



Buchentorstraße 11
D - 49536 Lienen - Kattenvenne
Telefon: 0 54 84 / 93 93 - 0
Telefax: 0 54 84 / 93 93 93

Technische Dokumentation

Statische Berechnung

Stahlblechrundsilo mit Profilstahlunterstützung

Projekt	Siloaufstellung	1996	Datum	Name	Seite 1
Kunde	Großtagebau Kamsdorf	erstellt	04.12.	J. Weiß	von 1
Kom.-Nr.:	96 / 3731	geprüft	04.12.	J. Weiß	963731AD.DOC

Inhalt

1) Allgemeines	Seite	3
2) Eingabedaten	Seite	4
3) Zwischenwerte	Seite	8
4) Fundamentlasten	Seite	10
5) Verankerung	Seite	12
6) Silolasten	Seite	13
7) Berechnung des Zylinders	Seite	14
8) Berechnung des Trichters	Seite	18
9) Bandage (Übergang Trichter - Zylinder)	Seite	20
10) Pratzten	Seite	21
11) Silorandstützen	Seite	22
12) Berechnung der Trennwände	Seite	entfällt
13) Siloaufbau	Seite	entfällt
14) Silodach	Seite	25
15) Bühne in der Unterstüttzung	Seite	entfällt
16) Unterstüttzung	Seite	57
17) Verkleidung der Unterstüttzung	Seite	entfällt

1) Allgemeines

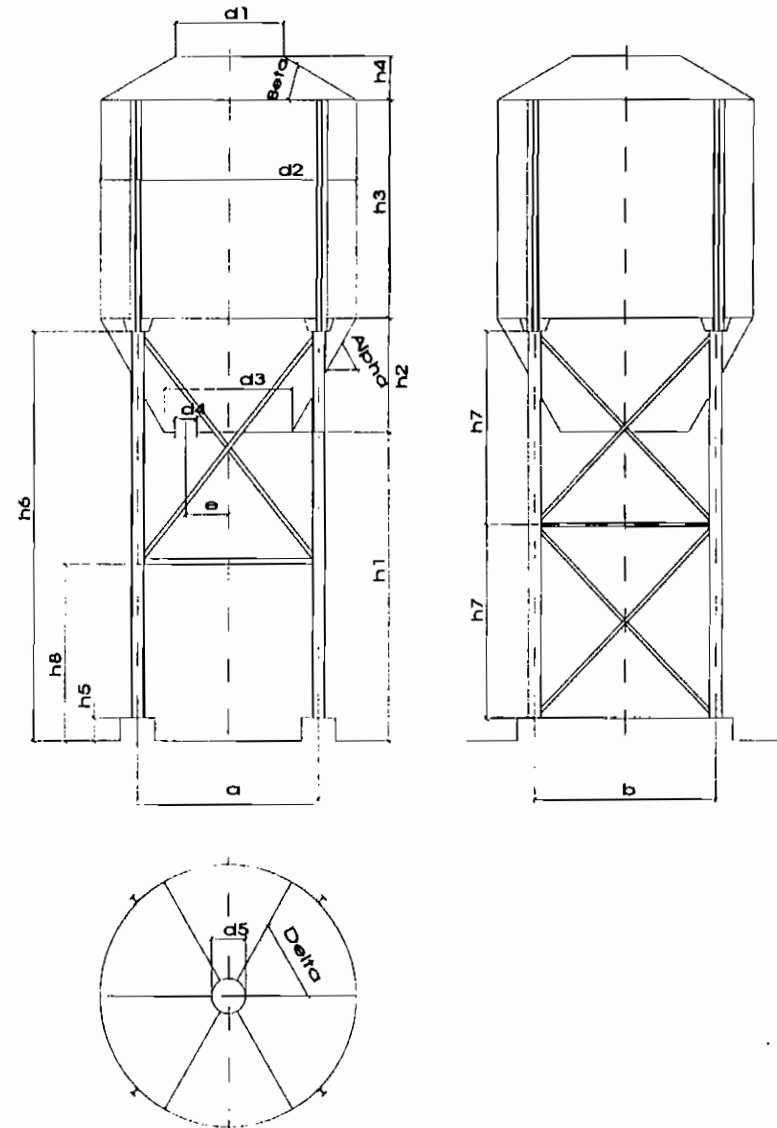
Vorgaben	Zeichnung Nr. 005 393-10 Silo-Thorwesten
Berechnungsgrundlagen	DIN 1050 , 1055 , 4114 , 18800 , EN 10025
Literatur	Lindner, Scheer, Schmidt - Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4 Hünensen, Fritzsche - Stahlbau in Beispielen Martens - Silohandbuch DAS/DSTV - Typisierte Verbindungen
Werkstoff	wenn nicht anders vermerkt: Profile und Bleche : S235JRG2 DIN EN 10025 Schrauben : Güte 4.6 DIN 7990
Aufstellungsort	im Freien, Windbelastung nach DIN
Bemerkungen	Anpralllasten werden nicht berücksichtigt, bauseits sind geeignete Maßnahmen zu treffen. Seitlich am Silo stehende Bauteile können nur in Höhe des Dacheckringes und der Trichterbandage abgestützt werden. Geschlossene Silos ohne Berücksichtigung eines Unterdruckes müssen eine Belüftung erhalten. Das Siloeigengewicht wird ermittelt: Mantelfläche x Durchmesser/1000 x 8 m ² x mm x kg/m ² /mm Das Gerüstgewicht wird ermittelt: (Omega x Gamma / Sigma = ea. 0,0017) (V-Last/Stützenszahl+Wind über Eck) x Stützenszahl x 0,0017 Für Wind auf Gerüst wird eine Angriffsbreite von 1/20 x Silodurchmesser x Stützenszahl bei angegebenem Windbeiwert gerechnet. Als Stabilisierungslast wird ein angegebener %- Anteil der V-Last in Schwerpunktshöhe angreifend angenommen. Die errechneten Wandstärken beinhalten keine Verschleißangabe.

