

**1. Siloparameter**

NL		8	/	11
<b>Schüttgutkennwerte:</b>		<b>Weizen</b>		
Wichte $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	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		m <sup>2</sup>
Silovolumen V		397,79		m <sup>3</sup>
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

[illegible]

\* maßg.  $P_{we,u}$  (vgl. Schüttglasten)

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

Abwickelte Höhe des Ringes:  $L_r = 0,905 \text{ m}$

Wichte der Silowände und Stützen:  $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

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

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

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

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

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

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

[illegible]

\* maßg. Pwe,u (vgl. Schüttglasten)

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

Abwickelte Höhe des Ringes:  $L_r = 0,905 \text{ m}$

Wichte der Silowände und Stützen:  $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

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

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

$E_{gS} = A_g \times \gamma \times h_{ring}$  mit  $A_g$  = Gesamtquerschnittsfläche Wandstütze

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

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

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

[illegible]

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:  $L_r = 0,905 \text{ m}$

Wichte der Silowände und Stützen:  $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$

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

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

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

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

mit  $G_A$  (Auflagerkraft aus Redlerbrücke)  $x = 0$  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	kN - Last aus Leiter - pauschaler Zuschlag (incl. Verkehrslast)
---------	------	---

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

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

$F_{gDM} =$  0,00 kN (Keine Meßpendel vorhanden)

$F_{gD2} =$  2,15 kN (inkl. möglicher Meßpendel und Redler)

$$F_{SD} = 2,51 \text{ kN (Schnee)}$$
$$F_{wD D1} = 0,45 \text{ kN (Winddruck)}$$
$$F_{WD S} = -0,71 \text{ kN (Windsog)}$$

$F_{WD\ D2} = 0,00 \text{ kN}$  (Winddruck aus Redler bei Auflagerung am Dachfirst)

$$F_{WD\ D3} = 0,00 \text{ kN (Winddruck aus Redler Traufe)}$$

vgl. dazu auch Abs. 2.1	$\text{LF 1: } F_1 = 1,35 \times (F_{gM} + F_{gs} + F_{gD2} + F_{sd}) + 1,5 \times (P_w + F_L)$ $\text{LF 2: } F_2 = 1,00 \times \text{Eigengewicht (ohne Redler u. Meßpendel)} + 1,5 \times \text{Windsog}$ $\text{LF 3: } F_2 = 1,35 \times (F_{gM} + F_{gs} + P_w + F_L + F_{gD2} + F_{sd} + F_{wD D1} + F_{wD D2} + F_{wD D3})$
-------------------------------	---

[illegible]

<u>Bsp. Ring 1</u>	LF1:	$1,35 \cdot (0,12 + 0,03 + 2,15 + 2,51) + 1,5 \cdot (2,03 + 5) = 17,04$
	LF3:	$1,35 \cdot (0,12 + 0,03 + 2,03 + 5 + 2,15 + 2,51 + 0,45 + 0 + 0) = 16,58$

Dachlasten:	$F_{gD1} =$	2,15 kN (ohne Meßpendel und Redler)
	$F_{gDR} =$	0,00 kN (Redlerbrücke vorhanden: vgl. Abs. 2.2)
	$F_{gDM} =$	0,00 kN (Keine Meßpendel vorhanden)
	$F_{gD2} =$	<b>2,15 kN</b> (inkl. möglicher Meßpendel und Redler)
	$F_{sD} =$	2,51 kN (Schnee)
	$F_{wD D1} =$	0,45 kN (Winddruck)
	$F_{wD S} =$	-0,71 kN (Windsog)
	$F_{wD D2} =$	0,00 kN (Winddruck aus Redler bei Auflagerung am Dachfirst)
	$F_{wD D3} =$	15,15 kN (Winddruck aus Redler Traufe)

vgl. dazu auch Abs. 2.2	$\text{LF 1: } F_1 = 1,35 \times (F_{gM} + F_{gs} + F_{gD2} + F_{sd}) + 1,5 \times (P_w + F_L)$ $\text{LF 2: } F_2 = 1,00 \times \text{Eigengewicht (ohne Redler u. Meßpendel)} + 1,5 \times \text{Windsog}$ $\text{LF 3: } F_2 = 1,35 \times (F_{gM} + F_{gs} + P_w + F_L + F_{gD2} + F_{sd} + F_{wD1} + F_{wD2} + F_{wD3})$
-------------------------------	---

