

9.2 Standsicherheitsnachweis für aufgeteiltes Stufenfundament

Nach EN 50341	Berechnung	Abschlussprojekt M-13	ohne Wasserauftrieb
---------------	------------	-----------------------	---------------------

1.) Ausgangsdaten:

Leitungsname: 65-kV-Ltg. Riedgen-Aspelt Mast-Nr. : 13
 Masttyp: CA2-04 (Windzone 2 / Eiszone 2)
 Mastart: Winkel-Abspannmast WA1+0.0 (160 - 180°)
 Fundamenttyp: A (aufgeteiltes Stufenfundament ohne Schalung an das Erdreich anbetoniert)

2.) Fundamentlasten aus statischer Berechnung:

Berechnung: Abschlussprojekt M-13

	vertikale Auflagerkraft (charakteristisch) [kN]	Stabkraft (Grenzlast) [kN]	Lastfall	Belegung	Seilanteil	Vertikallast
Betrag der max. Zugkraft lt. Statik:	$N_{z,c} = 459,81$	$N_{z,d} = 631,55$	Ha-1	Voll	Ist	* 1,00
Betrag der max. Druckkraft lt. Statik:	$N_{D,c} = 504,29$	$N_{D,d} = 688,45$	Ha-1	Voll	Ist	* 1,35
Eckstielprofil:	L 140 x 140 x 15		Breitenzunahme: Bz = 220,00 mm/m		Spreizmaß an EOK: Be = 3,70 m (Mitte Eckstiel)	

3.) Baugrundeigenschaften / Stoffkennwerte:

3.1) Bodeneigenschaften nach Tabelle 8.5.2/DE.1:

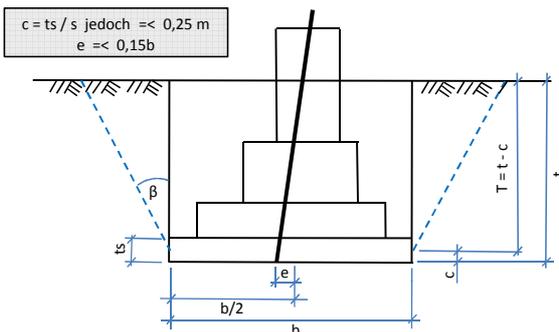
Bodenart: bindiger Boden, halbfest, mit nichtbindigen Beimengungen
 Bodenwichte: $\gamma_E = 18,00$ kN/m³ (ohne Wasserauftrieb)
 $\gamma_{E,Wa} = 11,00$ kN/m³ (mit Wasserauftrieb)
 zulässige Bodenpressung: $\sigma_{1,5} = 200,00$ kN/m² (in 1,5 m Tiefe)
 Bodenpressungsfaktor: $\kappa = 3,50$ [1] (für Berechnung der zul. Bodenpressung > 1,5 m Tiefe)
 Erdauflastwinkel: $\beta_{0,5,0} = 17,00$ ° (bis 5,0 m Fundamentbreite)
 $\beta_{0,1,5} = 26,00$ ° (bis 1,5 m Fundamentbreite)
 Grundwasserstand: $t_w = 5,00$ m unter EOK **kein Auftrieb durch Wasser!**

3.2) Betoneigenschaften:

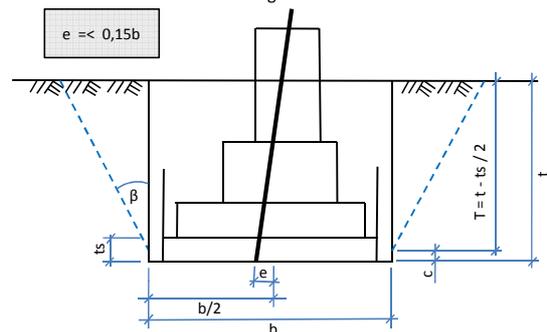
Betongüte: C 20/25
 Betonwichte: $\gamma_{BE} = 22,00$ kN/m³ (ohne Wasserauftrieb)
 $\gamma_{BE,Wa} = 12,00$ kN/m³ (mit Wasserauftrieb)

Skizzen:

Fundamenttyp A
an Erdreich betoniert



Fundamenttyp S
an Schalung betoniert



9.2 Standsicherheitsnachweis für aufgeteiltes Stufenfundament

Nach EN 50341	Berechnung	Abschlussprojekt M-13	ohne Wasserauftrieb
---------------	------------	-----------------------	---------------------