2) Eingabedaten

a. Abmessungen

Plateaudurchmesser	d1	5730 mm
Silodurchmesser:	d2	5730 mm
Trichterbodendurchmesser:	d3	400 mm
Auslaufdurchmesser:	d4	400 mm
Außermittigkeit des Auslaufs	e	0 mm
Achsabstand A-B (Durchfahrt)	a	4050 mm
Achsabstand 1 - 2	b	4050 mm
Auslaufhöhe ab ±0	h1	5250 mm
Trichterhöhe	h2	4616 mm
Zylinder-/Kubushöhe	h3	2000 mm
Dachhöhe	h4	0 mm
Unterkante Stütze ab ± 0	h5	500 mm
Pratzenhöhe ab ± 0	h6	9482 mm
maximale y-Knicklänge	h7	4500 mm
untere Stiellänge	h8	3700 mm
Trichtermeigung	Alpha	60 °
Dachneigung	Beta	0 °
Zellenwinkel	Delta	360 °
Pratzenanzahl	n1	4
Stützenanzahl	n2	4

Silo mit Randstützen



Das Systembild dient nur als Datenerklärung.

Für den einzelnen Auftrag können Komponenten hinzugefügt oder entfernt worden sein.

b. Belastungen

Füllgut:	Filterstaub
Förderart:	geblasen
Füllguteigenschaften:	anorganisch, körnig, ohne Brückenbildung
Stabilisierung:	1,0 % V-Last
Schüttgewicht:	14,0 kN/m ³
max. Schüttwinkel:	27,0 °
Dachverkehrslast:	2,50 kN/m ²
c-Dach	0,70
c-Zylinder	1,30
c-Trichter	1,30
c-Unterstützung	1,60

V-Lasten auf Silo:

Nr.	EG	WL	e → x	e → y	(kN,mm)
1	59,00	20,00	-925	0	Filter
2	26,00	52,00	1646	-800	Ventilator
3	17,00	0,00	856	-800	Kamin
4	9,70	0,00	1646	-2300	Reingasrohr
5	8,00	8,00	3180	0	Ventilatorantrieb
6	5,00	5,00	1646	485	Antriebswelle Ventilator
7	0,00	0,00	0	0	
8	0,00	0,00	0	0	
9	0,00	0,00	0	0	
10	0,00	0,00	0	0	

V-Lasten am Gerüst:

Nr.	EG	WL	e → x	e → y	(kN,mm)
1	0,00	0,00	0	0	
2	0,00	0,00	0	0	
3	0,00	0,00	0	0	
4	0,00	0,00	0	0	
5	0,00	0,00	0	0	
6	0,00	0,00	0	0	
7	0,00	0,00	0	0	
8	0,00	0,00	0	0	
9	0,00	0,00	0	0	
10	0,00	0,00	0	0	

H-Lasten am Silo und Gerüst:

Nr.	H x	H y	Höhe	e → x	e → y	Wechsel 0/1(kN,mm)
1	37,44	20,80	15115	-925	0	1 Filter
2	0,00	8,00	13115	1646	-800	1 Ventilator
3	9,29	9,29	17949	856	-800	1 Kamin
4	0,00	0,00	0	0	0	1
5	0,00	0,00	0	0	0	1
6	0,00	0,00	0	0	0	1
7	0,00	0,00	0	0	0	1
8	0,00	0,00	0	0	0	1
9	0,00	0,00	0	0	0	1
10	0,00	0,00	0	0	0	1

Wechsel = 1: H-Lasten aus Wind ± wirkend

Wechsel = 0: richtungsgebundene H-Lasten

Windlasten:

Nr.	Staudruck [kN/m ²]	bis Höhe [m]
1	0,50	8
2	0,80	20
3	1,10	100
4	1,30	200

3) Zwischenwerte

Siloinhalt und -gewicht

Nr.	Volumen [m³]	Gewicht [kN]	Schwerpunkt [mm]
1 Kegel	0,0	0,0	12231
2 Zylinder	51,6	722,0	10866
3 Trichter	42,6	597,0	8627
4 Summe	94,2	1319,0	9852

Siloeigengewicht:

Nr.	Mantelfl. [m²]	Gewicht [kN]
1 Dach	25,79	11,82
2 Zylinder	36,00	16,50
3 Trichter	51,32	23,53
4 Summe	113,11	51,85

Schwerpunkthöhe der Silolast über ± 0: 9852 mm
 Füllgut-Streichmaß über/unter (±) Silorand: 0 mm
 Gerüstgewicht: 32,1 kN
 Dachverkehrslast ohne Schnee: 64,5 kN

Wind auf Silo: (Momente bezogen auf ±0)

	***** in x-Richtung *****				***** in y-Richtung *****			
	Fläche [m²]	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Höhe [m]	Fläche [m²]	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Höhe [m]
Dach	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00
Zylinder	11,46	11,9	129,50	10,87	11,46	11,9	129,50	10,87
Trichter	14,15	12,6	106,14	8,44	14,15	12,6	106,14	8,44
Gerüst	10,73	9,6	53,67	5,58	10,73	9,6	53,67	5,58

Horizontallasten: (Momente bezogen auf ±0)

	***** in + x-Richtung *****			***** in + y-Richtung *****		
	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Mt-hor. Torsion [kNm]	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Mt-hor. Torsion [kNm]
Silorand	46,7	732,7	7,43	38,1	586,1	1,88
Pratzen	71,2	968,3	7,43	62,6	821,7	1,88
Stützen	80,8	1022,0	7,43	72,2	875,4	1,88

