

**1. Siloparameter**

NL	8	/	11
<b>Schüttgutkennwerte: Weizen</b>			
Wichte $\gamma$ [kN/m³]	unterer Wert $\gamma_l$		7,50
	oberer Wert $\gamma_u$		9,00
Böschungswinkel $\phi_r$ Grad			34,00
Winkel der inneren Reibung $\phi_i$ Grad	Mittelwert $\phi_{im}$		30,00
	Umrechnungsfaktor $a_\phi$		1,12
Horizontallastverhältnis K	Mittelwert $K_m$		0,54
	Umrechnungsfaktor $a_K$		1,11
Wandreibungskoeffizient $\mu = \tan \phi_w$ (Mittelwerte)	$\mu$		0,24
	Umrechnungsfaktor $a_\mu$		1,16
Kennwert für Teilflächenlast $C_{op}$			0,50
<b>Silogeometrie (kreisrunder Silo)</b>			
Silodurchmesser d	7,15		m
Silowanddicke t <=	4,00		mm
Anzahl der Ringe $n_{Ring}$	11,00		m
Ringhöhe $h_{Ring}$	0,84		m
Ringhöhe $h_{Ring 1}$ (unter Dach)	0,84		m
Neigung des Daches $\alpha$	30,00		°
Exzentrizität $e_0$	0,00		m
Exzentrizität $e_t$	0,00		m
Exzentrizität $e_f$	0,00		m
Radius r	3,58		m
innerer Silodurchmesser $d_c$	7,14		m
Minderung maximale Füllhöhe zf	0,00		m
Zellenschafthöhe $h_s$	9,24		m
maximale Füllhöhe $h_f$	9,24		m
Höhe des Daches $h_d$	2,06		m
Gesamthöhe mit Dach $h_g$	11,30		m
Schüttkegelhöhe $h_w$	2,06		m
Schüttguthöhe $h_b$	9,93		m
Höhe des Siloschaftes $h_c$	9,93		m
Gesamthöhe $h_b$	9,93		m
Silogrundfläche A	40,16		m²
Silovolumen V	397,79		m³
Umfangslänge U	22,44		m
Verhältnis A/U	1,79		-
Fassungsvermögen T	358,01		t
Anzahl der Stützen $n_{st}$	16,00		Stck.
Stützenabstand $a_{st}$	1,40		m
<b>Überprüfung des Anwendungsbereiches gem. DIN 1055-6: 2005-03 und Bestimmung des Silotyps</b>			
$h_b/d_c$	1,39	< 10	---> zulässig
$h_b$	9,93	< 100	---> zulässig
$d_c$	7,14	< 60	---> zulässig
$d_c/t$	1785,63	> 200	---> dünnwandiger Silo
$h_c/d_c$	1,39	1,0 < $h_c/d_c$ < 2,0	---> Silo mit mittlerer Schlankheit
Klassifikation der Bemessungssituation			Anforderungsklasse 2

## **2. Stützenlasten aus Schüttgut und Eigengewicht ohne Dachlasten**

## 2.1. Lasten aus Schüttgut und Eigengewicht ohne Dachlasten und Redlerlast

\* maßg. Pwe,u (vgl. Schüttglasten)

Stützenabstand:  $a_{st} = 1,40 \text{ m}$

Abwickelte Höhe des Ringes:  $L_r = 0,905$  m

Wichte der Silowände und Stützen:  $\gamma = 78,5$  kN/m<sup>3</sup>

Erhöhungsfaktor für Schrauben:  $f_s = 1,20$  [-]

$$E_{gM} = f_S \times a_{st} \times t \times L_r \times \gamma$$

$$E_{GS} = A_g \times \gamma \times h_{ring} \quad \text{mit } A_G = \text{Gesamtquerschnittsfläche Wandstütze}$$

$$F_{gs} = G_A/x + \sum E_{gs} \quad \text{mit } G_A/x = 0,00 \text{ kN (keine Redlerbrücke vorhanden)}$$

mit  $G_A$  (Auflagerkraft aus Redlerbrücke) **x=** 2 Stützen

Anlage 3.1 - 3

## 2.2. Lasten aus Schüttgut und Eigengewicht ohne Dachlasten mit Redlerlast

\* maßg. Pwe,u (vgl. Schüttglasten)

