WP Ingenieure
Partnerschaft
Beratender Ingenieure mbB
Meyer · Brenne · Feldmann · Pramme

STATISCHE BERECHNUNG

A 065 / 25

Neubau Amtsgebäude Mittelangeln
Bahnhofstraße 1
24986 Mittelangeln
OT Satrup

Teil 4: **Stützen**
LPH4 - Genehmigung

Bauherr: Amt Mittelangeln
Bahnhofstraße 1
24986 Mittelangeln
OT Satrup

Architekt: NPC Architekten
Konsul-Schmidt-Str. 8f
28217 Bremen

Inhaltsverzeichnis

Seite

Datierung der Dokumente / Revisionen **3**

Vorbemerkungen **3**

Übersicht Stützenpositionen **5**

Stütze Typ 1 – d25cm Ned,max= 1200 kN 9
Stütze Typ 2 - 25/20cm Ned,max= 650 kN (+Kopfmoment) 14
Stütze Typ 3 - 35/25cm Ned,max= 1500 kN 20
Stütze Typ 4 - 35/25cm Ned,max= 1850 kN 25
Stütze Typ 5 - 25/20cm Ned,max= 1000 kN 30
Stütze Typ 6 - 35/25cm Ned,max= 1600 kN 35
Stütze Typ 7 - 35/25cm Ned,max= 2300 kN 40
Stütze Typ 8 - 35/25cm Ned,max= 2100 kN 45
Pos. E-317 - 30/20cm Ned,max= 1450 kN 50

Anschlussbewehrung Gründung: **55**

Schlussseite **56**

Datierung der Dokumente / Revisionen

Revision	Datum	Bearbeiter	Änderungen / Anmerkungen
0	21.07.2026	Bonifazi	Erstellung des Dokuments
1	10.09.2026	Bonifazi	Bauherr angepasst

Vorbemerkungen

Allgemein

Nachfolgend werden die statischen Nachweise für die Stahlbetonstützen geführt. Für weitere allgemeine Bemerkungen wird auf den Statikteil 1 – Allgemeines verwiesen.

Alle Stahlbetonstützen werden in Ortbetonbauweise geplant. Die Bemessung erfolgt in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit nach EC2 und auf dem Sicherheitskonzept nach EC1.

Die Stützen werden anhand des Querschnitts, der Länge, der Betonqualität und der Beanspruchung in Gruppen zusammengefasst. Für jede Gruppe wird stellvertretend die maßgebende Stütze bemessen.

Einwirkungen

Für die Bemessung der Stützen werden die Auflagerkräfte aus den Deckenmodellen (vgl. Statik Teil 3) übernommen.

Für die Innenstützen ergeben sich keine nennenswerten Kopfmomente (Pendelstützen). Aufgrund der vorhandenen Balken werden für Rand- und Eckstützen ebenfalls keine Kopfmomente berücksichtigt.

Die Mindestausmitten gem. DIN EN 1992-1-1 werden programmintern berücksichtigt.

Bemessung

Die Bemessung erfolgt auf Grundlage von DIN EN 1992-1-1. Kriecheffekte werden bei der Bemessung nicht berücksichtigt (vgl. 5.8.4 (4)). Eine Mindestausmitte gem. 6.1 (4) wird berücksichtigt. Als Systemlänge der Stütze wird die Geschosshöhe (vgl. DIN EN 1992-1-1, 5.8.3.2 (2)) angesetzt.

Brandschutz

Alle Stützen sind mindestens feuerbeständig auszuführen (R30, vgl. Brandschutzgutachten). Die erforderlichen Nachweise werden mittels Heißbemessung geführt.

Die Voraussetzung, dass sich die Stützen in einem ausgesteiften Gebäude befinden, ist erfüllt (vgl. Statik Teil – Stabilität).

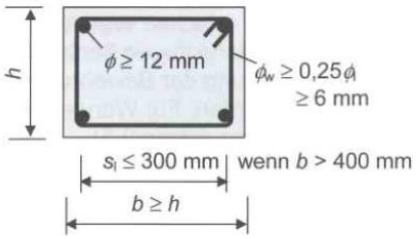
Bewehrungsgrundsätze

Die statisch erforderliche Bewehrung ist auf dem Deckblatt der jeweiligen Position bzw. Typenbemessung angegeben. Die allgemeinen Bewehrungsregeln für Stützen gem. DIN EN 1992-1-1 sind zu beachten. Insbesondere die folgenden konstruktiven Bewehrungsgrundsätze gelten, wenn in den Bauteilnachweisen keine abweichenden Angaben gemacht werden:

Längsbewehrung

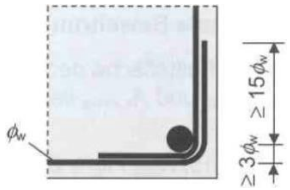
Mindest- und Maximalbewehrung: As,min = 0,15*NEd / fyd ; As,max = 0,09 * Ac (insb. im Stoßbereich)

Bei Stützen mit polygonalem Querschnitt muss in der Regel mindestens in jeder Ecke ein Stab liegen. In Stützen mit Kreisquerschnitt sollten mindesten 6 Stäbe angeordnet werden.



Querbewehrung

Wird eine Bügelbewehrung mit 90° Winkelhaken verwendet, ist die Hakenlänge auf mindestens 15*Øw zu vergrößern.



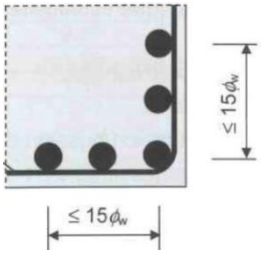
Der Maximale Bügelabstand ist scl,tmax = min $\begin{cases} 12Ø \\ b_{min}\,,\ D_{min} \\ 30cm \end{cases}$

Die Bügelabstände sind in folgenden Bereichen mit dem Faktor 0,6 abzumindern:
1. unmittelbar über und unter anschließenden Balken oder Platten über eine Höhe gleich der größten Abmessung des Stützenquerschnitts
2. an Übergreifungsstößen der Längsbewehrung mit Ø ≥ 14mm

Im Bereich von Kröpfungen der Längsbewehrung sind die Bügel in Abhängigkeit von der auftretenden Querzugbeanspruchung zu wählen. Dies ist vernachlässigbar bei einer Richtungsänderung ≤ 1/12.

Bei feuerbeständigen Stützen (R90) sind Bügel größer Ø10mm zu verwenden.

Alle Längsstäbe oder Stabbündel sind in der Regel durch Querbewehrung zu umfassen. Dabei darf kein Stab innerhalb einer Druckzone weniger als 150mm von einem gehaltenen Stab entfernt, sein. In oder in der Nähe jeder Ecke ist eine Anzahl von maximal 5 Stäben durch die Querbewehrung gegen Ausknicken zu sichern. Weitere Längsstäbe und solche, deren Abstand vom Eckbereich den 15-fachen Bügeldurchmesser überschreitet, sind durch zusätzliche Querbewehrung zu sichern.



Übersicht Stützenpositionen

Nachfolgend werden die Stützenpositionen und die ermittelten Lasten aufgelistet. Die angegebenen Lasten resultieren aus den Auflagerkräften der Deckenmodelle (vgl. Statik Teil Decken & Balken).

Stützentypen

TYP	b	h	H	G_k	Ned, max	Beton	erf A_s	gew A_s		vorh A_s
[-]	[cm]	[cm]	[m]	[kN]	[kN]	[-]	[cm^2]	n	∅	[cm^2]
1	25	0	3,31	910	1200	C30/37	20,10	10	16	20,11
2	25	20	3,31	482	650	C30/37	20,10	10	16	20,11
3	35	25	3,65	1150	1500	C30/37	20,10	10	16	20,11
4	35	25	3,65	1370	1850	C30/37	24,10	12	16	24,13
5	25	20	3,65	740	1000	C30/37	20,10	10	16	20,11
6	35	25	2,80	1180	1600	C30/37	20,10	10	16	20,11
7	35	25	2,80	1699	2300	C30/37	37,70	12	20	37,70
8	35	25	3,65	1552	2100	C30/37	31,50	10	20	31,42

1.OG

Pos.	b/d	h	H	A	Eig.Gew.	G_k	Q_k	$\sum G_k$	$\sum Q_k$	Ned	Typ	gewählt As	
[-]	[cm]	[cm]	[m]	[m²]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[cm²]
1- 201	25		3,31	0,05	4,1	342	145	346	145	685	**1**	10∅16	20,11
1- 202	25		3,31	0,05	4,1	567	245	571	245	1.138	**1**	10∅16	20,11
1- 203	25		3,31	0,05	4,1	568	247	572	247	1.143	**1**	10∅16	20,11
1- 204	25		3,31	0,05	4,1	565	245	569	245	1.136	**1**	10∅16	20,11
1- 205	25		3,31	0,05	4,1	581	251	585	251	1.166	**1**	10∅16	20,11
1- 206	25		3,31	0,05	4,1	429	189	433	189	868	**1**	10∅16	20,11
1- 207	25	20	3,31	0,05	4,1	217	75	221	75	411	**2**	10∅16	20,11
1- 208	25	20	3,31	0,05	4,1	204	58	208	58	368	**2**	10∅16	20,11
1- 209	25	20	3,31	0,05	4,1	136	31	140	31	236	**2**	10∅16	20,11
1- 210	25	20	3,31	0,05	4,1	137	30	141	30	236	**2**	10∅16	20,11
1- 211	25	20	3,31	0,05	4,1	136	29	140	29	233	**2**	10∅16	20,11
1- 212	25	20	3,31	0,05	4,1	141	31	145	31	242	**2**	10∅16	20,11
1- 213	25	20	3,31	0,05	4,1	71	13	75	13	121	**2**	10∅16	20,11
1- 214	25	20	3,31	0,05	4,1	291	97	295	97	544	**2**	10∅16	20,11
1- 215	25	20	3,31	0,05	4,1	282	96	286	96	530	**2**	10∅16	20,11
1- 216	25	20	3,31	0,05	4,1	315	105	319	105	588	**2**	10∅16	20,11