	***** in - x-Richtung *****			***** in - y-Richtung *****		
	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Mt-hor. Torsion [kNm]	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Mt-hor. Torsion [kNm]
Silorand	-46,7	-732,7	-7,43	-38,1	-586,1	-1,88
Pratzen	-71,2	-968,3	-7,43	-62,6	-821,7	-1,88
Stützen	-80,8	-1022,0	-7,43	-72,2	-875,4	-1,88

Stabi/Erdbeben

	***** in x-Richtung *****			***** in y-Richtung *****		
	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Mt-hor. Torsion [kNm]	H-Last [kN]	Moment [kNm]	Mt-hor. Torsion [kNm]
Silorand	2,7	32,53	1,53	2,7	32,53	-0,93
Pratzen	16,5	167,59	1,53	16,5	167,59	-0,93
Stützen	16,8	169,26	1,53	16,8	169,26	-0,93

Das Moment im Punkt i (Höhe hi) errechnet sich zu: $M_i = (M/H - h_i) * H$

Gesamtlast

in Höhe	Silorand V[kN]	Pratzen V[kN]	Pratzen Mx[kNm]	Pratzen My[kNm]	Stützen U.K. V[kN]	Stützen U.K. Mx[kNm]	Stützen U.K. My[kNm]
E-Gewich	124,7	176,6	54,29	52,41	208,7	54,29	52,41
Wechsel.	149,5	1468,5	39,18	100,76	1468,5	39,18	100,76

H-Lastresultierende aus +Hx h = 12,64 m
 H-Lastresultierende aus +Hy h = 12,12 m
 H-Lastresultierende aus -Hx h = 12,64 m
 H-Lastresultierende aus -Hy h = 12,12 m

4) Fundamentlasten

Die errechneten Fundamentlasten beinhalten 10% Sicherheitszuschlag (Stützenlast * 1,1)

Es sind jeweils die größeren Werte von stabilis. Last und Wind maßgebend und werden für die weitere Berechnung zusammen mit evtl. vorhandenen richtungsgebundenen H-Lasten berücksichtigt.

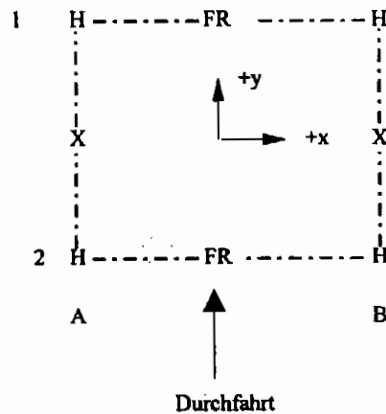
Erklärung der Abkürzungen:

FR = Fachwerkrahmen X = Diagonalkreuz
 R = Rahmen /D = Einzeldiagonale A bzw. 1 unten
 K = K-Verband D/ = Einzeldiagonale B bzw. 2 unten

H-Last = richtungsgebundene Horizontallast

Stabi. = Stabilisierungslast

Wind Eck und Stabi. Eck sind wechselnde Lasten (\pm)



Fundamentlasten:

Belastung in Höhe Unterkante Stütze (Aktionenkräfte) [kN]

	A 1			A 2		
	V	H x	H y	V	H x	H y
Eigengewicht	48,2	/.	/.	52,4	/.	/.
Verkehr	389,1	/.	/.	391,1	/.	/.
Wind über Eck	174,8	/.	/.	174,8	/.	/.
Stabi.Eck	30,9	/.	/.	30,9	/.	/.
Wind +x	-133,3	21,7	-1,0	-133,3	22,7	0,0
Wind -x	133,3	-21,7	0,0	133,3	-22,7	1,0
Wind +y	114,0	-0,1	0,0	-114,0	0,1	39,5
Wind -y	-114,0	0,1	-39,5	114,0	-0,1	0,0
Stabi.+x	-21,8	4,5	-0,2	-21,8	4,7	0,0
Stabi.-x	21,8	-4,5	0,0	21,8	-4,7	0,2
Stabi.+y	21,8	0,1	0,0	-21,8	-0,1	9,4
Stabi.-y	-21,8	-0,1	-9,4	21,8	0,1	0,0

	B 1			B 2		
	V	H x	H y	V	H x	H y
Eigengewicht	51,9	/.	/.	77,2	/.	/.
Verkehr	407,9	/.	/.	427,2	/.	/.
Wind über Eck	174,8	/.	/.	174,8	/.	/.
Stabi.Eck	30,9	/.	/.	30,9	/.	/.
Wind +x	133,3	21,7	0,0	133,3	22,7	1,0
Wind -x	-133,3	-21,7	-1,0	-133,3	-22,7	0,0
Wind +y	114,0	-0,1	0,0	-114,0	0,1	40,0
Wind -y	-114,0	0,1	-40,0	114,0	-0,1	0,0
Stabi.+x	21,8	4,5	0,0	21,8	4,7	0,2
Stabi.-x	-21,8	-4,5	-0,2	-21,8	-4,7	0,0
Stabi.+y	21,8	0,1	0,0	-21,8	-0,1	9,1
Stabi.-y	-21,8	-0,1	-9,1	21,8	0,1	0,0

5) Verankerung

Betonpressung	$\beta_R =$	1,75 kN/cm ²	$\gamma =$	1,3	DIN 1045
max. $N_d =$	744,9 kN	$1,35 \times G + 1,5 \times \max Q$	Betongüte B 25		
max. $N_d =$	916,9 kN	$1,35 \times G + 1,35 \times (Q + \max. \text{Wind})$			
min. $N_d =$	-214,1 kN	$1,0 \times G - 1,5 \times \max Z$			
max. $H_d =$	60,0 kN	$1,5 \times \max H$			

Überschlägig geschätztes Stützenprofil: **HEA 280**

Fußplatte: (nach typ. Verbindungen im Stahlbau, DSTV/DASi)