4.) Fundamentabmessungen:

	Stufe Nr.	Lage der Kante unter EOK			Form □ / ○	Breite / Durchm. [m]	Fläche d. Sohle [m²]	Vol. d. Stufe [m³]	Wichte o. Auftrieb [kN/m³]	Wichte m. Auftrieb [kN/m³]	Auftrieb ja / nein	Gewicht o. Auftrieb [kN]	Gewicht m. Auftrieb [kN]
		unten [m]	oben [m]	gesamt [m]									
Berechnung Volumen und Eigengewicht	1 ü EOK	0,00	-0,40	0,40	rund	0,80	0,50	0,20	22,00	12,00	nein	4,42	2,41
	1	0,80	0,00	0,80	rund	0,80	0,50	0,40	22,00	12,00	nein	8,85	4,83
	2	1,30	0,80	0,50	rund	1,30	1,33	0,66	22,00	12,00	nein	14,60	7,96
	3	1,80	1,30	0,50	rund	1,50	1,77	0,88	22,00	12,00	nein	19,44	10,60
	4	2,50	1,80	0,70	rund	1,80	2,54	1,78	22,00	12,00	nein	39,19	21,38
	5	3,20	2,50	0,70	quadrat	2,50	6,25	4,38	22,00	12,00	nein	96,25	52,50
	Sauberk.	3,30	3,20	0,10	quadrat	2,50	6,25	0,62	22,00	12,00	nein	13,75	7,50

Eingrabetiefe:	t =	3,20 m	(Sohlentiefe)
Beginn der Erdauflastpyramide über Sohle:	c =	0,25 m	
Tiefe des Erdauflastkörpers:	T =	2,95 m	
Gesamtbetonvolumen des Fundamentkörpers:	V_{ges.} =	8,31 m³	(ohne Sauberkeitsschicht)
Volumen des Fundamentkörpers über der untersten Platte:	V_{erde} =	3,73 m³	(Stufen 1 bis 4, ohne 1 ü. EOK)
Volumen des Fundamentkörpers ohne Wasserauftrieb:	V₁ =	8,31 m³	(ohne Sauberkeitsschicht)
Volumen des Fundamentkörpers mit Wasserauftrieb:	V₂ =	0,00 m³	(ohne Sauberkeitsschicht)
Gewicht des Fundamentkörperanteil ohne Wasserauftrieb:	G₁ =	182,75 kN	(ohne Sauberkeitsschicht)
Gewicht des Fundamentkörperanteil mit Wasserauftrieb:	G₂ =	0,00 kN	(ohne Sauberkeitsschicht)
Gewicht des gesamten Fundamentkörpers ohne Wasserauftrieb:	G_{ges} =	182,75 kN	(ohne Sauberkeitsschicht)

5.) Ermittlung der zulässigen Bodenpressung in Sohlentiefe:

zulässige Bodenpressung in 1,5 m Tiefe:	$\sigma_{1,5} =$	200,00 kN/m²	
Bodenwichte ohne Auftrieb:	$\gamma_E =$	18,00 kN/m³	maßgebend
Bodenwichte mit Auftrieb:	$\gamma_{E,Wa} =$	11,00 kN/m³	nicht maßgebend
Bodenpressungsfaktor:	$\kappa =$	3,50 [1]	
zul $\sigma_t = \sigma_{1,5} + (t - 1,5) * \gamma * \kappa = 307,10$ kN/m² (in Sohlentiefe)			

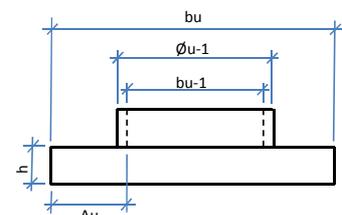
6.) Ermittlung des Erdauflastwinkels:

(DIN EN 50341 3-4 8.5.2 DE.6.1)

Fundamentbreite:	b =	2,50 m	
Tiefe des Erdauflastkörpers:	T =	2,95 m	
		↓	
	b / T =	0,85	> 0,60 Berechnungsverfahren zulässig
		↓	
	$[(\beta_{0,1,5} - \beta_{0,5,0}) / (5,0 - 1,5)] * (5,0 - b) + \beta_{0,5,0} =$	$\beta_b =$	23,43 ° Interpolation
		↓	
	Erdauflastwinkel $\beta = \beta_{0b} * \sqrt{b / T} =$	21,57 °	

7.) Zulässigkeit der Auskrägung der untersten Stufe:

Stufenhöhe der untersten Stufe:	h_u :	0,70 m	
Breite der untersten Stufe:	b_u :	2,50 m	
Durchmesser der vorletzten Stufe:	$\phi_{u-1} :$	1,80 m	
Ersatzbreite der vorletzten Stufe $\phi_{u-1} / 1.13 :$	b_{u-1} :	1,59 m	
Auskrägung der untersten Stufe = (b _u - b _{u-1}) / 2 :	A_u :	0,45 m	
Auskrägungsverhältnis = h_u / A_u :	n_u :	1,54	> 1.40 (Auskrägungsverhältnis ausreichend!)