Stützenabstand:  $a_{st} = 1,40 \text{ m}$

Abwickelte Höhe des Ringes:  $L_r = 0,905$  m

Wichte der Silowände und Stützen:  $\gamma = 78,5$  kN/m<sup>3</sup>

Erhöhungsfaktor für Schrauben:  $f_s = 1,20$  [-]

$$E_{gM} = f_S \times a_{st} \times t \times L_r \times \gamma$$

$$E_{GS} = A_g \times \gamma \times h_{ring} \quad \text{mit } A_G = \text{Gesamtquerschnittsfläche Wandstütze}$$

$$F_{GS} = G_A/x + \sum E_{GS} \quad \text{mit } G_A/x = 6,11 \text{ kN (Redlerbrücke vorhanden)}$$

mit  $G_A$  (Auflagerkraft aus Redlerbrücke) **x=** 2 Stützen

Anlage 3.1 - 4

### **2.3. Lasten aus Schüttgut und Eigengewicht ohne Dachlasten ohne Redlerlast**

Anmerkung: Eigengewicht Stützen aus Bemessung mit Meßpendellast (vgl. Abs. 3.3)!

\* maßg. ast = (vgl. Schüttglasten)

Stützenabstand:  $a_{st} = 1,40 \text{ m}$

Abwickelte Höhe des Ringes:  $L_r = 0,905$  m

Wichte der Silowände und Stützen:  $\gamma = 78,5$  kN/m<sup>3</sup>

Erhöhungsfaktor für Schrauben:  $f_s = 1,20$  [-]

$$E_{qM} = f_S \times a_{st} \times t \times L_r \times \gamma$$

$$E_{qS} = A_q \times \gamma \times h_{ring} \quad \text{mit } A_G = \text{Gesamtquerschnittsfläche Wandstütze}$$

$$F_{qs} = G_A/x + \sum E_{qs} \quad \text{mit } G_A/x = 0.00 \text{ kN (keine Redlerbrücke vorhanden)}$$

mit  $G_A$  (Auflagerkraft aus Redlerbrücke)  $x = 0$  Stützen

**3. Lastfallkombinationen zum Nachweis der Wandstützen** Anlage 3.1 - 5

### 3.1 Lastfallkombinationen Stützen ohne Redlerlast und Meßpendel

Anmerkung: Lastfallkombinationen ohne mögliche erforderliche Zusatzstützen.

zu LF 2 siehe Abs. 7.

$F_L = 5,00 \text{ kN}$  - Last aus Leiter - pauschaler Zuschlag (incl. Verkehrslast)

Dachlasten:  $F_{gD1} = 2,15 \text{ kN}$  (ohne Meßpendel und Redler)

$F_{qDR} = 0,00 \text{ kN}$  (Keine Redlerbrücke vorhanden)

$F_{qDM} = 0,00 \text{ kN}$  (Keine Meßpendel vorhanden)

$F_{cD2} = \underline{\underline{2.15 \text{ kN (inkl. möglicher Meßpendel und Redler)}}$

$F_{c,p} = 2.51 \text{ kN}$  (Schnee)

$F_{wD,D1} \equiv 0.45 \text{ kN (Winddruck)}$

$E_{w,D,s} = -0.71 \text{ kN}$  (Windsoq)

$F_{U,D,BS}$  = 0.00 kN (Winddruck aus Redler bei Auflagerung am Dachfirst)