Auswahlliste für die Fußplatten **Überstände für Beton B 25**
Maße in mm

Dicke dp	Überstände		Rippenüberstand aR bei Rippendicke t=				
	aF	aS	10	12	15	20	25
20	56,9	33,0	43,8	52,5	65,7	87,5	109,4
25	71,1	41,1	54,7	65,6	82,0	109,4	136,7
30	85,4	49,5	65,7	78,8	98,5	131,4	164,2
40	113,9	66,1	87,6	105,1	131,4	175,2	219,0
50	142,4	82,6	109,5	131,4	164,3	219,1	273,8

Dicke dp	Fußplattegröße		Rippengröße			Druck- fläche A [cm ²]	Betonpressung	
	Länge lp	Breite bp	4 Rippen t	b	h		N_d/A	$\beta R/\gamma$
20	350	500	0	0	0	712	0,96	<1
25	350	500	0	0	0	787	0,87	<1
30	300	500	0	0	0	713	0,95	<1
40	300	500	0	0	0	817	0,83	<1
50	300	500	0	0	0	840	0,81	<1

Aussteifung der Fußplatte durch Verbreiterung der Stützenflansche

Auswahlliste für Zuganker

Festigkeit 4.6			Festigkeit 5.6			Festigkeit 8.8		
Stück	Anker	$N/N_{R,d}$	Stück	Anker	$N/N_{R,d}$	Stück	Anker	$N/N_{R,d}$
2	M 30	0,96	2	M 30	0,77	2	M 20	0,83
4	M 24	0,76	4	M 20	0,88	4	M 16	0,64

Schubknagge: HEA 100

Profillänge 100 mm

Betonpressung $\sigma =$

Spannung in Knagge $\sigma =$

50 mm im Beton

50 mm im Unterguß

12,49 N/mm²

167,77 N/mm²

$\sigma / \sigma_B =$ 0,93 <1

$\sigma / \sigma_{R,d} =$ 0,77 <1

6) Ermittlung der Silolasten nach DIN 1055 T6 Mai 87

Gerechnet wird auf einem IBM-AT-kompatiblen Rechner mit eigenen Programmen unter Verwendung der in der Norm/richtlinie aufgeführten Bezeichnungen und Formeln.

Silofüllung:	Filterstaub
Zylinderdurchmesser	d2 5730 mm
Auslaufdurchmesser	d4 400 mm
Trichterhöhe	h2 4616 mm
Schafthöhe (Zylinderhöhe)	h3 2000 mm
Überschütthöhe	h 0 mm
Zellenwinkel	Delta 360,0 °
Dichte	Gamma 14,0 kN/cbm
Horizontallastverhältnis	Lambda 0,7
Wandreibungsbeiwert	My 0,5
Entleerungslastfaktor	e_h 1,2
Schüttgutbeiwert	Beta g 0,5
Schüttwinkel	Rho 27,0 °
Außermittigkeit des Auslaufs	a 0 mm
Blechdicke	t 5,0 mm

Anstelle der Teilflächenlast wird nach Abschnitt 3.3.3.3 mit einer Erhöhung der gleichförmigen Horizontallast gerechnet

h [mm]	z(0)[mm]	A/U [mm]	h/d	r/t	a/r	2,5*My	5*My
6616	4407,7	1432,5	1,1546	573,00	0,0000	1,2500	2,5000
f(p _{we})	e_h	Beta h	Beta a	Beta r	Beta	Kappa	p _{wf} /Gamma [m]
1,0000	1,0000	1,0309	1,00	0,05	0,0258	1,0831	3,4252

Die Bedingungen für die Anwendbarkeit der Norm ist erfüllt!

Ergebnisse: Tiefe: ab oberem Silorand
Z: Schüttgutsäule mit eingebnetem Schüttkegel

Tiefe [m]	Z [m]	Phi	P _{wf} [kN/m]	P _{hr} [kN/m ²]	P _{vr} [kN/m ²]	P _{we} [kN/m]	P _{he} [kN/m ²]
0,00	0,000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20	0,200	0,0444	0,09	1,78	2,74	0,09	1,93
0,40	0,400	0,0868	0,35	3,48	5,35	0,35	3,77
0,60	0,600	0,1273	0,78	5,10	7,85	0,78	5,53
0,80	0,800	0,1660	1,37	6,66	10,24	1,37	7,21
1,00	1,000	0,2030	2,11	8,14	12,53	2,11	8,82
1,20	1,200	0,2383	3,00	9,56	14,71	3,00	10,35
1,40	1,400	0,2721	4,02	10,91	16,79	4,02	11,82
1,60	1,600	0,3044	5,18	12,21	18,78	5,18	13,22
1,80	1,800	0,3353	6,46	13,45	20,69	6,46	14,57
2,00	2,000	0,3648	7,87	14,63	22,51	7,87	15,85
6,62	6,616	0,7771	63,99	31,17	47,95	63,99	33,76

Ermittlung der Beanspruchbarkeiten

EK1

Tiefe	m	1,20	1,80	2,00
Blechdicke	mm	3	4	5
C_x		1,00	1,00	1,00
σ_{xSi}	N/mm ²	133,04	177,38	221,73
λ_{Sx}		1,34	1,16	1,04
κ_2		0,12	0,19	0,27
red κ_2		0,05	0,09	0,15
$q_{i,k}$	kN/m ²	3,18	4,48	4,87
$q_{i,d}$	kN/m ²	4,78	6,72	7,31
κ_{2q}		0,07	0,12	0,18
$\sigma_{xS,R,k}$	N/mm ²	16,86	28,97	42,75
γ_{M2}		1,32	1,28	1,26
$\sigma_{xS,R,d}$	N/mm ²	12,78	22,59	33,98