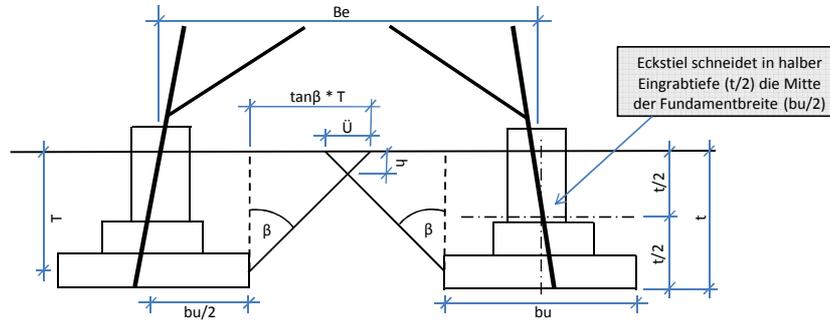


9.2 Standsicherheitsnachweis für aufgeteiltes Stufenfundament

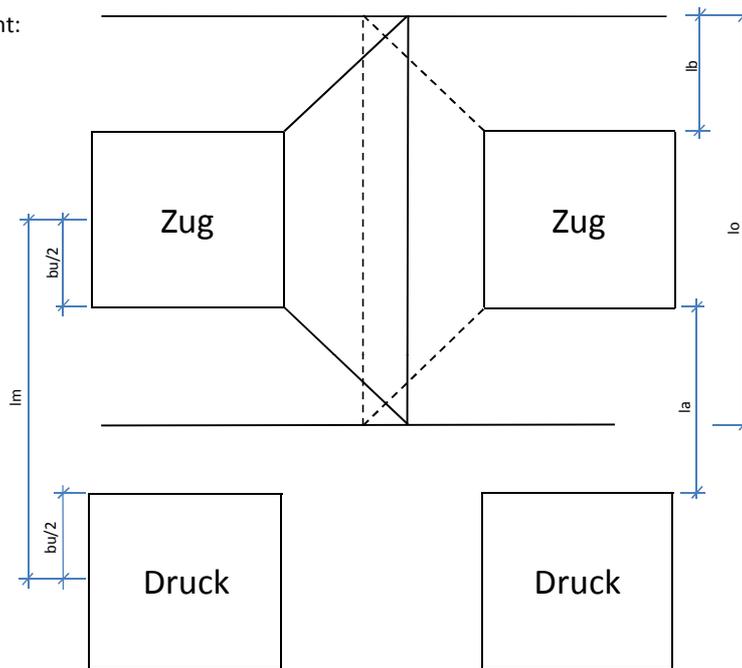
Nach EN 50341	Berechnung	Abschlussprojekt M-13	ohne Wasserauftrieb
---------------	------------	-----------------------	---------------------

8.) Überschneidung der Erdauflastpyramiden:

Skizze der Ansicht:



Skizze der Draufsicht:



- Be = 3,70 m
- Bz = 220,00 mm/m
- $\beta = 21,57^\circ$
- $b_u = 2,50$ m
- T = 2,95 m
- t = 3,20 m

- Abstand zwischen Fundamentmitten : $Be + t * Bz$: $l_m = 4,40$ m
- Abstand zwischen Fundamentkanten : $l_m - b_u$: $l_a = 1,90$ m
- Böschungsbreite der Erdpyramide : $\tan\beta * T$: $l_b = 1,17$ m
- Abstand der Böschungsoberkanten : $l_a - 2 * l_b$: $\ddot{U} = -0,43$ m**

Überschneidung vorhanden!