$E_{wD,D2\equiv}$  0.00 kN (Winddruck aus Redler Traufe)

vgl. dazu  
auch Ab  
2.1

| E 1: E1=1.35 x (E<sub>1</sub>+E<sub>2</sub>+E<sub>3</sub>+E<sub>4</sub>) + 1.5 x (P<sub>1</sub>+E<sub>5</sub>)

| E 2:  $F_2 = 1,00 \times \text{Eigengewicht} (\text{ohne Bedler u. Meßpendel}) + 1,5 \times \text{Windsgang}$

$$\text{LF 3: } F_2 = 1.35 \times (F_{\text{sg}} + F_{\text{cs}} + P_w + F_1 + F_{\text{sgD2}} + F_{\text{csD2}} + F_{\text{wpD1}} + F_{\text{wpD2}} + F_{\text{wpD3}})$$

### Bsp. Ring 1

$$\text{LF1: } 1,35 * (0,12 + 0,03 + 2,15 + 2,51) + 1,5 * (2,03 + 5) = 17,04$$

$$\text{LF3: } 1,35 * (0,12 + 0,03 + 2,03 + 5 + 2,15 + 2,51 + 0,45 + 0 + 0) = 16,58$$

Anlage 3.1 - 6

### 3.2 Lastfallkombinationen Stützen mit Redlerlast ohne Meßpendel

$F_L = 5,00 \text{ kN}$  - Last aus Leiter - pauschaler Zuschlag (incl. Verkehrslast)

Dachlasten:  $F_{gD1} = 2,15 \text{ kN}$  (ohne Meßpendel und Redler)

$F_{qDR} = 0,00 \text{ kN}$  (Redlerbrücke vorhanden: vgl. Abs. 2.2)

$F_{g,DM} = 0,00 \text{ kN}$  (Keine Meßpendel vorhanden)

$F_{cD2} = \underline{\underline{2.15 \text{ kN (inkl. möglicher Meßpendel und Redler)}}$

$F_{sD} = 2.51 \text{ kN}$  (Schnee)

$\bar{F}_{wD,D1} = 0.45 \text{ kN}$  (Winddruck)

$E_{wD} \approx -0.71$  kN (Windsoq)

$E_{WD,R3}$  = 0.00 kN (Winddruck)

$F_{WD,D3} = 15.15 \text{ kN}$  (Winddruck aus Bedler Traufe)

$$F_{E1-1} = 3.5 \times (F_{E1+} + F_{E1-} + F_{E1\perp}) + 1.5 \times (F_{E2+} + F_{E2\perp})$$

vgl. dazu auch Abs. 2.2	$\text{LF 1: } F_1 = 1,35 \times (F_{\text{gm}} + F_{\text{gs}} + F_{\text{gd2}} + F_{\text{sd}}) + 1,5 \times (P_w + F_L)$ $\text{LF 2: } F_2 = 1,00 \times \text{Eigengewicht (ohne Redler u. Meßpendel)} + 1,5 \times \text{Windsg} \quad$ $\text{LF 3: } F_3 = 1,35 \times (F_{\text{gm}} + F_{\text{gs}} + P_w + F_L + F_{\text{gd2}} + F_{\text{sd}} + F_{\text{wd d1}} + F_{\text{wd d2}} + F_{\text{wd d3}})$
-------------------------------	---

Bsp. Ring 1 LF1:  $1,35 * (0,12 + 6,15 + 2,15 + 2,51) + 1,5 * (2,03 + 5) = 25,29$

$$LF3: 1,35*(0,12+6,15+2,03+5+2,15+2,51+0,45+0+15,15)=45,28$$

Anlage 3.1 - 7

### 3.3 Lastfallkombinationen Stützen ohne Redlerlast mit Meßpendel

$$F_L = \quad 5,00 \quad \text{kN - Last aus Leiter - pauschaler Zuschlag (incl. Verkehrslast)}$$

Dachlasten:  $F_{gD1} = 3,02 \text{ kN}$  (ohne Meßpendel und Redler)

$F_{gDR} = 0,00 \text{ kN}$  (Keine Redlerbrücke vorhanden)

$F_{gDM} =$  2,96 kN (Meßpendel vorhanden)

$F_{cD2} = \underline{\underline{5.98}}$  kN (inkl. möglicher Meßpfeil)

$$F_{\text{SD}} = 2.51 \text{ kN} (\text{Schnee})$$

$\bar{F}_{wD,D1} = 0.45 \text{ kN}$  (Winddruck)