EK2

$q_{i,d}$	kN/m ²	4,30	6,05	6,58
κ_{2q}		0,07	0,12	0,18
$\sigma_{xS,R,k}$	N/mm ²	16,68	28,71	42,43
γ_{M2}		1,32	1,28	1,26
$\sigma_{xS,R,d}$	N/mm ²	12,65	22,39	33,73

C_1		1,00	1,01	1,01
τ_{Si}	N/mm ²	35,63	51,15	67,76
λ_{Si}		1,97	1,65	1,43
κ_1		0,17	0,24	0,32
$\tau_{S,R,k}$	N/mm ²	23,16	33,25	44,04
γ_{M1}		1,10	1,10	1,10
$\tau_{S,R,d}$	N/mm ²	21,06	30,23	40,04

Beulsicherheitsnachweise

EK1	$\sigma_x / \sigma_{xS,R,d}$	0,37	0,22	0,13
EK2	$\sigma_x / \sigma_{xS,R,d}$	0,99	0,49	0,28
EK2	$\tau / \tau_{S,R,d}$	0,00	0,00	0,00
Interaktion	$\sigma + \tau$	0,98	0,41	0,20

Ermittlung der erforderlichen Anzahl von Schrauben im Silozylinder

Berechnung nach DIN 18800 Teil 1 Ausgabe 11.90

Schrauben nach DIN 7990 GüT 4.6

Scherquerschnitt = Schaftquerschnitt

$f_{y,b,k}$	$f_{u,b,k}$	α_a	e_1	e_2	e_3	γ_M	γ_F
240	400	0,60	40	40	100	1,1	1,5

Vertikale Schraubenreihe n Schrauben/m

Lochleibung unter Berücksichtigung von Element 807

Tiefe [m]	PHE*D/2 [kN/m]	M 16		M 20		M 24	
		Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.
0,40	10,80	1	1	1	1	1	1
0,80	20,66	1	2	1	2	1	2
1,20	29,66	2	3	1	3	1	3
1,60	37,89	2	3	1	3	1	3
2,00	45,40	2	3	1	3	1	3

Horizontale Schraubenreihe n Schrauben/m

Lochleibung unter Berücksichtigung von Element 807

Tiefe [m]	max P aus K1 u. EK [kN/m]	M 16		M 20		M 24	
		Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.
0,40	31,50	2	3	1	3	1	3
0,80	34,06	2	3	1	3	1	3
1,20	37,48	2	4	1	4	1	4
1,60	41,75	2	3	1	3	1	3
2,00	46,78	2	3	2	3	1	3

7) Berechnung des Zylinders nach DIN 18800 Teil 4 Ausg. 11.90

Gerechnet wird auf einem IBM-AT-kompatiblen Rechner mit eigenen Programmen unter Verwendung der in der Norm aufgeführten Bezeichnungen und Formeln.

Eingabewerte:

Zylinderdurchmesser	d2	5730 mm
Schafhöhe (Zylinderhöhe)	h3	2000 mm
Silorandhöhe über +0	h0	11866 mm
Auflast Eigengewicht	G	124,7 kN
Auflast Verkehr + Schnee	P	149,5 kN
Horizontallast	H	46,7 kN
Höhe der H-Last über Silorand	h9	3812 mm
Windbeiwert	cf	1,30
Werkstoff:	St 37-2	f _{y,k} 240 N/mm ²

Es wird ein überlappt geschraubter Silozylinder mit abgestuften Blechstärken berechnet.

Gewünschte Mindestblechstärke min t 2 mm
Erfolgt kein Eintrag, wird mit min t = 5mm gerechnet.

Es sind nachfolgend aufgeführte Mindestblechstärken bei der angegebenen Höhe von Oberkante Zylinderrand gemessen einzusetzen.

Zylinderbereich		erforderliche Blechstärke [mm]
von [mm]	bis [mm]	
0	1200	3
1200	1800	4
1800	2000	5

Nachweis der Zylinderbleche in den angegebenen Höhen

Bemessungswerte:

Einwirkungskombination 1 (EK1): 1,35 * Eigengewicht + 1,5 * Füllung

Einwirkungskombination 2 (EK2): 1,35 * Eigengewicht + 1,5 * 0,9 * (Füllung + Aufbau + Schnee + Windlast)

Randbedingungen:

oberer Zylinderrand : RB2 Beiwert η 1

unterer Zylinderrand RB2

Voraussetzungen:

$$l/r = 0,70$$

Druckbeanspruchung in Axialrichtung	Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung	Schubbeanspruchung
$0,5 \cdot \sqrt{(r/t)}$ 18,92	$1,63 \cdot C_{\phi} \cdot \sqrt{(r/t)}$ = 61,69	$8,7 \cdot \sqrt{(r/t)}$ 329,28

Kein langer Kreiszyylinder

Kein langer Kreiszyylinder

Kein langer Kreiszyylinder

Tiefe: Tiefe ab oberen Silorand

G: Summe der Eigengewichte aus Aufbau und der Silozelle oberhalb des Schnittes.

P: Summe der Verkehrslasten aus Aufbau + Wind oberhalb des Schnittes

H: Summe der H-Lasten aus Aufbau + Wind auf Siloabschnitt

Nachweis bei Druckbeanspruchung in Axialrichtung und Schub Beanspruchungen und Maßgebende Membranspannungen

Tiefe m	Blechdicke mm	G kN/m	P _{we} kN/m	P kN/m	H kN	EK1		EK2	
						σ _x N/mm ²	τ N/mm ²	σ _x N/mm ²	τ N/mm ²
1,20	3	7,17	2,11	17,14	52,69	4,75	12,49	0,00	0,00
1,80	4	7,41	6,46	18,85	57,46	4,92	11,04	0,00	0,00
2,00	5	7,49	7,87	19,30	58,65	4,38	9,36	0,00	0,00

9) Berechnung der Bandage

P_w	126,56 kN/m
Alpha	60,00 °
P_h	63,28 kN/m
H	181,30 kN

	Breite	Dicke	Fläche
Flachstahl	150	10	15,0 cm ²

Werkstoff	RSt 37-2	$f_{y,k}$	240 N/mm ²
		γ_M	1,1
		γ_F	1,5

$$\sigma = 18,13 \text{ kN/cm}^2 \quad \sigma / \sigma_{R,d} = 0,83 < 1$$

unberücksichtigt bleiben:

- mittragende Breite von Zylinder und Trichter
- aussteifende Wirkung des Schüttgutes

Zusätzliche Lasten am Übergang Zylinder - Trichter

Alpha	60,00 °
My	0,50

90° - Alpha	30,00 °
-------------	---------

Zusätzliche Lasten am Übergang Zylinder - Trichter treten nicht auf, da es sich um ein Kernflußsilo handelt.