EG

Pos.	b/d	h	H	A	Eig.Gew.	G_k	Q_k	$\sum G_k$	$\sum Q_k$	Ned	Typ	gewählt As	
[-]	[cm]	[cm]	[m]	[m²]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[cm²]
E- 201	35	25	3,65	0,09	8,0	538	214	546	214	1.058	**3**	10∅16	20,11
E- 202	35	25	3,65	0,09	8,0	842	343	850	343	1.662	**4**	12∅16	24,13
E- 203	35	25	3,65	0,09	8,0	833	340	841	340	1.645	**4**	12∅16	24,13
E- 204	35	25	3,65	0,09	8,0	1.048	420	1.056	420	2.056	**8**	10∅20	31,42
E- 205	35	25	3,65	0,09	8,0	857	338	865	338	1.675	**4**	12∅16	24,13
E- 206	35	25	3,65	0,09	8,0	595	245	603	245	1.182	**3**	10∅16	20,11
E- 208	25	20	3,65	0,05	4,6	255	63	260	63	445	**5**	10∅16	20,11
E- 209	25	20	3,65	0,05	4,6	280	57	285	57	470	**5**	10∅16	20,11
E- 210	25	20	3,65	0,05	4,6	251	48	256	48	417	**5**	10∅16	20,11
E- 211	25	20	3,65	0,05	4,6	250	46	255	46	413	**5**	10∅16	20,11
E- 212	25	20	3,65	0,05	4,6	239	45	244	45	396	**5**	10∅16	20,11
E- 214	25	20	3,65	0,05	4,6	264	79	269	79	481	**5**	10∅16	20,11
E- 215	25	20	3,65	0,05	4,6	465	137	470	137	839	**5**	10∅16	20,11
E- 216	25	20	3,65	0,05	4,6	506	164	511	164	935	**5**	10∅16	20,11
E- 217	30	20	3,65	0,06	5,5	689	168	694	168	1.190	**/**		30,90
E- 218	25	29	3,65	0,07	6,6	287	100	294	100	546	**5**	10∅16	20,11
E- 219	25	20	3,65	0,05	4,6	299	58	304	58	497	**5**	10∅16	20,11

UG

Pos.	b/d	h	H	A	Eig.Gew.	G_k	Q_k	$\sum G_k$	$\sum Q_k$	Ned	Typ	gewählt As	
[-]	[cm]	[cm]	[m]	[m²]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[cm²]
U- 201	35	25	3,65	0,09	8,0	738	329	746	329	1.501	**6**	10∅16	20,11
U- 202	35	25	3,65	0,09	8,0	1.107	496	1.115	496	2.249	**7**	12∅20	37,70

Stütze Typ 1 – d25cm Ned,max= 1200 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

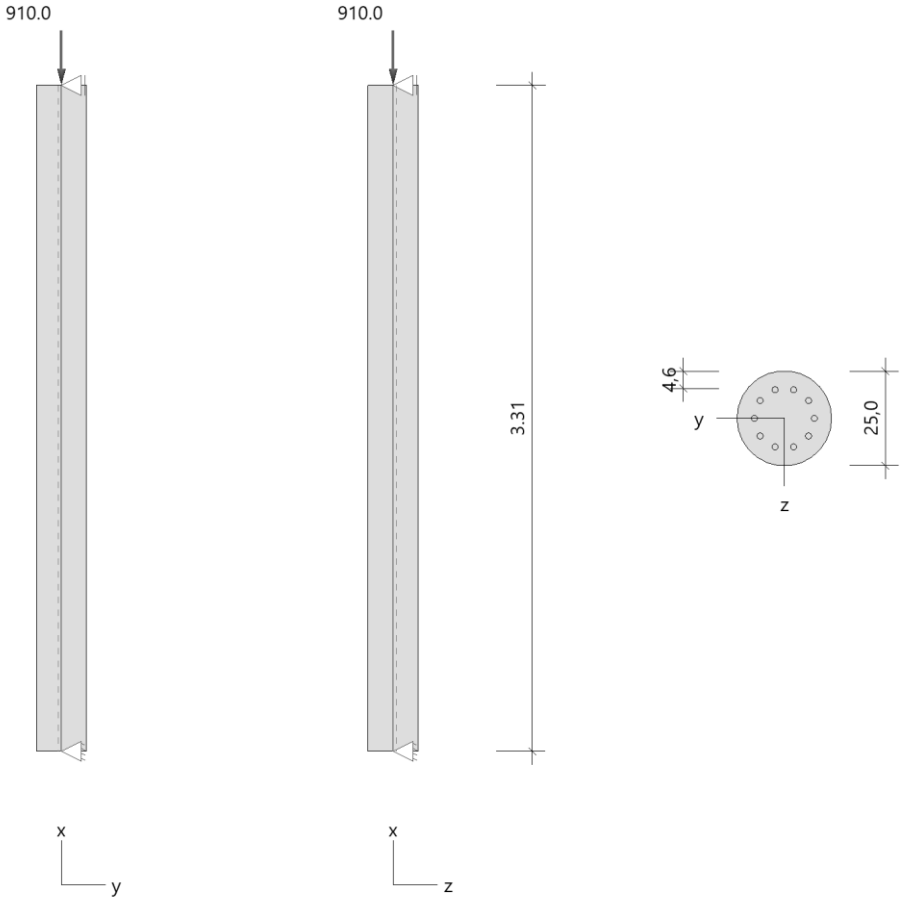
- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Kreis, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_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	mm
Längsbewehrung	$d_{s,l}$ =	16	mm

Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	16	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	28	mm	*1
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*1: mit cmin,b
*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85 α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	3.31 m
Querschnitt	d	=	25.0 cm
	d_1	=	4.6 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		910.0							ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-1.23	3.31	-1.23	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 4,63 in y- / 4,63 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 910,0 kN (ständig)	1.35	1.00

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	3.31	3.31	52.9	52.9	25.0	25.0	0.8	0.8	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.31	-1228.5	0.00	0.00	4.10	20.1	20.1	Querschnitt
	2.76	-1229.4	8.02	-8.02	4.10	20.1	20.1	
	2.21	-1230.3	13.95	-13.95	4.10	20.1	20.1	
	1.66	-1231.2	16.22	-16.22	4.10	20.1	20.1	
	1.10	-1232.2	13.96	-13.96	4.10	20.1	20.1	
	0.55	-1233.1	8.03	-8.03	4.10	20.1	20.1	
	0.00	-1234.0	0.00	0.00	4.10	20.1	20.1	

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	3.31		0.02	0.00	0.02	0.00	2
			0.03	0.00	0.03	0.00	1
Fußpunkt	0.00	914.1	-0.02	0.00	-0.02	0.00	2
		1234.0	-0.03	0.00	-0.03	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 910,0 kN (ständig)	1.00

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	2.31	2.31	37.0	37.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.31	-910.0	0.00	0.00	4.10	20.1	20.1	Querschnitt
	2.76	-910.7	0.34	-0.34	4.10	20.1	20.1	
	2.21	-911.4	0.50	-0.50	4.10	20.1	20.1	
	1.66	-912.0	0.42	-0.42	4.10	20.1	20.1	
	1.10	-912.7	0.09	-0.09	4.10	20.1	20.1	
	0.55	-913.4	-0.29	0.29	4.10	20.1	20.1	
	0.00	-914.1	-0.53	0.53	4.10	20.1	20.1	

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	3.31		-0.2	0.00	-0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00	914.1	0.2	0.53	0.2	-0.53	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 910,0 kN (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	3.31	-910.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.76	-910.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.21	-911.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.66	-912.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.10	-912.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.55	-913.4	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-914.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	3.31	-910.0	0.00	0.00	0.00	-0.624	-124.78	400.00	0.00
1	2.76	-910.7	0.00	0.00	0.00	-0.624	-124.88	400.00	0.00
1	2.21	-911.4	0.00	0.00	0.00	-0.625	-124.99	400.00	0.00
1	1.66	-912.0	0.00	0.00	0.00	-0.625	-125.10	400.00	0.00
1	1.10	-912.7	0.00	0.00	0.00	-0.626	-125.20	400.00	0.00
1	0.55	-913.4	0.00	0.00	0.00	-0.627	-125.31	400.00	0.00
1	0.00	-914.1	0.00	0.00	0.00	-0.627	-125.42	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 910,0 kN (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	16	2.0	7.9	0.0	170	100
Bügel: 22Ø8 mm	2	16	2.0	6.4	4.6	170	100
	3	16	2.0	2.4	7.5	170	100
	4	16	2.0	-2.4	7.5	170	100
	5	16	2.0	-6.4	4.6	170	100
	6	16	2.0	-7.9	0.0	170	100
	7	16	2.0	-6.4	-4.6	170	100
	8	16	2.0	-2.4	-7.5	170	100
	9	16	2.0	2.4	-7.5	170	100
	10	16	2.0	6.4	-4.6	170	100
			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	3.8	3.0

Stütze Typ 2 - 25/20cm Ned,max= 650 kN (+Kopfmoment)