-0.71 kN (Windsong)

0,00 kN (Winddruck)

E<sub>z,Rd</sub>= 0,00 kN (Winddruck aus Redler bei Auflagerung am Dachfirst)

**F1 = 1,35 x (F<sub>z</sub> + F<sub>x</sub> + F<sub>y</sub> + F<sub>g</sub>) + 1,5 x (P<sub>z</sub> + F<sub>x</sub>)**

vgl. dazu auch Abs. 2.3	$\text{LF 1: } F_1 = 1,35 \times (F_{gM} + F_{gs} + F_{gD2} + F_{sD}) + 1,5 \times (P_w + F_L)$ $\text{LF 2: } F_2 = 1,00 \times \text{Eigengewicht (ohne Redler u. Meßpendel)} + 1,5 \times \text{Windsog}$ $\text{LF 3: } F_2 = 1,35 \times (F_{gM} + F_{gs} + P_w + F_L + F_{gD2} + F_{sD} + F_{WD\ D1} + F_{WD\ D2} + F_{WD\ D3})$
-------------------------------	--

Bsp. Ring 1 LF1:  $1,35 * (0,12 + 0,03 + 5,98 + 2,51) + 1,5 * (2,03 + 5) = 22,21$

$$LF3: \quad 1.35*(0.12+0.03+2.03+5+5.98+2.51+0.45+0+0)=21.76$$

#### **4. Wahl und Nachweis der Mantelbleche**

#### Mantelblechdicken für den Silotyp

NL

8

1

11

vorhandene Zugringkräfte  $Z_r$  aus Füllgut

### **Schüttgut:**

Weizen

mit  $Z_r = p_{he} \times r \times h_{ring}$

$p_{he}$  vgl. Schüttgutlasten.

r: Siloradius, h<sub>ring</sub>: Ringhöhe

### Traqfähigkeit der Horizontalstöße

Die horizontal liegenden Stöße übernehmen keine tragenden Funktionen. Horizontaler Schraubenabstand: konstruktiv gewählt  $a = 117 \text{ mm}$ .

#### 4.1 Nachweis der Wandstützen ohne Redler und Meßpendel

Anmerkung:	erforderlicher Stützenabstand ab UK	0	Ring	$\sigma_D =$	35,0 kN/cm <sup>2</sup>	$\eta_1 = F_{vorh,d,1} / F_{zul}$
<b>UK: Unterkante</b>		ast= -	m	mit	$\sigma_D = 35 / 1,1$	$\eta_2 = F_{vorh,d,2} / F_{zul}$
Stützenabstand Hauptstützen	ast=	<b>1,40 m</b>				$\eta_3 = F_{vorh,d,2} / F_{zul}$

#### 4.2 Nachweis der Wandstützen mit Redler ohne Meßpendel

Anlage 3.1 - 10

Anmerkung:	erforderlicher Stützenabstand ab UK	<b>0</b>	Ring	$\sigma_D =$	35,0 kN/cm <sup>2</sup>	$\eta \ 1 = F_{vorh,d} / F_{zul}$
<b>UK: Unterkante</b>		ast= -	m	mit	$\sigma_D = 35 / 1,1$	$\eta \ 2 = F_{vorh,d} / F_{zul}$
Stützenabstand Hauptstützen		ast= <b>1,40</b>	m			$\eta \ 3 = F_{vorh,d} / F_{zul}$

#### 4.3 Nachweis der Wandstützen ohne Redler mit Meßpendel

Anlage 3.1 - 11

Anmerkung: erforderlicher Stützenabstand ab UK 0 Ring

$$\sigma_D = 35,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\eta_1 = F_{\text{youth,1}} / F_{\text{zu}}$$