[illegible]

Version 1.19.xls

### 3.3 Lastfallkombinationen Stützen ohne Redlerlast mit Meßpendel

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

Dachlasten:	$F_{gD1} =$	3,02 kN (ohne Meßpendel und Redler)
	$F_{gDR} =$	0,00 kN (Keine Redlerbrücke vorhanden)
	$F_{gDM} =$	2,96 kN (Meßpendel vorhanden)
	$F_{gD2} =$	<b>5,98</b> kN (inkl. möglicher Meßpendel und Redler)
	$F_{sD} =$	2,51 kN (Schnee)
	$F_{wD D1} =$	0,45 kN (Winddruck)
	$F_{wD S} =$	-0,71 kN (Windsog)
	$F_{wD D2} =$	0,00 kN (Winddruck aus Redler bei Auflagerung am Dachfirst)
	$F_{wD D3} =$	0,00 kN (Winddruck aus Redler Traufe)

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

[illegible]

Bsp. Ring 1	LF1:	$1,35 \cdot (0,12 + 0,03 + 5,98 + 2,51) + 1,5 \cdot (2,03 + 5) = 22,21$
	LF3:	$1,35 \cdot (0,12 + 0,03 + 2,03 + 5 + 5,98 + 2,51 + 0,45 + 0 + 0) = 21,76$

#### 4. Wahl und Nachweis der Mantelbleche

### Mantelblechdicken für den Silotyp

NL	8	/	11
----	---	---	----

vorhandene Zugringkräfte  $Z_r$  aus Füllgut

**Schüttgut:**

## Weizen

[illegible]

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

$p_{he}$  vgl. Schüttgutlasten.

$r$ : Siloradius,  $h_{\text{ring}}$ : Ringhöhe

### Tragfähigkeit 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

[illegible]

## Anlage 3.1 - 10

Nachweis Stützenquerschnitte	Silotyp	NL	8	/	11	Schüttgut	Weizen
------------------------------	---------	----	---	---	----	-----------	--------

[illegible]

Anmerkung:	erforderlicher Stützenabstand ab UK	0	Ring	$\sigma_D =$	35,0 kN/cm2	$\eta_1 = F_{vorh,d 1} / F_{zul}$
UK: Unterkante	ast=	-	m	mit	$\sigma_D = 35 / 1,1$	$\eta_2 = F_{vorh,d 2} / F_{zul}$
Stützenabstand Hauptstützen	ast=	1,40	m			$\eta_3 = F_{vorh,d 2} / F_{zul}$

## Anlage 3.1 - 11

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

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

Schrauben M 10 der Festigkeitsklasse 8.8

Beispielrechnung für Ring 2

Anzahl der Schraubenreihen

Gesamte Anzahl der Schrauben

t= 0,075 cm

 $d_{sch} = 1,00 \text{ cm}$ 
$$\text{zul } \sigma_I = 52 \text{ kN/cm}^2$$

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

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

$$A_{sp} = 0,58 \text{ cm}^2$$

$$f = 1$$

$$n_L = 8$$

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

$$\alpha_a = 0,6$$

$\gamma_M = 1,25$

### Nachweis der Tragfähigkeit des Anschlusses Hauptstützen-Mantelplatte

[illegible]