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

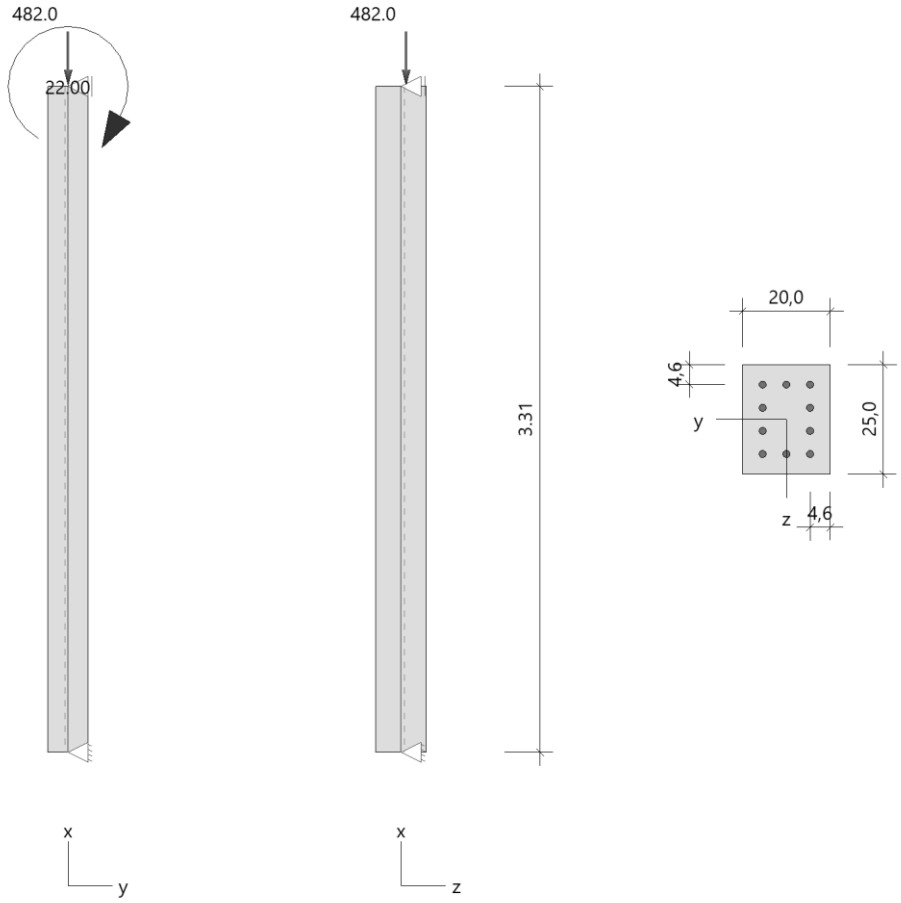
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_F($\gamma_{G,sup}$oder$\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 37.8



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff		X0
Bewehrungskorrosion		XC1
Mindestbetonklasse		C 16/20
Bügel	$d_{s,b}$ =	8 mm

Längsbewehrung	$d_{s,l}$	=	16	mm	
Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	16	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	28	mm	*1
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*1: mit cmin,b
*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85 α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	3.31 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	20.0/25.0 cm
	b_1/d_1	=	4.6/4.6 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	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. B: Bürogebäude	0.70	0.50	0.30		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		482.0		2.5					ständig		
2	Stütze	3.31							22.00	Kat. B		

Punktlasten (Stützeneigengewicht)

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

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-1.25	3.31	-1.25	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 7,58 in y- / 11,85 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2	LK 3	LK 4
Stützeneigengewicht	1.35	1.35	1.00	1.00
V = 482,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.35	1.35	1.00	1.00
Mz = 22,00 kNm (Kat. B)		**1.50**		**1.50**

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}
2	1	Stütze	3.30	3.30	57.2	45.8	25.0	25.0	-0.8	-0.8	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
2	3.31	-650.7	-16.27	33.00	4.02	20.1	20.1	Querschnitt
	2.76	-651.6	-18.14	35.49	4.02	20.1	20.1	
	2.21	-652.6	-18.42	34.71	4.02	20.1	20.1	
	1.66	-653.5	-16.59	30.23	4.02	20.1	20.1	
	1.10	-654.4	-12.47	22.23	4.02	20.1	20.1	
	0.55	-655.4	-6.69	11.76	4.02	20.1	20.1	
	0.00	-656.3	0.00	0.00	4.02	20.1	20.1	

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	3.31		0.02	0.00	3.6	0.00	3
			10.0	0.00	4.9	0.00	2
			0.02	0.00	3.7	0.00	3
			9.9	0.00	3.6	0.00	4
			0.02	0.00	4.9	0.00	1
Fußpunkt	0.00	486.1	-10.0	0.00	-3.7	0.00	4
		656.3	-0.02	0.00	-4.9	0.00	1
		656.3	-0.02	0.00	-4.9	0.00	1
		656.3	-10.0	0.00	-4.9	0.00	2
		486.1	-0.02	0.00	-3.7	0.00	3
		486.1	-9.9	0.00	-3.6	0.00	4

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.00	1.00
V = 482,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00	1.00
Mz = 22,00 kNm (Kat. B)		0.30

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}
2	1	Stütze	2.31	2.31	40.0	32.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
2	3.31	-482.0	-12.05	6.60	4.02	20.1	20.1	Querschnitt
	2.76	-482.7	-10.05	5.97	4.02	20.1	20.1	
	2.21	-483.4	-7.27	4.57	4.02	20.1	20.1	
	1.66	-484.1	-3.88	2.55	4.02	20.1	20.1	
	1.10	-484.8	-0.12	0.13	4.02	20.1	20.1	
	0.55	-485.4	3.68	-2.34	4.02	20.1	20.1	
	0.00	-486.1	7.16	-4.47	4.02	20.1	20.1	

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	3.31		3.2	0.00	5.7	0.00	2
			-0.1	0.00	5.8	0.00	1
			-0.1	0.00	5.7	0.00	1
			3.3	0.00	5.7	0.00	2
Fußpunkt	0.00	486.1	-3.2	-3.94	-5.7	6.69	2
		486.1	0.1	0.26	-5.8	7.16	1
		486.1	-3.3	-4.47	-5.7	6.69	2
		486.1	0.1	0.26	-5.7	6.69	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm^2]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.00	1.00
V = 482,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00	1.00
Mz = 22,00 kNm (Kat. B)		**1.00**

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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
2, 1	3.31	-482.0	-12.05	22.00	0.0	0.0			
2	2.76	-482.7	-10.35	19.22	-0.2	-0.1			
2	2.21	-483.4	-8.47	15.95	-0.3	-0.1			
2	1.66	-484.1	-6.47	12.30	-0.3	-0.1			
2	1.10	-484.8	-4.36	8.36	-0.2	-0.1			
2	0.55	-485.4	-2.20	4.23	-0.1	-0.04			
2, 1	0.00	-486.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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
2	3.31	-482.0	-12.05	22.00	0.00	0.118	23.66	400.00	0.06
2	2.76	-482.7	-10.35	19.22	0.00	0.041	8.17	400.00	0.02
1	2.21	-483.4	-8.44	0.00	0.00	-0.171	-34.22	400.00	0.00
1	1.66	-484.1	-6.44	0.00	0.00	-0.187	-37.38	400.00	0.00
1	1.10	-484.8	-4.35	0.00	0.00	-0.203	-40.69	400.00	0.00
1	0.55	-485.4	-2.19	0.00	0.00	-0.220	-44.10	400.00	0.00
1	0.00	-486.1	0.00	0.00	0.00	-0.236	-47.24	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)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.00	1.00
V = 482,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00	1.00
Mz = 22,00 kNm (Kat. B)		0.30

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-5.4	-7.9	231	100
Bügel: 22Ø8 mm	2	16	2.0	5.4	-7.9	231	100
	3	16	2.0	5.4	7.9	231	100
	4	16	2.0	-5.4	7.9	231	100
	5	16	2.0	-5.4	2.6	143	100
	6	16	2.0	5.4	2.6	143	100
	7	16	2.0	0.0	-7.9	147	100
	8	16	2.0	0.0	7.9	147	100
	9	16	2.0	-5.4	-2.6	143	100
	10	16	2.0	5.4	-2.6	143	100
			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	3.8	3.0

Stütze Typ 3 - 35/25cm Ned,max= 1500 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

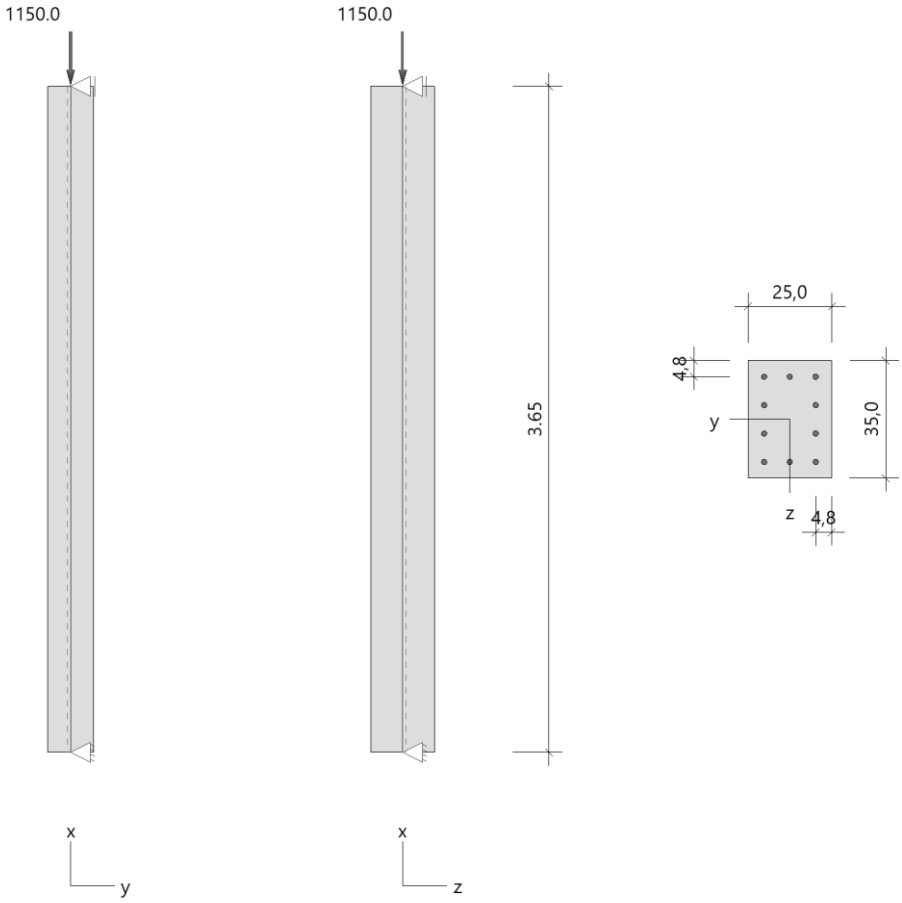
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_F($\gamma_{G,sup}$oder$\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 41.7



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff		X0	
Bewehrungskorrosion		XC1	
Mindestbetonklasse		C 16/20	
Bügel	$d_{s,b}$	= 10	mm
Längsbewehrung	$d_{s,l}$	= 16	mm

Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	*5
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	16	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	30	mm	*1
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*1: mit cmin,b
*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	3.65 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	25.0/35.0 cm
	b_1/d_1	=	4.8/4.8 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		1150.0							ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.19	3.65	-2.19	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 7,15 in y- / 14,02 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 1150,0 kN (ständig)	1.35	1.00

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	3.64	3.64	50.5	36.1	25.0	25.0	0.9	0.9	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-1552.5	0.00	0.00	2.30	20.1	20.1	Querschnitt
	3.04	-1554.3	7.98	-9.26	2.30	20.1	20.1	
	2.43	-1556.1	13.89	-16.11	2.30	20.1	20.1	
	1.83	-1557.9	16.20	-18.76	2.30	20.1	20.1	
	1.22	-1559.7	13.90	-16.12	2.30	20.1	20.1	
	0.61	-1561.5	7.99	-9.27	2.30	20.1	20.1	
	0.00	-1563.3	0.00	0.00	2.30	20.1	20.1	

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	3.65		0.03	0.00	0.03	0.00	2
			0.05	0.00	0.04	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1158.0	-0.03	0.00	-0.03	0.00	2
		1563.3	-0.05	0.00	-0.04	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1150,0 kN (ständig)	1.00

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	2.55	2.55	35.3	25.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-1150.0	0.00	0.00	2.30	20.1	20.1	Querschnitt
	3.04	-1151.3	0.38	-0.44	2.30	20.1	20.1	
	2.43	-1152.7	0.57	-0.64	2.30	20.1	20.1	
	1.83	-1154.0	0.48	-0.54	2.30	20.1	20.1	
	1.22	-1155.3	0.11	-0.12	2.30	20.1	20.1	
	0.61	-1156.7	-0.33	0.38	2.30	20.1	20.1	
	0.00	-1158.0	-0.60	0.68	2.30	20.1	20.1	

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	3.65		-0.2	0.00	-0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1158.0	0.2	0.68	0.2	-0.60	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1150,0 kN (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	3.65	-1150.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.04	-1151.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.43	-1152.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.83	-1154.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.22	-1155.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.61	-1156.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1158.0	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	3.65	-1150.0	0.00	0.00	0.00	-0.349	-69.85	400.00	0.00
1	3.04	-1151.3	0.00	0.00	0.00	-0.350	-69.93	400.00	0.00
1	2.43	-1152.7	0.00	0.00	0.00	-0.350	-70.01	400.00	0.00
1	1.83	-1154.0	0.00	0.00	0.00	-0.350	-70.10	400.00	0.00
1	1.22	-1155.3	0.00	0.00	0.00	-0.351	-70.18	400.00	0.00
1	0.61	-1156.7	0.00	0.00	0.00	-0.351	-70.26	400.00	0.00
1	0.00	-1158.0	0.00	0.00	0.00	-0.352	-70.34	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1150,0 kN (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-7.7	-12.7	213	100
Bügel: 24Ø10 mm	2	16	2.0	7.7	-12.7	213	100
	3	16	2.0	7.7	12.7	213	100
	4	16	2.0	-7.7	12.7	213	100
	5	16	2.0	-7.7	4.2	128	100
	6	16	2.0	7.7	4.2	128	100
	7	16	2.0	-7.7	-4.2	128	100
	8	16	2.0	7.7	-4.2	128	100
	9	16	2.0	0.0	-12.7	130	100
	10	16	2.0	0.0	12.7	130	100
			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	3.0	2.0	4.0	3.0

Stütze Typ 4 - 35/25cm Ned,max= 1850 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

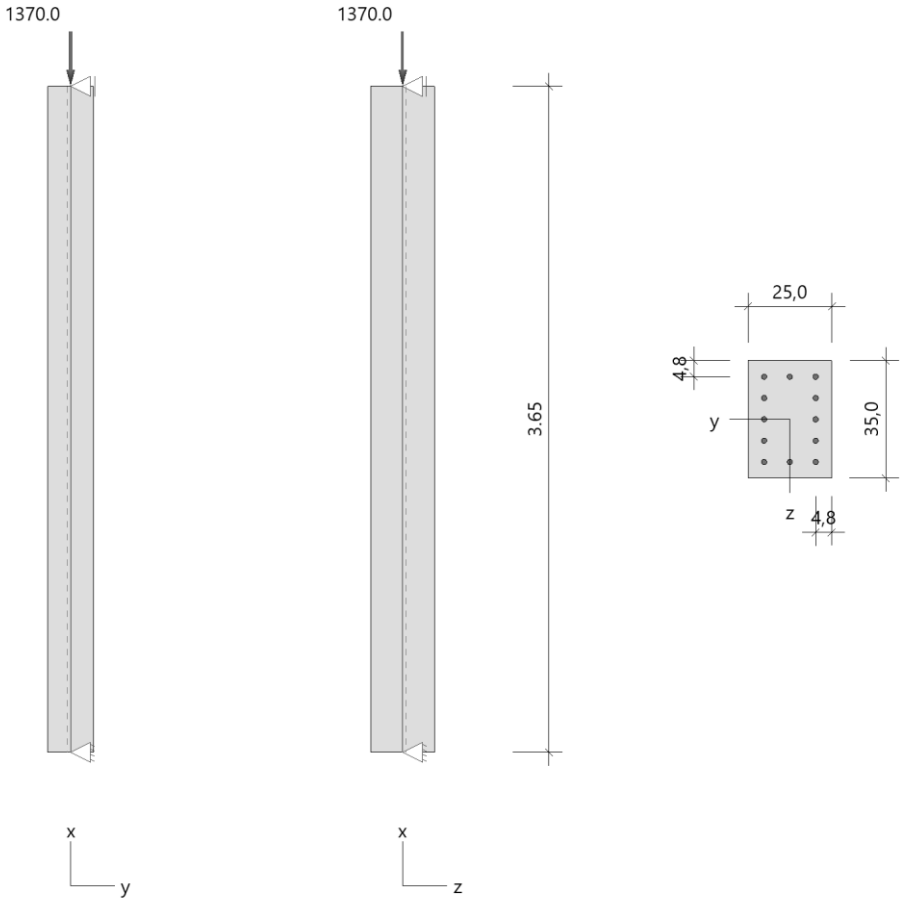
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_F($\gamma_{G,sup}$oder$\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 41.7



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff		X0	
Bewehrungskorrosion		XC1	
Mindestbetonklasse		C 16/20	
Bügel	$d_{s,b}$ =	10	mm
Längsbewehrung	$d_{s,l}$ =	16	mm

Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	*5
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	16	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	30	mm	*1
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*1: mit cmin,b
*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85 α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	3.65 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	25.0/35.0 cm
	b_1/d_1	=	4.8/4.8 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		1370.0							ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.19	3.65	-2.19	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 6,01 in y- / 11,77 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 1370,0 kN (ständig)	1.35	1.00

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	3.64	3.64	50.5	36.1	25.0	25.0	0.9	0.9	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-1849.5	0.00	0.00	2.76	24.1	24.1	Querschnitt
	3.04	-1851.3	9.81	-11.92	2.76	24.1	24.1	
	2.43	-1853.1	17.08	-20.75	2.76	24.1	24.1	
	1.83	-1854.9	19.91	-24.15	2.76	24.1	24.1	
	1.22	-1856.7	17.09	-20.76	2.76	24.1	24.1	
	0.61	-1858.5	9.82	-11.94	2.76	24.1	24.1	
	0.00	-1860.3	0.00	0.00	2.76	24.1	24.1	

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	3.65		0.03	0.00	0.03	0.00	2
			0.05	0.00	0.04	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1378.0	-0.03	0.00	-0.03	0.00	2
		1860.3	-0.05	0.00	-0.04	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1370,0 kN (ständig)	1.00

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	2.55	2.55	35.3	25.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-1370.0	0.00	0.00	2.76	24.1	24.1	Querschnitt
	3.04	-1371.3	0.46	-0.53	2.76	24.1	24.1	
	2.43	-1372.7	0.68	-0.78	2.76	24.1	24.1	
	1.83	-1374.0	0.57	-0.65	2.76	24.1	24.1	
	1.22	-1375.3	0.13	-0.15	2.76	24.1	24.1	
	0.61	-1376.7	-0.40	0.46	2.76	24.1	24.1	
	0.00	-1378.0	-0.73	0.82	2.76	24.1	24.1	

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	3.65		-0.2	0.00	-0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1378.0	0.2	0.82	0.2	-0.73	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	24.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1370,0 kN (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	3.65	-1370.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.04	-1371.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.43	-1372.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.83	-1374.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.22	-1375.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.61	-1376.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1378.0	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	3.65	-1370.0	0.00	0.00	0.00	-0.406	-81.25	400.00	0.00
1	3.04	-1371.3	0.00	0.00	0.00	-0.407	-81.32	400.00	0.00
1	2.43	-1372.7	0.00	0.00	0.00	-0.407	-81.40	400.00	0.00
1	1.83	-1374.0	0.00	0.00	0.00	-0.407	-81.48	400.00	0.00
1	1.22	-1375.3	0.00	0.00	0.00	-0.408	-81.56	400.00	0.00
1	0.61	-1376.7	0.00	0.00	0.00	-0.408	-81.64	400.00	0.00
1	0.00	-1378.0	0.00	0.00	0.00	-0.409	-81.72	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1370,0 kN (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-7.7	-12.7	213	100
Bügel: 24Ø10 mm	2	16	2.0	7.7	-12.7	213	100
	3	16	2.0	7.7	12.7	213	100
	4	16	2.0	-7.7	12.7	213	100
	5	16	2.0	-7.7	6.4	130	100
	6	16	2.0	7.7	6.4	130	100
	7	16	2.0	-7.7	-6.4	130	100
	8	16	2.0	7.7	-6.4	130	100
	9	16	2.0	0.0	-12.7	130	100
	10	16	2.0	0.0	12.7	130	100
	11	16	2.0	-7.7	0.0	127	100
	12	16	2.0	7.7	0.0	127	100
			24.1				

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	4.0	3.0

Stütze Typ 5 - 25/20cm Ned,max= 1000 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