DIN 1055, Teil 6, Beiblatt 1, Bild 3

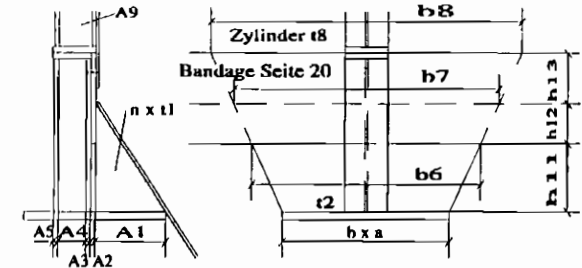
ps1	Kernfluß	kN/m ²
ps2	Kernfluß	kN/m ²

min ps	Kernfluß	kN/m ²
--------	----------	-------------------

bs	1,72 m
----	--------

10) Pratzten

Werkstoff RSt 37-2	
$f_{y,k}$	240 N/mm ²
γ_M	1,1
γ_F	1,5



Stützenprofil	HEA 280	Pratztenplatte $a_p \times b_p$	420	420
		t	20 mm	

Druckbelastung Höhe I

Druckfläche [cm ²]	Länge [mm]	Dicke [mm]	Anzahl [Stck]
A1	a1	t1	2
A2	bp	t2	1
A3	b3	t3	0
A4	a4	t4	1
A5	b5	t5	1
A(I)	107,6	erforderlich min A(I) 30,5 cm ²	

Einwirkungskombinationen: Belastung für die am höchsten belastete Prätze:

EK1	$1,35 \times G + 1,5 \times Q =$	654,0 kN
EK2	$1,35 \times G + 1,5 \times V_{wind} =$	136,3 kN
EK3	$1,35 \times G + 1,5 \times 0,9 \times (Q + V_{wind}) =$	665,3 kN

Drucklasten siehe Seite 9, Belastungspunkt: Prätze

$$G = EG/n + Mx/(2xb) + My/(2xa)$$

$$Q = WL/n + Mx/(2xb) + My/(2xa)$$

$$V_{wind} = \max(M/H-h6) * H/d2$$

$$\max P(I) = 665 \text{ kN}$$

$$\sigma(I) = P(I) / A(I) = 61,83 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma(I) / \sigma_{R,d} = 0,28 < 1$$

Druckbelastung Höhe II

h11	289 mm	b6 =	753 mm
h12	75 mm	b7 =	840 mm
h13	75 mm	b8 =	927 mm

Druckfläche [cm ²]	Länge [mm]	Dicke [mm]
A8	b8	t8
A9	31,4	5
A(II)	77,7	Stützträger Profil HEA 140

direkt aus Trichter in Prätze

$$P = P_w * \sin \text{Alpha} * b7 \quad \text{Seite 18}$$

$$P = 92,1 \text{ kN}$$

$$P(II) = P(I) - P * \gamma_F = 541 \text{ kN} \quad \text{EK3}$$

$$\gamma_F = 1,35$$

$$\sigma(II) = P(II) / A(II) = 69,60 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma(II) / \sigma_{R,d} = 0,32 < 1$$

8) Berechnung des Trichters nach DIN 1055 T6 Mai 87.

Gerechnet wird auf einem IBM-AT-kompatiblen Rechner mit eigenen Programmen unter Verwendung der in der Norm/richtlinie aufgeführten Bezeichnungen und Formeln.

Schaftdurchmesser		5730 mm	
Auslaufdurchmesser		400 mm	
Außermittigkeit		0 mm	
Trichterhöhe	HT	4616 mm	
Kegelhöhe	HK	4962 mm	
Fläche/Umfang		1433 mm	
Dichte	Gamma	14,0 kN/m ³	
Horizontallastverhältnis	Lambda	0,7	
Wandreibungsbeiwert	My	0,5	
Faktor für Siloboden	cb	1,5	
am Übergang Trichter/Zylinder	p _{vf}	22,51 kN/m ²	
am Übergang Trichter/Zylinder	p _{hf}	14,63 kN/m ²	
Werkstoff:	St 37-2	f _{y,k} 240 N/mm ²	γ _M = 1,1
für Trichterneigung Alpha =	60,00 °	gilt:	
nach Formel 16	p _n	33,18 kN/m ²	
nach Formel 18	p _{no}	27,82 kN/m ²	
nach Formel 19	p _{nu}	8,44 kN/m ²	
im 1/4-Punkt	p _n +p _{no}	56,16 kN/m ²	

Da es sich um ein Kernflußsilo handelt, wird PS vernachlässigt

Tiefe = ab Übergang Trichter/Zylinder

Radius = Schalenkrümmung im Höhenschnitt

σ_φ = p_n * Radius / Blechdicke

σ_x = (G + P_w) / Blechdicke

σ_v = Wurzel (σ_φ² + σ_x² - σ_φ * σ_x)