## **UK: Unterkante**

ast= - m

$\sigma_D = 35 / 1,1$

$$\eta_2 = F_{verb,d2}/F_{zul}$$

Str

Stützenabstand Hauptstützen ast- 140 m

1

$$\eta_3 = E_{\text{loss}}/E$$

Anlage 3.1 - 12

## **5. Nachweis der Tragfähigkeit des Anschlusses Stützen-Mantelplatte**

Schrauben M 10 der Festigkeitsklasse 8.8

Beispielrechnung für Ring 2

$$A_{sp} = 0,58 \text{ cm}^4$$

$$f = \boxed{1}$$

$$nL = 8$$

$$f_{u,b,k} = 80,00 \text{ kN/cm}^2$$

$$\alpha_a = \quad \quad \quad 0,6$$

$\gamma_M =$  1,25

$$F_L = n_l \times t \times d_{sch} \times 1,5 \times zul.\sigma_l = 42,12 \text{ kN} \quad \eta = \Delta F/F_L = 0,19$$

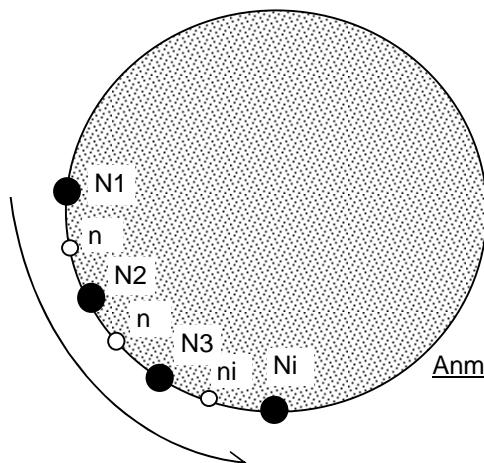
$$F_A = n_i \times A_{sp} \times \alpha_a \times f_{u,h,k} / \gamma_M = 178,18 \text{ kN} \quad \eta = \Delta F / F_A = 0,05$$

Nachweis der Tragfähigkeit des Anschlusses Hauptstützen-Mantelplatte

Lastdifferenzen  $\Delta F_{\text{vorhd}}$  mit Berücksichtigung lastreduzierender Zusatzstützen.

Zulässige Abscherspannung  $\tau_a$  - s. DIN 18 914, Abs: 6.1.1.3 - Tabelle 2 für den Lastfall H

Zulässige Abscherkraft nach DIN 18800-1 Abs. 8.2.1.2

**6. Fundamentlasten****Silotyp****NL****8****/****11**

- pvf [kN/m<sup>2</sup>]
- Hauptstützen
- Nebenstützen

Anmerkungen:

Nebenstützen entfallen!  
Hauptstützenabstand: 1,40 m

maximale Belastung Hauptstützen (vgl. Abbildung und Lastzusammenstellung):

Stütze Ni	Eigengewicht	Schüttgut: Weizen	
	NgD mit Redler	Schüttgut N <sub>s</sub>	pvf
	[kN]	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]
N1 bis Ni	17,23	121,39	46,56

Gesamtanzahl Hauptstützen  
(durchgehende Stützen) N= 16,00 Stck.

Belastung Nebenstützen (vgl. Abbildung):

	Eigengewicht Silo N <sub>g</sub>	Schüttgut N <sub>s</sub>	Gesamtanzahl Nebenstützen n= 0,00 Stck. (nicht durchgehende Stützen)
	[kN]	[kN]	
ohne Zusatzlast	n <sub>i1</sub> 0,00	0,00	
mit Redler	n <sub>i2</sub> 0,00	0,00	
mit Meßpendel	n <sub>i3</sub> 0,00	0,00	

Lastzusammenstellung Eigengewicht Hauptstützen:

	N <sub>gD</sub> ohne Zusatzzlasten	N <sub>gD</sub> mit Redler	N <sub>gD</sub> mit Meßpendel	
Eigengewicht	3,59	3,61	4,47	kN
Leiter	5,00	5,00	5,00	kN (pauschaler Zuschlag)
Schnee	2,51	2,51	2,51	kN
Meßpendel	0,00	0,00	2,96	kN
Redlerbrücke	0,00	6,11	0,00	kN
$\Sigma$	11,10	17,23	14,94	kN
Schüttgut N <sub>s</sub>	121,39	121,39	121,39	kN