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

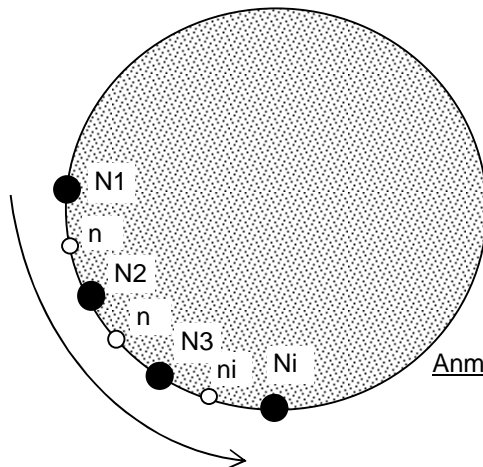
Zulässige Abscherspannung  $\tau_a$  - s. DIN 18 914, Abs: 6.1.1.3 - Tabelle 2 für den Lastfall H

Zulässige Abscherkraft nach DIN 18800-1 Abs. 8.2.1.2

## 6. Fundamentlasten

## Silotyp

NL	8	/	11
----	---	---	----



pvf [kN/m²]



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/m²]
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>
	[kN]	[kN]
ohne Zusatzlast	ni <sub>1</sub>	0,00
mit Redler	ni <sub>2</sub>	0,00
mit Meßpendel	ni <sub>3</sub>	0,00

Gesamtanzahl Nebenstützen

n=

0,00

Stck.

(nicht durchgehende Stützen)

ohne Zusatzlast

mit Redler

mit Meßpendel

Lastzusammenstellung Eigengewicht Hauptstützen:

	N <sub>gD</sub> ohne Zusatzlasten	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
<b>Σ</b>	<b>11,10</b>	<b>17,23</b>	<b>14,94</b>	<b>kN</b>
<b>Schüttgut N<sub>s</sub></b>	<b>121,39</b>	<b>121,39</b>	<b>121,39</b>	<b>kN</b>

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>
$\Sigma M1 =$	261,39	429,63 kNm
$\pm \Delta Q_v = \Sigma M1 / W' \times a_{st} =$	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</u> Redler
$F_{zug, k} = -15,02 - 0,71 =$	<b>-15,73</b>	kN (max. Zuglast) am Stützenfuß Silo <u>mit</u> Redler

Maximale Horizontallast aus Wind am leeren Silo:

$F_H =$	47,55	kN (Silo ohne Redler)
$F_H =$	61,17	kN (Silo mit Redler)

Verteilung der H-Last auf die einzelnen Stützen:

Hauptstützen + Nebenstützen: $N+n =$	16,00 Stck.
Horizontalbelastung je Stütze $F_H^* = F_H / (N+n) =$	<b>2,97</b> kN (Silo ohne Redler)
Horizontalbelastung je Stütze $F_H^* = F_H / (N+n) =$	<b>3,82</b> kN (Silo mit Redler)

Berechnung der Bodenlast aus Schüttgut:

$P_{wf} =$	106,89	kN (Füllast Hauptstützen)
$p_{vf} = (\gamma \times V_{n_{st}} \times P_{wf}) / (\pi \times r^2) =$	46,56	kN/m <sup>2</sup>

Wichte $\gamma =$	9,00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Anzahl Hauptstützen $n_{st} =$	16,00 Stck.
Anzahl Nebenstützen $n_{st} =$	0 Stck.
<b>Gesamtanzahl Stützen <math>n_{st} =</math></b>	<b>16,00 Stck.</b>
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	kN (Hauptstützen)
$F_{zug,d} =$	----	----	kN (Nebenstützen)
$F_{H,d}^* =$	$1,5 \times 2,97 =$	4,46	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	kN (Hauptstützen)
$F_{zug,d} =$	----	----	kN (Nebenstützen)
$F_{H,d}^* =$	$1,5 \times 3,82 =$	5,73	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
$\eta =$	$-21,4 / 113,4 =$	<b>0,19</b>		mit Redler
$\eta =$	$-12,6 / 113,4 =$	<b>0,11</b>		ohne Redler