σ_{R,d} 218,18 N/mm²

Einwirkungskombination I (EK1): 1,35 * Eigengewicht + 1,5 * Füllung

Tiefe [m]	Radius [m]	p _n [kN/m ²]	P _w [kN/m]	σ _φ [N/mm ²]	σ _x [N/mm ²]	σ _v [N/mm ²]	max σ/σ _R	Blechdicke [mm]
0,000	3,308	27,82	126,56	28,19	37,97	34,15	0,17	5
0,620	2,895	41,99	114,06	36,96	34,22	35,67	0,17	5
1,241	2,481	56,16	96,49	42,22	28,95	37,40	0,19	5
1,861	2,068	53,74	76,81	33,68	23,04	29,82	0,15	5
2,481	1,654	51,31	58,00	25,73	17,40	22,74	0,12	5
3,101	1,241	48,89	40,06	18,39	12,02	16,17	0,08	5
3,722	0,827	46,47	22,98	11,64	6,89	10,14	0,05	5
4,342	0,414	44,05	6,77	5,50	2,03	4,82	0,03	5
4,616	0,231	41,62	0,00	2,88	0,00	2,88	0,01	5

Ermittlung der erforderlichen Anzahl von Schrauben im Silotrichter

Berechnung nach DIN 18800 Teil 1 Ausgabe 11.90

Schrauben nach DIN 7990 GüT 4.6 Scherquerschnitt = Schaftquerschnitt

f _{y,b,k}	f _{u,b,k}	α _n	e ₁	e ₂	e ₃	γ _M	γ _F
240	400	0,60	40	40	100	1,1	1,5

Vertikale Schraubenreihe n Schrauben/m

Lochleibung unter Berücksichtigung von Element 807

Tiefe [m]	N*Radius [kN/m]	M 16		M 20		M 24	
		Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.
0,620	121,55	5	6	3	6	2	7
1,241	139,34	5	7	4	7	3	7
1,861	111,11	4	6	3	6	2	6
3,101	60,65	3	3	2	3	1	3
4,342	18,21	1	1	1	1	1	1

Horizontale Schraubenreihe n Schrauben/m

Lochleibung unter Berücksichtigung von Element 807

Tiefe [m]	PW + G [kN/m]	M 16		M 20		M 24	
		Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.	Abscher.	Lochleib.
0,620	115,91	4	6	3	6	2	6
1,241	98,05	4	5	3	5	2	5
1,861	78,08	3	4	2	4	2	4
3,101	40,76	2	2	1	2	1	3
4,342	6,90	1	1	1	1	1	1

Belastung Höhe P(III)

Blech t₉= 5 mm

Profil oben

Breite b₉ 3236 mm $\leq d^2 \cdot \pi / 4$

HEA 140

Querschnittsflächen

Blech 161,8 cm²

Profil A1 31,4 cm²

Summe 193,2 cm²

Sigma (III) 0,00 kN/cm²

P(III)' = 0,0 kN Sigma(III) x A10 (mitttragende Zylinderwand berücksichtigt)

