Branddauernachweis nach Gleichung 5.7

$$\begin{aligned} \omega &= A_s \cdot f_{yd} / (A_c \cdot f_{cd}) = 6.16 \cdot 43.48 / (576.00 \cdot 2.27) = 0.21 \\ b' &= 2 \cdot A_c / (b+h) = 2 \cdot 57600 / (240+240) = 240.0 \text{ mm} \\ a_{cc} &= \text{Abminderungsfaktor} = 0.85 \\ l_{0,fi,max} &= \text{Ersatzlänge; } 2m \leq l_{0,fi,max} \leq 6 \text{ m} = 3.90 \text{ m} \\ R_{\eta fi} &= 83 \cdot [1.00 - \mu_{fi} \cdot (1 + \omega) / ((.85/\alpha_{cc}) + \omega)] = 83 \cdot [1.00 - 0.18 \cdot (1 + 0.21) / ((.85/0.85) + 0.21)] = 67.9 \\ R_a &= 1.60(a-30) = 1.60(40-30) = 16.0 \text{ mm} \\ R_l &= 9.60(5 - l_{0,fi}) = 9.60(5 - 3.90) = 10.56 \text{ m} \\ R_b &= 0.09 \cdot b' = 0.09 \cdot 240.00 = 21.6 \text{ mm} \\ R_n &= \text{nur 4 Eckstäbe vorhanden} = 0 \end{aligned}$$

$$R = 120 \cdot [R_{\eta fi} R_a + R_l + R_b + R_n] / 120]^{1.8} = 120 \cdot [(67.9 + 16.0 + 10.56 + 21.6 + 0) / 120]^{1.8} = 113.0 \text{ min}$$

Stützenlänge	l = 3.90 m	≤	l _{max} = 6.00 m	η = 0.65	✓
Achsabstand	a = 4.0 cm	≤	a _{max} = 8.0 cm	η = 0.50	✓
Verhältnis	h/b = 1.00	≤	h/b _{max} = 4.00	η = 0.25	✓
Verhältnis	A _s /A _c = 0.011	<	A _s /A _{c,max} = 0.04	η = 0.27	✓
2*A _c /(b+h)	b' = 240 mm	≤	b' _{max} = 450 mm	η = 0.53	✓
Branddauer	R = 113.0 min	≥	R _{min} = 90 min	η = 0.80	✓

Die Stütze kann in die Feuerwiderstandsklasse R 90 eingestuft werden.

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm ²]	y [cm]	z [cm]
Abschnitt 1	1	14	1.5	-8.0	-8.0
Bügel: 28Ø8 mm	2	14	1.5	8.0	-8.0
	3	14	1.5	8.0	8.0
	4	14	1.5	-8.0	8.0

6.2

Realisierte Betondeckung

Stützenabschnitt	erf. $c_{nom,L}$ [cm]	erf. $c_{nom,B}$ [cm]	vorh. $c_{nom,L}$ [cm]	vorh. $c_{nom,B}$ [cm]
Abschnitt 1	2.8	2.0	3.3	2.5

3.4. Schlussseite

Genehmigungsstatik

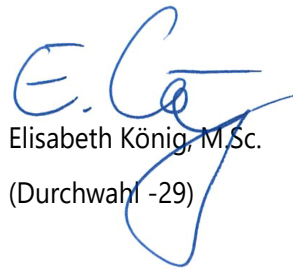
Erweiterung des Gymnasiums Horn

Statikteil 1-3 – Bemessung Stützen

Seite 1 bis 243

aufgestellt,

Hamburg, 13.09.2024



Elisabeth König, M.Sc.

(Durchwahl -29)

Dr.-Ing. Matthias Frenz

Geschäftsführender Gesellschafter

Beratender Ingenieur

Prüfingenieur für Bautechnik

Bauvorlageberechtigter Ingenieur (Hochbau, Ingenieurbau)

VFIB-zertifizierter Bauwerksprüfer

Schutzvermerk DIN ISO 16016:

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokumentes, Verwertung und Mitteilung des Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Designeintragung vorbehalten. Der Inhalt des Dokumentes ist vertraulich und nur für Kommunikation mit den auf dem Deckblatt ausgewiesenen Projektbeteiligten bestimmt. Die Weitergabe des Dokumentes an Dritte ist verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.