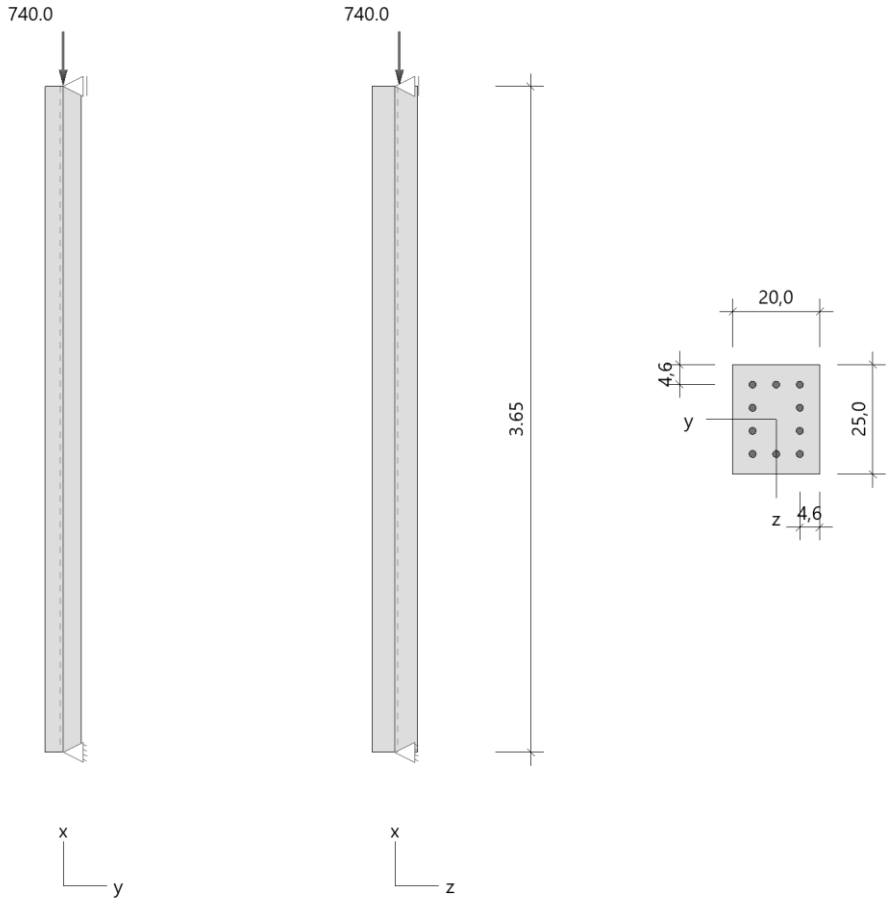
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_F($\gamma_{G,sup}$oder$\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 41.7



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff		X0	
Bewehrungskorrosion		XC1	
Mindestbetonklasse		C 16/20	
Bügel	$d_{s,b}$	= 8	mm
Längsbewehrung	$d_{s,l}$	= 16	mm

Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	16	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	28	mm	*1
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*1: mit cmin,b
*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85 α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	3.65 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	20.0/25.0 cm
	b_1/d_1	=	4.6/4.6 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		740.0		2.5					ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-1.25	3.65	-1.25	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 4,07 in y- / 6,35 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 740,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.35	1.00

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	3.64	3.64	63.1	50.5	25.0	25.0	0.9	-0.9	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-999.0	-24.98	0.00	4.02	20.1	20.1	Querschnitt
	3.04	-1000.0	-30.27	-7.77	4.02	20.1	20.1	
	2.43	-1001.1	-32.34	-13.53	4.02	20.1	20.1	
	1.83	-1002.1	-30.12	-15.71	4.02	20.1	20.1	
	1.22	-1003.1	-23.16	-13.48	4.02	20.1	20.1	
	0.61	-1004.1	-12.59	-7.74	4.02	20.1	20.1	
	0.00	-1005.2	0.00	0.00	4.02	20.1	20.1	

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	3.65		0.02	0.00	5.0	0.00	2
			0.03	0.00	6.9	0.00	1
			0.02	0.00	5.1	0.00	2
			0.03	0.00	6.8	0.00	1
Fußpunkt	0.00	744.6	-0.02	0.00	-5.0	0.00	2
		1005.2	-0.03	0.00	-6.9	0.00	1
		744.6	-0.02	0.00	-5.1	0.00	2
		1005.2	-0.03	0.00	-6.8	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 740,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00

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	2.55	2.55	44.1	35.3	0.0	0.0	0.1	-0.1	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-740.0	-18.50	0.00	4.02	20.1	20.1	Querschnitt
	3.04	-740.8	-16.70	-0.36	4.02	20.1	20.1	
	2.43	-741.5	-12.72	-0.53	4.02	20.1	20.1	
	1.83	-742.3	-7.03	-0.44	4.02	20.1	20.1	
	1.22	-743.0	-0.30	-0.10	4.02	20.1	20.1	
	0.61	-743.8	6.51	0.31	4.02	20.1	20.1	
	0.00	-744.6	12.42	0.55	4.02	20.1	20.1	

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	3.65		-0.1	0.00	8.2	0.00	1
			-0.1	0.00	8.5	0.00	1
Fußpunkt	0.00	744.6	0.1	0.55	-8.2	11.52	1
		744.6	0.1	0.55	-8.5	12.42	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 740,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	3.65	-740.0	-18.50	0.00	0.0	0.0			
1	3.04	-740.8	-16.25	0.00	0.0	-0.1			
1	2.43	-741.5	-13.56	0.00	0.0	-0.2			
1	1.83	-742.3	-10.51	0.00	0.0	-0.2			
1	1.22	-743.0	-7.17	0.00	0.0	-0.1			
1	0.61	-743.8	-3.63	0.00	0.0	-0.1			
1	0.00	-744.6	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	3.65	-740.0	-18.50	0.00	0.00	-0.218	-43.67	400.00	0.00
1	3.04	-740.8	-16.25	0.00	0.00	-0.236	-47.23	400.00	0.00
1	2.43	-741.5	-13.56	0.00	0.00	-0.257	-51.46	400.00	0.00
1	1.83	-742.3	-10.51	0.00	0.00	-0.281	-56.26	400.00	0.00
1	1.22	-743.0	-7.17	0.00	0.00	-0.308	-61.51	400.00	0.00
1	0.61	-743.8	-3.63	0.00	0.00	-0.335	-67.05	400.00	0.00
1	0.00	-744.6	0.00	0.00	0.00	-0.362	-72.43	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 740,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-5.4	-7.9	231	100
Bügel: 24Ø8 mm	2	16	2.0	5.4	-7.9	231	100
	3	16	2.0	5.4	7.9	231	100
	4	16	2.0	-5.4	7.9	231	100
	5	16	2.0	-5.4	2.6	143	100
	6	16	2.0	5.4	2.6	143	100
	7	16	2.0	0.0	-7.9	147	100
	8	16	2.0	0.0	7.9	147	100
	9	16	2.0	-5.4	-2.6	143	100
	10	16	2.0	5.4	-2.6	143	100
			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	3.8	3.0

Stütze Typ 6 - 35/25cm Ned,max= 1600 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

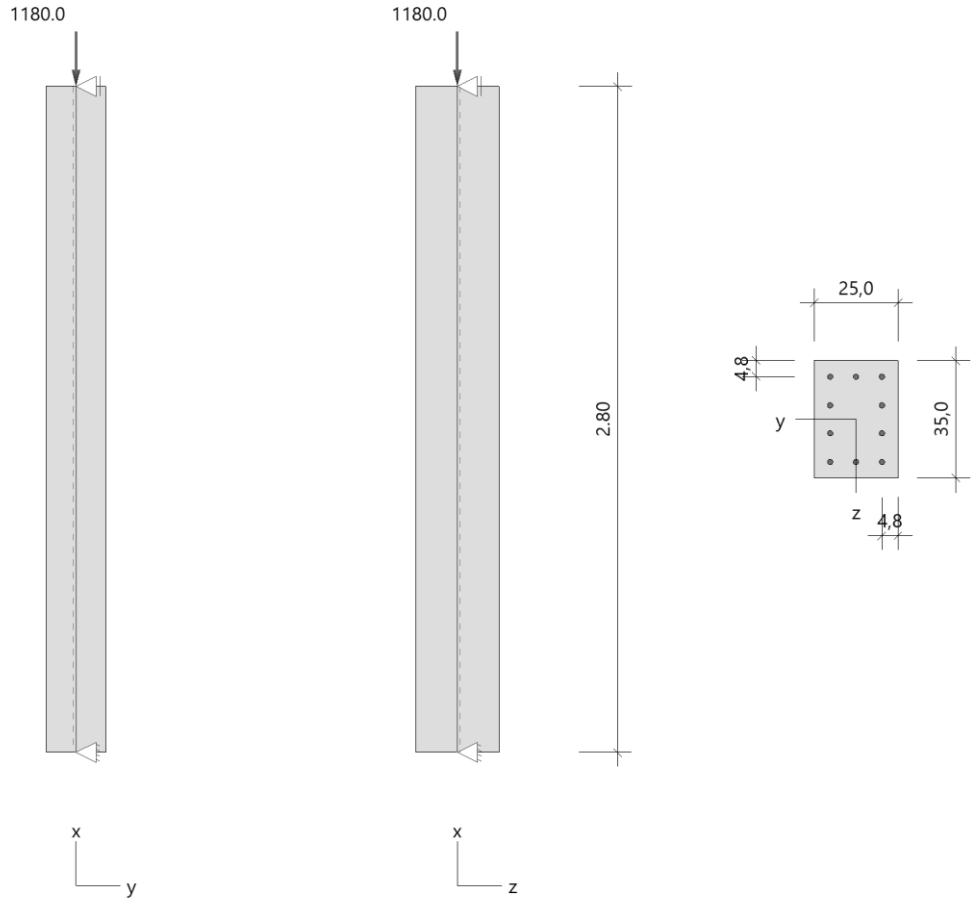
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_F($\gamma_{G,sup}$oder$\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 32



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff		X0	
Bewehrungskorrosion		XC1	
Mindestbetonklasse		C 16/20	
Bügel	$d_{s,b}$	= 10	mm
Längsbewehrung	$d_{s,l}$	= 16	mm

Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	*5
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	16	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	30	mm	*1
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*1: mit cmin,b
*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85 α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	2.80 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	25.0/35.0 cm
	b_1/d_1	=	4.8/4.8 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		1180.0							ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.19	2.80	-2.19	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 11,86 in y- / 23,24 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 1180,0 kN (ständig)	1.35	1.00

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	2.80	2.80	38.7	27.7	25.0	25.0	0.7	0.7	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	2.80	-1593.0	0.00	0.00	2.30	20.1	20.1	Querschnitt
	2.33	-1594.4	5.95	-6.47	2.30	20.1	20.1	
	1.87	-1595.8	10.36	-11.26	2.30	20.1	20.1	
	1.40	-1597.1	12.08	-13.12	2.30	20.1	20.1	
	0.93	-1598.5	10.37	-11.26	2.30	20.1	20.1	
	0.47	-1599.9	5.95	-6.47	2.30	20.1	20.1	
	0.00	-1601.3	0.00	0.00	2.30	20.1	20.1	

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	2.80		0.02	0.00	0.02	0.00	2
			0.03	0.00	0.03	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1186.1	-0.02	0.00	-0.02	0.00	2
		1601.3	-0.03	0.00	-0.03	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1180,0 kN (ständig)	1.00

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	1.95	1.95	27.1	19.3	0.0	0.0	-0.05	0.05	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	2.80	-1180.0	0.00	0.00	2.30	20.1	20.1	Querschnitt
	2.33	-1181.0	0.29	0.31	2.30	20.1	20.1	
	1.87	-1182.0	0.43	0.46	2.30	20.1	20.1	
	1.40	-1183.1	0.36	0.39	2.30	20.1	20.1	
	0.93	-1184.1	0.08	0.09	2.30	20.1	20.1	
	0.47	-1185.1	-0.25	-0.27	2.30	20.1	20.1	
	0.00	-1186.1	-0.46	-0.49	2.30	20.1	20.1	

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	2.80		0.2	0.00	-0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1186.1	-0.2	-0.49	0.2	-0.46	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	20.1

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1180,0 kN (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	2.80	-1180.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.33	-1181.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.87	-1182.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.40	-1183.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.93	-1184.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.47	-1185.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1186.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	2.80	-1180.0	0.00	0.00	0.00	-0.358	-71.68	400.00	0.00
1	2.33	-1181.0	0.00	0.00	0.00	-0.359	-71.74	400.00	0.00
1	1.87	-1182.0	0.00	0.00	0.00	-0.359	-71.80	400.00	0.00
1	1.40	-1183.1	0.00	0.00	0.00	-0.359	-71.86	400.00	0.00
1	0.93	-1184.1	0.00	0.00	0.00	-0.360	-71.93	400.00	0.00
1	0.47	-1185.1	0.00	0.00	0.00	-0.360	-71.99	400.00	0.00
1	0.00	-1186.1	0.00	0.00	0.00	-0.360	-72.05	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1180,0 kN (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	16	2.0	-7.7	-12.7	213	100
Bügel: 20Ø10 mm	2	16	2.0	7.7	-12.7	213	100
	3	16	2.0	7.7	12.7	213	100
	4	16	2.0	-7.7	12.7	213	100
	5	16	2.0	-7.7	4.2	128	100
	6	16	2.0	7.7	4.2	128	100
	7	16	2.0	-7.7	-4.2	128	100
	8	16	2.0	7.7	-4.2	128	100
	9	16	2.0	0.0	-12.7	130	100
	10	16	2.0	0.0	12.7	130	100
			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	3.0	2.0	4.0	3.0

Stütze Typ 7 - 35/25cm Ned,max= 2300 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

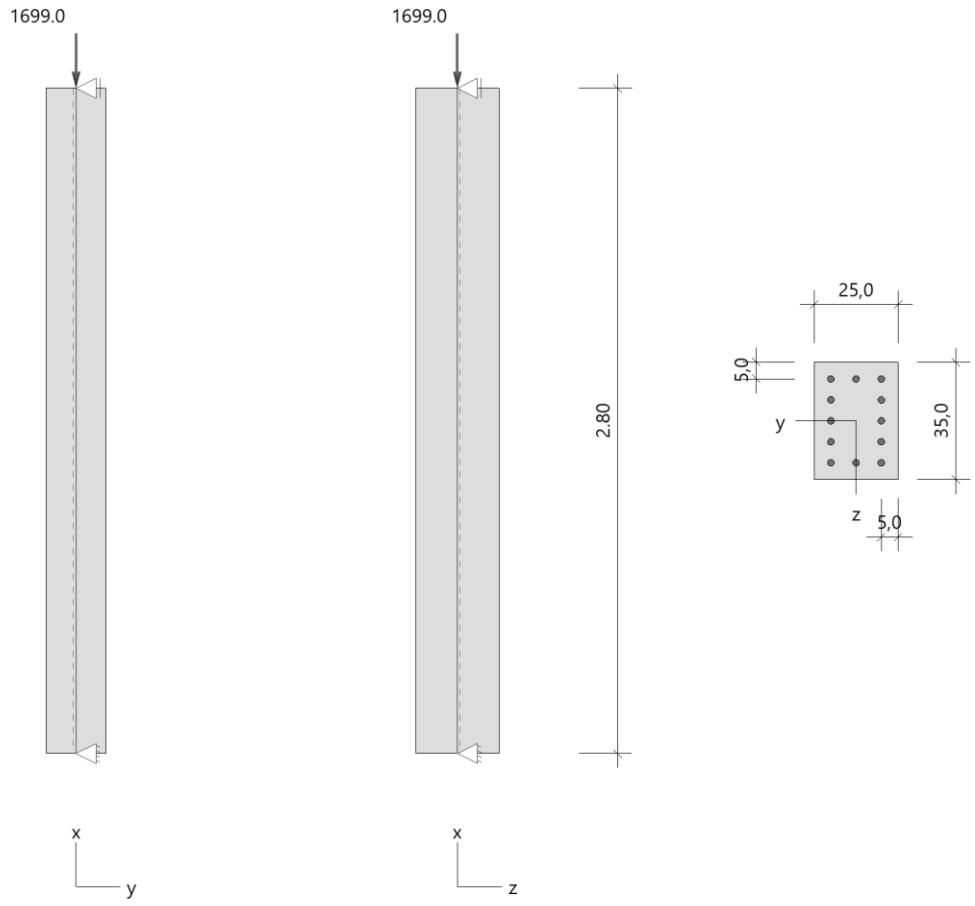
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_F($\gamma_{G,sup}$oder$\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 32



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff			X0
Bewehrungskorrosion			XC1
Mindestbetonklasse			C 16/20
Bügel	$d_{s,b}$	=	10 mm

Längsbewehrung	$d_{s,l}$	=	20	mm	
Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	*5
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	20	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	30	mm	
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	°/oo (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85 α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	2.80 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	25.0/35.0 cm
	b_1/d_1	=	5.0/5.0 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		1699.0							ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.19	2.80	-2.19	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 8,24 in y- / 16,15 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 1699,0 kN (ständig)	1.35	1.00

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	2.80	2.80	38.8	27.7	25.0	25.0	0.7	0.7	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	2.80	-2293.7	0.00	0.00	4.33	37.9[1)]	37.7	Querschnitt
	2.33	-2295.0	8.81	-9.96	4.33	37.9[1)]	37.7	
	1.87	-2296.4	15.34	-17.34	4.33	37.9[1)]	37.7	
	1.40	-2297.8	17.88	-20.20	4.33	37.9[1)]	37.7	
	0.93	-2299.2	15.34	-17.35	4.33	37.9[1)]	37.7	
	0.47	-2300.5	8.81	-9.97	4.33	37.9[1)]	37.7	
	0.00	-2301.9	0.00	0.00	4.33	37.9[1)]	37.7	

1 : Bemessung mit Mindestausmitte nach EN 1992-1-1, 6.1 (4), maßgebend

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	2.80		0.02	0.00	0.02	0.00	2
			0.03	0.00	0.03	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1705.1	-0.02	0.00	-0.02	0.00	2
		2301.9	-0.03	0.00	-0.03	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1699,0 kN (ständig)	1.00

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	1.95	1.95	27.1	19.3	0.0	0.0	-0.05	0.05	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	2.80	-1699.0	0.00	0.00	4.31	37.7	37.7	Querschnitt
	2.33	-1700.0	0.42	0.45	4.31	37.7	37.7	
	1.87	-1701.0	0.61	0.66	4.31	37.7	37.7	
	1.40	-1702.1	0.52	0.55	4.31	37.7	37.7	
	0.93	-1703.1	0.12	0.13	4.31	37.7	37.7	
	0.47	-1704.1	-0.36	-0.39	4.31	37.7	37.7	
	0.00	-1705.1	-0.66	-0.70	4.31	37.7	37.7	

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	2.80		0.2	0.00	-0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1705.1	-0.2	-0.70	0.2	-0.66	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	37.9

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1699,0 kN (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	2.80	-1699.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.33	-1700.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.87	-1701.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.40	-1702.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.93	-1703.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.47	-1704.1	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1705.1	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	2.80	-1699.0	0.00	0.00	0.00	-0.466	-93.27	400.00	0.00
1	2.33	-1700.0	0.00	0.00	0.00	-0.467	-93.33	400.00	0.00
1	1.87	-1701.0	0.00	0.00	0.00	-0.467	-93.38	400.00	0.00
1	1.40	-1702.1	0.00	0.00	0.00	-0.467	-93.44	400.00	0.00
1	0.93	-1703.1	0.00	0.00	0.00	-0.467	-93.50	400.00	0.00
1	0.47	-1704.1	0.00	0.00	0.00	-0.468	-93.55	400.00	0.00
1	0.00	-1705.1	0.00	0.00	0.00	-0.468	-93.61	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1699,0 kN (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-7.5	-12.5	195	100
Bügel: 16Ø10 mm	2	20	3.1	7.5	-12.5	195	100
	3	20	3.1	7.5	12.5	195	100
	4	20	3.1	-7.5	12.5	195	100
	5	20	3.1	-7.5	6.3	120	100
	6	20	3.1	7.5	6.3	120	100
	7	20	3.1	-7.5	-6.3	120	100
	8	20	3.1	7.5	-6.3	120	100
	9	20	3.1	0.0	-12.5	121	100
	10	20	3.1	0.0	12.5	121	100
	11	20	3.1	-7.5	0.0	117	100
	12	20	3.1	7.5	0.0	117	100
			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	4.0	3.0