9.) Ermittlung des Volumens der Erdpyramidenüberschneidung:

- Fußbreite der Erdauflastpyramide : $b_u + 2 * \tan\beta * T$: $l_o = 4,83$ m
- Höhe des Überschneidungsdreieck : $T / l_b * (\ddot{U} / 2)$: $h_{\ddot{u}} = 0,54$ m
- Fläche des Überschneidungsdreiecks : $\ddot{U} * h_{\ddot{u}} / 2$: $A_{\ddot{u}} = 0,12$ m²
- Volumen der Überschneidung : $A_{\ddot{u}} * l_o$: $2 * V_{\ddot{u}} = 0,56$ m³
- Volumen pro Zugfundament : $V_{\ddot{u}} / 2$: $V_{\ddot{u}} = 0,28$ m³

BEMERKUNG:

Das Volumen der Erdpyramidenüberschneidung wird ungünstigst mit dem Überschneidungsdreieck entlang der gesamten Fußbreite berechnet. Eine Abminderung an den Kanten wird nicht berücksichtigt!

9.2		Standsicherheitsnachweis für aufgeteiltes Stufenfundament	
Nach EN 50341	Berechnung	Abschlussprojekt M-13	ohne Wasserauftrieb
10.) Nachweis bei Beanspruchung auf Zug: (DIN EN 50341 3-4 8.5.2 DE.6.3)			
	Grundwasserstand :	$t_w = 3,20$ m unter EOK	
	Grundwasserstand :	$t_{ws} = 0,00$ kein Wasser über Fundamentsohle	
		$\Sigma = 3,20$ m Eingrabetiefe	
	Höhe Pyramidenstumpf ohne Wasserauftrieb :	$h_p = 2,95$ m	
	Höhe Pyramidenstumpf mit Wasserauftrieb :	$h_{pw} = 0,00$ m	
		$\Sigma = 2,95$ m	
	Fußbreite Pyramidenstumpf ohne Wasserauftrieb :	$b_p = 4,83$ m	
	Fußbreite Pyramidenstumpf mit Wasserauftrieb :	$b_{pw} = 0,00$ m	
	Volumen Pyramidenstumpf ohne Wasserauftrieb :	$V_p = 40,99$ m ³	
	Volumen Pyramidenstumpf mit Wasserauftrieb :	$V_{pw} = 0,00$ m ³	
	Erdvolumen lotrecht über Sohle ohne Wasserauftrieb :	$V_{EL} = 11,89$ m ³	
	Erdvolumen lotrecht über Sohle mit Wasserauftrieb :	$V_{ELW} = 0,00$ m ³	
	Volumen Fundamentkörper ohne Wasserauftrieb :	$V_B = 6,54$ m ³	Fundamentkörperanteil
	Volumen Fundamentkörper mit Wasserauftrieb :	$V_{BW} = 0,00$ m ³	Fundamentkörperanteil
	Volumen Erdreich ohne Wasserauftrieb :	$V_E = 34,44$ m ³	
	Volumen Erdreich mit Wasserauftrieb :	$V_{EW} = 0,00$ m ³	
	Gewicht Erdreich ohne Wasserauftrieb $V_E \cdot \gamma_E$:	$G_E = 619,96$ kN	
	Gewicht Erdreich mit Wasserauftrieb $V_{EW} \cdot \gamma_{E,Wa}$:	$G_{EW} = 0,00$ kN	
	Gesamtgewicht der Erdauflast :	$\Sigma = 619,96$ kN	mit Erdauflastpyramide
	Gewicht des Fundamentanteils ohne Wasserauftrieb :	$G_B = 182,75$ kN	
	Gewicht des Fundamentanteils mit Wasserauftrieb :	$G_{BW} = 0,00$ kN	
	Gesamtgewicht des Fundaments :	$\Sigma = 182,75$ kN	
	Gesamtgewicht gegen Eckstielzugkraft :	$G_{R1} = 802,70$ kN	mit Erdauflastpyramide
	charakteristische Eckstielzugkraft :	$N_z = 459,81$ kN	
Sicherheitsnachweis 1: $G_{R1} / N_z = 1,75 > 1.50$ Bemessung ausreichend			
	Gewicht Erdreich lotrecht über Sohle ohne Wasserauftrieb :	$G_{EL} = 214,10$ kN	
	Gewicht Erdreich lotrecht über Sohle mit Wasserauftrieb :	$G_{ELW} = 0,00$ kN	
	Gesamtgewicht der Erdauflast :	$\Sigma = 214,10$ kN	lotrecht über Fundamentsohle
	Gesamtgewicht gegen Eckstielzugkraft :	$G_{R2} = 396,85$ kN	lotrecht über Fundamentsohle
	Eckstielzugkraft :	$N_z = 459,81$ kN	
(DIN EN 50341 3-4 8.5.2 DE.6.3)			
Sicherheitsnachweis 2: $G_{R2} / N_z = 0,86 > 0.67$ Bemessung ausreichend			
11.) Nachweis bei Beanspruchung auf Druck: (DIN EN 50341 3-4 8.5.2 DE.6.2)			
	Gesamtgewicht der Erdauflast :	$G_{EL} = 214,10$ kN	lotrecht über Fundamentsohle
	Gesamtgewicht des Fundaments :	$G_B = 182,75$ kN	
	charakteristische Eckstieldruckkraft :	$N_D = 504,29$ kN	
	Gesamtdruckkraft auf Fundamentsohle :	$F_{ges.} \Sigma = 901,13$ kN	
	Fläche der Fundamentsohle :	$b_u^2 = 6,25$ m ²	
	zulässige Bodenpressung (siehe 5.) :	zul. $\sigma_t = 307,10$ kN/m ²	
Druckspannung an Fundamentsohle : $F_{ges.} / b_u^2 = \sigma = 144,18$ kN/m² < zul. Bodenpressung			