Maximale Vertikallast (Zug/Druck) aus Wind am leeren Silo:

Anlage 3.1 - 14

	<u>ohne Redler</u>	<u>mit Redler</u>
$a_{st} =$	1,40	1,40 m
$W' =$	40,16	40,16 m <sup>2</sup>
$\Sigma M_1 =$	261,39	429,63 kNm
$\pm \Delta Qv = \Sigma M_1 / W' \times a_{st} =$	9,14	15,02 kN (Zuglast)
$F_{WD\ S} = V_{WD} \times U / n_{st} =$	0,71	kN Zuglast aus Windsog Dach
$F_{zug, k} = -9,14 - 0,71 =$	<b>-9,85</b>	kN (max. Zuglast) am Stützenfuß Silo <u>ohne Redler</u>
$F_{zug, k} = -15,02 - 0,71 =$	<b>-15,73</b>	kN (max. Zuglast) am Stützenfuß Silo <u>mit Redler</u>

Maximale Horizontallast aus Wind am leeren Silo:

$$F_H = 47,55 \quad \text{kN (Silo ohne Redler)}$$

$$F_H = 61,17 \quad \text{kN (Silo mit Redler)}$$

Verteilung der H-Last auf die einzelnen Stützen:

Hauptstützen + Nebenstützen:  $N+n=$  16,00 Stck.

Horizontalbelastung je Stütze  $F_H^* = F_H / (N+n) =$  **2,97** kN (Silo ohne Redler)

Horizontalbelastung je Stütze  $F_H^* = F_H / (N+n) =$  **3,82** kN (Silo mit Redler)

Berechnung der Bodenlast aus Schüttgut:

$$P_{wf} = 106,89 \quad \text{kN (Fülllast Hauptstützen)}$$

$$pvf = (\gamma \times V - n_{st} \times P_{wf}) / (\pi \times r^2) = 46,56 \quad \text{kN/m}^2$$

Wichte  $\gamma =$  9,00 [kN/m<sup>3</sup>]

Anzahl Hauptstützen  $n_{st} =$  16,00 Stck.

Anzahl Nebenstützen  $n_{st} =$  0 Stck.

Gesamtanzahl Stützen  $n_{st} =$  16,00 Stck.

Volumen Gesamtsilo  $V =$  397,79 m<sup>3</sup>

Radius Silo  $r =$  3,58 m

## 7. Stützenverankerung am leeren Silo

maßgebende Verankerungslasten je Stütze Silo ohne Redler (Eigengewicht Hauptstützen ohne Mannlast):

$$F_{zug,d} = 3,59 - 1,41 + 1,5 \times (-9,85) = -12,60 \quad \text{kN (Hauptstützen)}$$

$$F_{zug,d} = \text{----} \quad \text{----} \quad \text{kN (Nebenstützen)}$$

$$F_{H,d}^* = 1,5 \times 2,97 = 4,46 \quad \text{kN (Haupt- und Nebenstützen)}$$

maßgebende Verankerungslasten je Stütze Silo mit Redler (Eigengewicht Hauptstützen ohne Mannlast):

$$F_{zug,d} = 3,61 - 1,41 + 1,5 \times (-15,73) = -21,40 \quad \text{kN (Hauptstützen)}$$

$$F_{zug,d} = \text{----} \quad \text{----} \quad \text{kN (Nebenstützen)}$$

$$F_{H,d}^* = 1,5 \times 3,82 = 5,73 \quad \text{kN (Haupt- und Nebenstützen)}$$

### Nachweis der Stützenstöße für Windzugkräfte

maßg. Tragfähigkeit aus Lochleibung	FL=	113,40	kN	mit Redler
maßg. Tragfähigkeit aus Lochleibung	FL=	113,40	kN	ohne Redler
	<b>η=</b>	<b>-21,4/113,4 =</b>	<b>0,19</b>	mit Redler
	<b>η=</b>	<b>-12,6/113,4 =</b>	<b>0,11</b>	ohne Redler