Stütze Typ 8 - 35/25cm Ned,max= 2100 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-12)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

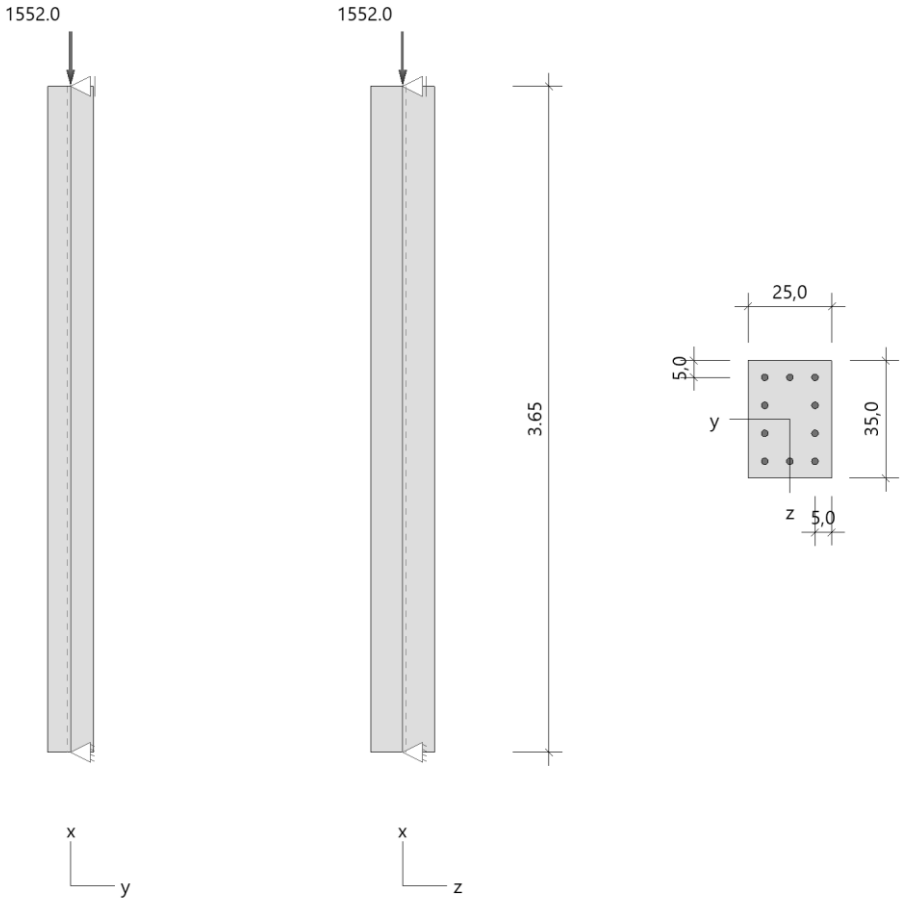
Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγ_F($\gamma_{G,sup}$oder$\gamma_{G,inf}$)

System

Systemgrafik 2D

Maßstab 1 : 41.7



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff		X0
Bewehrungskorrosion		XC1
Mindestbetonklasse		C 16/20
Bügel	$d_{s,b}$ =	10 mm

Längsbewehrung	$d_{s,l}$	=	20	mm	
Vorhaltemaß	Δc_{dev}	=	10	mm	
Bügel	$c_{min,b}$	=	10	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,b}$	=	20	mm	*5
Längsbewehrung	$c_{min,l}$	=	20	mm	*5
Betondeckung	$c_{nom,l}$	=	30	mm	
Verlegemaß Bügel	$c_{v,b}$	=	20	mm	
zul. Rissbreite	w_{max}	=	0.40	mm	

*5: Verbund maßgebend

Kriechzahl

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85 α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	3.65 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	25.0/35.0 cm
	b_1/d_1	=	5.0/5.0 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		1552.0							ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-2.19	3.65	-2.19	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 5,30 in y- / 10,40 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 1552,0 kN (ständig)	1.35	1.00

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	3.65	3.65	50.5	36.1	25.0	25.0	0.9	0.9	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-2095.2	0.00	0.00	3.60	31.5[1)]	31.4	Querschnitt
	3.04	-2097.0	11.30	-14.15	3.60	31.5[1)]	31.4	
	2.43	-2098.8	19.68	-24.61	3.60	31.5[1)]	31.4	
	1.83	-2100.6	22.93	-28.64	3.60	31.5[1)]	31.4	
	1.22	-2102.4	19.69	-24.63	3.60	31.5[1)]	31.4	
	0.61	-2104.2	11.31	-14.17	3.60	31.5[1)]	31.4	
	0.00	-2106.0	0.00	0.00	3.60	31.5[1)]	31.4	

1 : Bemessung mit Mindestausmitte nach EN 1992-1-1, 6.1 (4), maßgebend

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	3.65		0.03	0.00	0.03	0.00	2
			0.05	0.00	0.04	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1560.0	-0.03	0.00	-0.03	0.00	2
		2106.0	-0.05	0.00	-0.04	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1552,0 kN (ständig)	1.00

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	2.55	2.55	35.3	25.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-1552.0	0.00	0.00	3.59	31.4	31.4	Querschnitt
	3.04	-1553.3	0.52	0.60	3.59	31.4	31.4	
	2.43	-1554.7	0.76	0.88	3.59	31.4	31.4	
	1.83	-1556.0	0.64	0.74	3.59	31.4	31.4	
	1.22	-1557.3	0.15	0.17	3.59	31.4	31.4	
	0.61	-1558.7	-0.45	-0.52	3.59	31.4	31.4	
	0.00	-1560.0	-0.82	-0.94	3.59	31.4	31.4	

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	3.65		0.3	0.00	-0.2	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1560.0	-0.3	-0.94	0.2	-0.82	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	31.5

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1552,0 kN (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	3.65	-1552.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	3.04	-1553.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	2.43	-1554.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.83	-1556.0	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	1.22	-1557.3	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.61	-1558.7	0.00	0.00	0.0	0.0			
1	0.00	-1560.0	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	3.65	-1552.0	0.00	0.00	0.00	-0.441	-88.24	400.00	0.00
1	3.04	-1553.3	0.00	0.00	0.00	-0.442	-88.31	400.00	0.00
1	2.43	-1554.7	0.00	0.00	0.00	-0.442	-88.39	400.00	0.00
1	1.83	-1556.0	0.00	0.00	0.00	-0.442	-88.47	400.00	0.00
1	1.22	-1557.3	0.00	0.00	0.00	-0.443	-88.54	400.00	0.00
1	0.61	-1558.7	0.00	0.00	0.00	-0.443	-88.62	400.00	0.00
1	0.00	-1560.0	0.00	0.00	0.00	-0.443	-88.69	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1552,0 kN (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-7.5	-12.5	195	100
Bügel: 19Ø10 mm	2	20	3.1	7.5	-12.5	195	100
	3	20	3.1	7.5	12.5	195	100
	4	20	3.1	-7.5	12.5	195	100
	5	20	3.1	-7.5	4.2	118	100
	6	20	3.1	7.5	4.2	118	100
	7	20	3.1	-7.5	-4.2	118	100
	8	20	3.1	7.5	-4.2	118	100
	9	20	3.1	0.0	-12.5	121	100
	10	20	3.1	0.0	12.5	121	100
			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	4.0	3.0

Pos. E-317 - 30/20cm Ned,max= 1450 kN

Stahlbetonstütze B5+ (FRILO 2026-0-13)

Grundparameter

Berechnungsgrundlagen

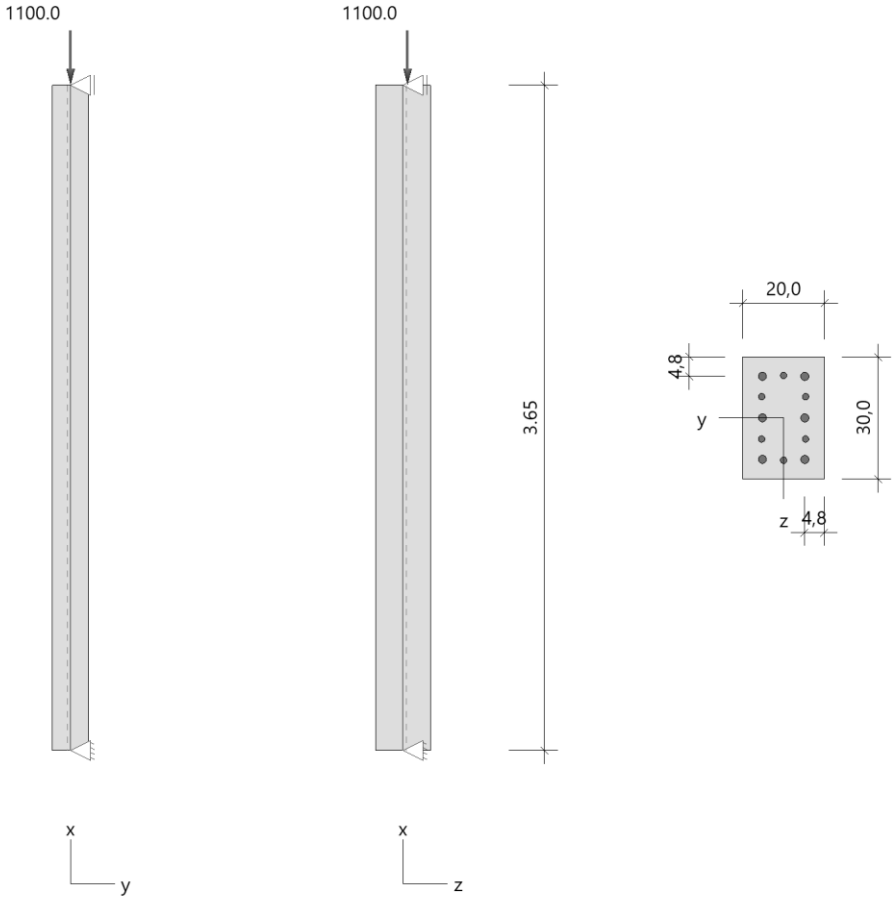
- Pendelstütze in y- und z-Richtung, Rechteck, 2-achsig beansprucht
- Materialien C 30/37, B500A

Norm und Sicherheitskonzept

Bemessungsnormen	:	DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015-12
	:	DIN EN 1992-1-2/NA/A2 - 2021-04
Sicherheitskonzept/Lastkombinatorik	:	DIN EN 1990/NA:2010-12
$\Psi_2$für Kranlasten	:	0.90
Ψ_2= 0.5 für Schnee (AE)	:	nicht angesetzt
Kombination ständiger Lasten	:	alle gleichesγF(γG,supoderγG,inf)

System

Systemgrafik 2D



Anforderungen Dauerhaftigkeit:

Betonangriff		X0	
Bewehrungskorrosion		XC1	
Mindestbetonklasse		C 16/20	
Bügel	$d_{s,b}$ =	8	mm
Längsbewehrung	$d_{s,l}$ =	20	mm

Vorhaltemaß	Δc_{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

Kriecheffekte werden nicht berücksichtigt.