sk = 2000 mm

$\lambda_{kz} = 34,90$

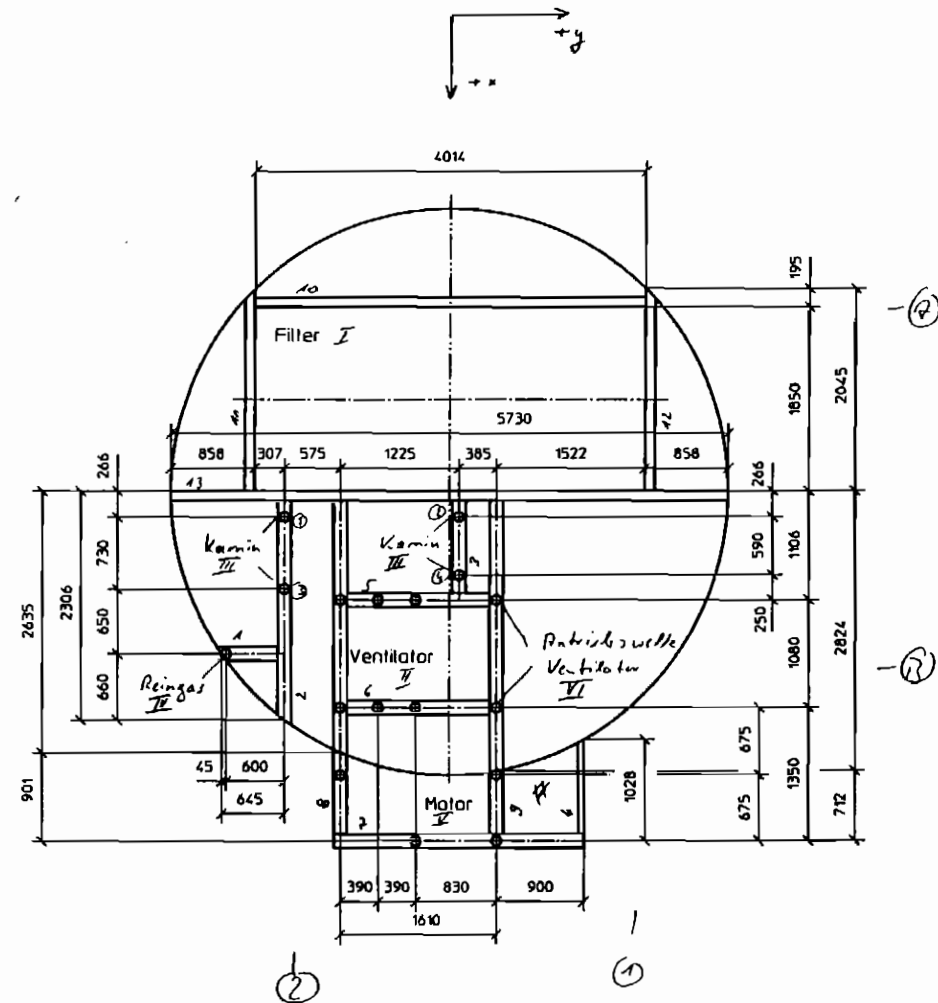
$\bar{\lambda}_k = 0,38$

$\kappa = 0,91$

$N / (\kappa \cdot N_{pl,d}) = 0,00$

< 1

14) Silodach



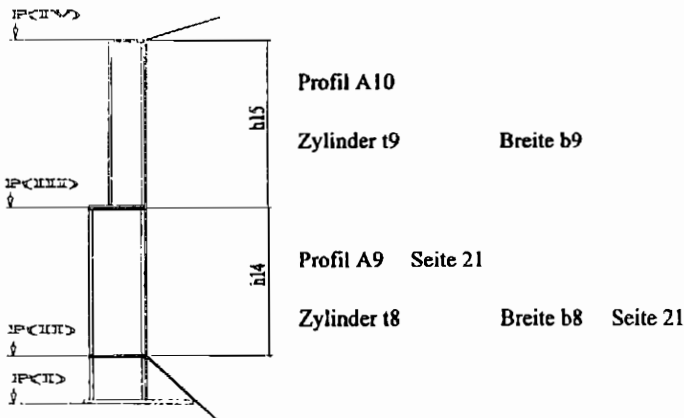
11) Silorandstützen

Randstützenprofil unten Profil A9: HEA 140 oben Profil A10: HEA 140

Die Silorandstütze dient zur Aufnahme der Silo- und Aufbaulasten und deren Weiterleitung in die Pratte. Ein Stützenflansch ist kontinuierlich durch Schrauben oder Schweißen mit dem Silozylinder verbunden. Es wird davon ausgegangen, daß sich die Silolast gleichmäßig in die Randstütze und einem anteiligen Zylinderbereich abträgt. Durch die Befestigung der Randstütze am Silozylinder wird die schwache Achse des Trägers so ausgesteift, daß sich ein Knicknachweis in diese Richtung erübrigt.

Belastungsannahmen:

- Bei leerem Silo ruhen nur die Aufbau- und/oder Dachlasten auf der Silorandstütze. Bedingt durch die steigende Windlast entsteht ein trapezförmiger Lastanstieg. Es wird ein Knicknachweis mit reduzierter Knicklänge nach DIN 4114 um die starke Stützenachse geführt. Wird das Stützenprofil bei hohen Silozylindern in seinem Verlauf nach oben abgemindert, so wird der Nachweis mit dem schwächeren Profil geführt.
- Bei gefülltem Silo kommt zu den unter Punkt 1 aufgeführten Lasten noch die Silolast hinzu. Es ergibt sich wiederum ein trapezförmiger Lastanstieg. Aus Erfahrung ist die Aussteifung des Lagergutes ausreichend, so daß auf einen Knicknachweis der gesamten Stütze unter Vollast verzichtet werden kann. Lediglich in den aufgelockerten Bereichen, die sich maximal über 2 - 3m erstrecken, wie sie z. B. beim Entleeren entstehen, wird die Stütze auf Knicken belastet.
Bei Silos mit einer Zylinderhöhe bis zu 3m wird ein Knicknachweis mit reduzierter Zylinderhöhe nach DIN 4114 geführt. Bei Silos mit größerer Zylinderhöhe als 3m wird ein Knicknachweis mit einer Knicklänge von 3m und der maximalen Stützenlast geführt.
Wird das Stützenprofil in seinem Verlauf nach oben abgemindert, wird ein Knicknachweis für jedes Profil mit einer Knicklänge von 3m und der aus der trapezförmigen Gesamtlastverteilung geometrisch ermittelten Maximallast des jeweiligen Profils geführt.



Zylinderhöhe	h3	2000 mm	h14 =	2000 mm
max. rechnerische Höhe		2000 mm	h15 =	0 mm

Einwirkungskombinationen: Dachlasten

Belastung für die am höchsten belastete Stütze

EK1	$1,35 \times G + 1,5 \times Q =$	158,2 kN
EK2	$1,35 \times G + 1,5 \times V_{Wind} =$	117,0 kN
EK3	$1,35 \times G + 1,5 \times 0,9 \times (Q + V_{Wind}) =$	191,4 kN

P(IV) =	191,4 kN	Auflast auf Silo + Dach + evtl. max Wind
P(III) =	0,0 kN	
P(II) =	541,0 kN	Seite 21

1. Silo leer Profil HEA 140

EK1	$1,35 \times G + 1,5 \times Q =$	171,7 kN
EK2	$1,35 \times G + 1,5 \times V_{Wind} =$	160,5 kN
EK3	$1,35 \times G + 1,5 \times 0,9 \times (Q + V_{Wind}) =$	231,9 kN

max P = 231,9 kN ohne Berücksichtigung der mittragenden Zylinderwand
 $s_K = 1916 \text{ mm}$ $\lambda_{Kz} = 33,45$ $\bar{\lambda}_K = 0,36$ $\kappa = 0,92$
 Verkürzung der Knicklänge nach DIN 4114 Bl.2 Tafel 5 Punkt 6 mit h3, P(IV) und max P

$$\frac{N}{(\kappa \cdot N_{pl,d})} = 0,37 < 1$$

$$N_{Ki,d} = 5284 \text{ kN} \quad \eta_{Ki} = 22,8 > 1,2$$

2. Silo voll Gesamtprofil bzw. Profil unten HEA 140

P(II)' =	218,5 kN	Sigma(II) x A9 (mittragende Zylinderwand berücksichtigt)
sk =	2000 mm	
$\lambda_{Kz} =$	34,90	$\bar{\lambda}_K = 0,38$ $\kappa = 0,91$
$\frac{N}{(\kappa \cdot N_{pl,d})} =$	0,35	< 1