9.2 Standsicherheitsnachweis für aufgeteiltes Stufenfundament

Nach EN 50341	Berechnung	Abschlussprojekt M-13	ohne Wasserauftrieb
---------------	------------	-----------------------	---------------------

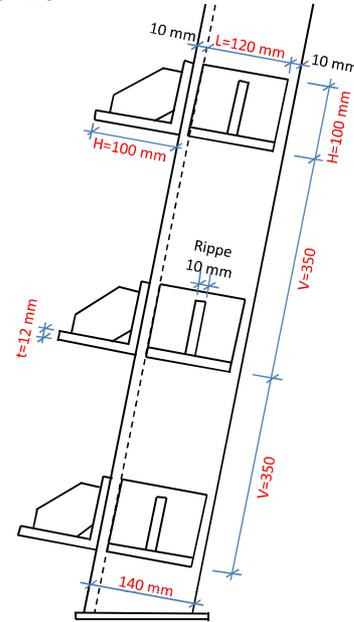
12.) Nachweis der Eckstielknaggen:

12.1) Bemessung der Knaggen:

Eckstielstabdruckkraft $S_{D,d}$: 688,45 kN (Grenzlast)

Skizze:

- Anzahl der Knaggen n: 6
- Eckstielbreite: 140 mm
- Knaggenbreite t: 12 mm
- Knaggenlänge L: 120 mm
- Knaggenhöhe H: 100 mm
- Versatz der Knaggen V: 350 mm
- Rippenbreite: 10 mm



Schweißnahtdicke a: 4 mm (Kehlnaht ringsum)

- Betongüte: C 20/25 (Festigkeitsklasse)
- Grenzverbundspannung: 2,30 MN/m²
- Grenzdruckspannung: 14,00 MN/m²

Fußplatte bleibt unberücksichtigt!

12.2) Nachweis der Betondruckspannung:

Druckfläche pro Knagge: $L * H = A = 0,012 \text{ m}^2$

vorh. Betondruckspannung: $S_{D,d} / (A * n) = \sigma_{DK} = 9,56 \text{ MN/m}^2 < 14,00 \text{ MN/m}^2$
Betondruckspannung zulässig

12.2) Nachweis der Verbundspannung:

Umfang der Knagge: $L + 2 * H = U_v = 0,32 \text{ m}$

vorh. Verbundspannung: $S_{D,d} / (n * U_v * V) = \tau_v = 1,02 \text{ MN/m}^2 < 2,30 \text{ MN/m}^2$
Verbundspannung zulässig

12.3) Nachweis der Schweißnaht: (nach ENV 1993-1)

Schweißnahtdicke a: $a = 4 \text{ mm}$

vorh. Schubspannung: $S_{D,d} / (n * U * a) = \tau_s = 65,19 \text{ N/mm}^2 < 208 \text{ MN/m}^2$
Schweißnaht zulässig

13.) Nachweis der Eckstielexzentrizität: (siehe Skizze unter 18.3)

zulässige Eckstielexzentrizität: $\text{max. } 0.15 b_u = 0,38 \text{ m}$

vorhandene Eckstielexzentrizität: $(B_z / 2) * (t / 2) = 0,18 \text{ m} < 0,38 \text{ m}$
Exzentrizität zulässig