Materialauswahl

Beton C 30/37	f_{ck}	=	30.00	N/mm²	E_{cm}	=	33000	N/mm²
Betonstahl B500A	f_{yk}	=	500.00	N/mm²	E_s	=	200000	N/mm²
	$k(f_t/f_y)$	=	1.05		ε_{uk}	=	25.0	‰ (Bügel und Längsbewehrung)

Material Bemessungswerte

Bemessungssituation	Beton C 30/37 α_{cc}= 0.85α_{ct}= 0.85			Betonstahl B500A		
	γ_c	f_{cd} [N/mm²]	f_{ctd} [N/mm²]	γ_s	f_{yd} [N/mm²]	$f_{td}= f_{tk,cal}/\gamma_s$ [N/mm²]
ständig/vorübergehend	1.50	17.00	1.15	1.15	434.78	456.52

Systemkennwerte

Abmessungen / statisches System

Pendelstütze in y- und z-Richtung

Stützenhöhe	l	=	3.65 m
Querschnitt	b_y/d_z	=	20.0/30.0 cm
	b_1/d_1	=	4.8/4.8 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	

Lagerbedingungen im Brandfall

Lage	$u_{y,fi}$ [kN/m]	$\phi_{z,fi}$ [kNm/rad]	$u_{z,fi}$ [kN/m]	$\phi_{y,fi}$ [kNm/rad]
Kopfpunkt	starr		starr	
Fußpunkt	starr	starr	starr	starr

Lasten

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

Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\gamma_{F,inf}$	$\gamma_{F,sup}$
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		1100.0		2.5					ständig		

Verteilte Lasten (Stützeneigengewicht)

Nr.	Bauteil	Richtung	Abstand [m]	p_{Anf} [kN/m]	Länge [m]	p_{End} [kN/m]	Einwirkung	ZusGrp	AltGrp
*	Stütze	in x		-1.50	3.65	-1.50	ständig		

Berechnungsoptionen

Berechnungsoptionen

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

Bemessungsoptionen

- Imperfektion (Zusatzausmitte e_i) wird affin zur Knickbiegelinie 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

Optionen für den Brandschutznachweis

- Nachzuweisende Feuerwiderstandsklasse: R30
- 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 $\theta <= 1/2000$ begrenzt.
- Pendelstützen werden am Fuß voll eingespannt.
- Steifigkeitsabminderung für Bewehrungsgrade $\rho < 2.0\%$: $EI_{eff,cal} = EI_{eff} * (\rho/0.02)^{0.5}$
- Der Nachweis wird unter Berücksichtigung der thermischen Dehnungen geführt.

Ergebnisse

Kleinste Lastverzweigungsfaktoren

min Ncr/N = 3,28 in y- / 7,39 in z-Richtung (nur Betonquerschnitt)

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

Untersuchte Lastkombinationen (ständige/vorübergehende Bemessungssituation)

Last	LK 1	LK 2
Stützeneigengewicht	1.35	1.00
V = 1100,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.35	1.00

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	3.65	3.65	63.1	42.1	25.0	25.0	0.9	-0.9	0.000	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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-1485.0	-37.13	0.00	5.15	30.9	30.9	Querschnitt
	3.04	-1486.2	-43.40	-13.78	5.15	30.9	30.9	
	2.43	-1487.5	-45.51	-23.99	5.15	30.9	30.9	
	1.83	-1488.7	-41.98	-27.84	5.15	30.9	30.9	
	1.22	-1489.9	-32.11	-23.93	5.15	30.9	30.9	
	0.61	-1491.2	-17.41	-13.74	5.15	30.9	30.9	
	0.00	-1492.4	0.00	0.00	5.15	30.9	30.9	

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	3.65		0.02	0.00	7.5	0.00	2
			0.04	0.00	10.2	0.00	1
			0.02	0.00	7.6	0.00	2
			0.04	0.00	10.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1105.5	-0.02	0.00	-7.5	0.00	2
		1492.4	-0.04	0.00	-10.2	0.00	1
		1105.5	-0.02	0.00	-7.6	0.00	2
		1492.4	-0.04	0.00	-10.1	0.00	1

Tragfähigkeit - Brand (R30) - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Untersuchte Lastkombinationen (Bemessungssituation Brand)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1100,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00

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	2.55	2.55	44.1	29.4	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.000	1.000

* Benutzervorgabe für anzusetzende Schiefstellung: 1/2000

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 [%]	$A_{s,erf}$ [cm²]	$A_{s,vorh}$ [cm²]	Versagensart
1	3.65	-1100.0	-27.50	0.00	5.15	30.9	30.9	Querschnitt
	3.04	-1100.9	-23.26	0.52	5.15	30.9	30.9	
	2.43	-1101.8	-16.98	0.77	5.15	30.9	30.9	
	1.83	-1102.7	-9.12	0.64	5.15	30.9	30.9	
	1.22	-1103.6	-0.29	0.14	5.15	30.9	30.9	
	0.61	-1104.6	8.64	-0.45	5.15	30.9	30.9	
	0.00	-1105.5	16.72	-0.81	5.15	30.9	30.9	

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	3.65		0.2	0.00	11.8	0.00	1
			0.2	0.00	12.1	0.00	1
Fußpunkt	0.00	1105.5	-0.2	-0.81	-11.8	15.50	1
		1105.5	-0.2	-0.81	-12.1	16.72	1

Gebrauchstauglichkeit - Allgemeines Verfahren (Abs. 5.8.6)

Angesetzte Bewehrungsflächen für die Nachweise im GZG

Abschnitt	angenommen As [cm²]
1	30.9

Untersuchte Lastkombinationen (charakteristische Bemessungssituation)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1100,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00

Verformungen - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

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	3.65	-1100.0	-27.50	0.00	0.0	0.0			
1	3.04	-1100.9	-23.91	0.00	0.0	-0.1			
1	2.43	-1101.8	-19.80	0.00	0.0	-0.1			
1	1.83	-1102.7	-15.24	0.00	0.0	-0.1			
1	1.22	-1103.6	-10.35	0.00	0.0	-0.1			
1	0.61	-1104.6	-5.24	0.00	0.0	-0.1			
1	0.00	-1105.5	0.00	0.00	0.0	0.0			

Begrenzung der Stahlzugspannung - Th. II. O. (charakteristische Bemessungssituation)

LK	Höhe [m]	N_d [kN]	$M_{y,d}$ [kNm]	$M_{z,d}$ [kNm]	ϕ_{eff}	ε_s [‰]	σ_s [N/mm²]	$\sigma_{s,lim}$ [1)] [N/mm²]	η
1	3.65	-1100.0	-27.50	0.00	0.00	-0.272	-54.39	400.00	0.00
1	3.04	-1100.9	-23.91	0.00	0.00	-0.292	-58.44	400.00	0.00
1	2.43	-1101.8	-19.80	0.00	0.00	-0.315	-63.07	400.00	0.00
1	1.83	-1102.7	-15.24	0.00	0.00	-0.341	-68.18	400.00	0.00
1	1.22	-1103.6	-10.35	0.00	0.00	-0.368	-73.67	400.00	0.00
1	0.61	-1104.6	-5.24	0.00	0.00	-0.397	-79.42	400.00	0.00
1	0.00	-1105.5	0.00	0.00	0.00	-0.425	-85.01	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)

Last	LK 1
Stützeneigengewicht	1.00
V = 1100,0 kN / ez = 2,5 cm (ständig)	1.00

Bewehrungsanordnung

Gewählte Bewehrungsanordnung und Temperaturen nach 30 min

Stützenabschnitt	Stabnummer	Ø [mm]	Fläche [cm²]	y [cm]	z [cm]	Temperatur [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$ [%]
Abschnitt 1	1	20	3.1	-5.2	-10.2	213	100
Bügel: 23Ø8 mm	2	20	3.1	5.2	-10.2	213	100
	3	20	3.1	5.2	10.2	213	100
	4	20	3.1	-5.2	10.2	213	100
	5	16	2.0	-5.4	5.2	143	100
	6	16	2.0	5.4	5.2	143	100
	7	16	2.0	0.0	-10.4	146	100
	8	16	2.0	0.0	10.4	146	100
	9	16	2.0	-5.4	-5.2	143	100
	10	16	2.0	5.4	-5.2	143	100
	11	20	3.1	-5.2	0.0	128	100
	12	20	3.1	5.2	0.0	128	100
			30.9				

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	3.0	2.0	3.8	3.0

Anschlussbewehrung Gründung:

Ortbetonstützen: Anschluss für Stützen → wie Stützenbewehrung im UG

Schlussseite

Die statische Berechnung Teil 4 – Stützen umfasst die Seiten 1 bis 56.

aufgestellt:



i.A. Andrea Bonifazi M.Sc.
040 - 2 71 55 - 224
a.bonifazi@wp-ingenieure.de

Hamburg, den 21.07.2026



WP Ingenieure Partnerschaft Beratender Ingenieure mbB Meyer · Brenne · Feldmann · Pramme