



Silo-Anlagentechnik GmbH

Langwiesenstraße 4
74363 Güglingen 2
Tel. 07135/106-0
Fax. 07135/106379

STATISCHE BERECHNUNG

Bauteil : **Kiessilo**
Silo-Ø = 6,0 m; Silovolumen = 240 m³

Ausführung : **STANELLE**
Silo-Anlagentechnik GmbH
D - 74363 Güglingen 2

Anmerkung: Die vorliegende statische Berechnung für ein Kiessilo wurde aus Auftrag Nr. 30151.0 entnommen, da es sich um einen weitgehend gleichen Silo handelt.

Auftrag Nr.	60055.0	30151.0
Silodurchmesser m	6,000	6,000
Silovolumen m ³	242	242
Schüttgewicht kN/m ³	18	18
Konusneigung °	55	55

Silo auflastenSilo 1

$$g+p = 220 \text{ kN} + 255 \text{ kN} = 475 \text{ kN}$$

Biegemoment infolge Verkehrslast

$$M_b = 40 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} = 120 \text{ kNm}$$

Torsionsmoment

$$M_{Ta} = 15 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} = 45 \text{ kNm}$$

Biegemoment wind y-Richtung

$$M_{ba} = 20 \text{ kN} \cdot 6,0 \text{ m} + 20 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} = 180 \text{ kNm}$$

Schubkraft

$$D_a = 2 \cdot 17,5 \text{ kN} + 15 \text{ kN} = 50 \text{ kN}$$

1.1.4 SILOVERTEILUNG - NIVEAU DER HORIZONTAL STÖSSE

z = 0 FÜR EINGEEBNETE SILOGUTOBERFLÄCHE

TABELLE 1:

i	z [i] [mm]	
1	700	O.K. DES SILOS
2	2482	
3	4482	
4	6482	
5	8482	
6	8785	
7	10382	
8	11938	
9	12805	

1.2 LASTANNAHMEN - SILOLASTEN

1.2.1 FÜLLLASTEN NACH P.3.2 [1]

PARAMETER F.5 [1] $Z_0 = 5.000$

BEZEICHNUNGEN:

- Ff - HILFSPARAMETER F.5 [1]
- pwf - WANDREIBUNGSLAST F.1 [1]
- pl - EINBLASÜBERDRUCK ZUM TROCKEN P.3.7.1 [1]
- phf - HORIZONTALLAST F.2 [1]
- phfm - MASSGEBENDE LAST MIT ZUWACHS DURCH EINBLASEN
- pvf - VERTIKALLAST F.3 [1]

TABELLE 2:

i	z [mm]	Ff	pwf [kN/m ²]	pl [kN/m ²]	phf [kN/m ²]	phfm [kN/m ²]	pvf [kN/m ²]
1	700	0.131	3.5	0.0	7.1	7.1	11.8
2	2482	0.391	10.6	0.0	21.1	21.1	35.2
3	4482	0.592	16.0	0.0	32.0	32.0	53.3
4	6482	0.726	19.6	0.0	39.2	39.2	65.4
5	8482	0.817	22.0	0.0	44.1	44.1	73.5
6	8785	0.827	22.3	0.0	44.7	44.7	74.5
7	10382	0.875	23.6	0.0	47.2	47.2	78.7
8	11938	0.908	24.5	0.0	49.0	49.0	81.7
9	12805	0.923	24.9	0.0	49.8	49.8	83.0

1.2.2 ENTLERUNGSLASTEN IM ZELLENSCHAFT NACH P.3.3.2 [1]

MODIFIZIERTER FAKTOR eh $ehm = 1.212$ LASTFAKTOR $f1 = 1.071$

Für Silozellen mit $z/D \geq 5 \cdot m_i$ sind beide Faktoren voll anzusetzen, für $z/D < 2.5 \cdot m_i$ dürfen sie gleich 1.0 gesetzt werden. Dazwischen dürfen sie geradlinig interpoliert werden.

1.2.3 GLEICHFÖRMIGE LASTEN

BEZEICHNUNGEN:

pwe - WANDREIBUNGSLAST F.7 [1]
 phe - HORIZONTALLAST F.8 [1]
 pve - VERTIKALLAST F.3 [1] (pve < pvf)

1.2.4 UNGLEICHFÖRMIGE LASTEN P.3.3.3 [1]

SCHLANKHEITSBEIWERT

beta h = 1.227

AUSSERMITTIGKEITSBEIWERT

beta a = 1.000

STEIFIGKEITSBEIWERT

beta r = 0.050

UNGLEICHFÖRMIGKEITSFAKTOR P.3.3.3.4 F.13 [1]

beta = 0.025

LASTFAKTOR P.3.3.3.3 F.10,11 [1]

kappa = 1.108

BEZEICHNUNGEN:

kphe - ERSATZ HORIZONTALLAST BEIM ENTLEEREN P.3.3.3.3 [1]
 pll - EINBLASÜBERDRUCK ALS ENTLEERUNGSHILFE
 phem - MASSGEBENDE HORIZONTALLAST BEIM ENTLEEREN - max(kphe,pll)

TABELLE 3:

i	z [mm]	pwe [kN/m ²]	phe [kN/m ²]	kphe [kN/m ²]	pll [kN/m ²]	phem [kN/m ²]
1	700	3.8	8.6	9.5	0.0	9.5
2	2482	11.3	25.6	28.4	0.0	28.4
3	4482	17.1	38.7	42.9	0.0	42.9
4	6482	21.0	47.6	52.7	0.0	52.7
5	8482	23.6	53.5	59.2	0.0	59.2
6	8785	23.9	54.2	60.0	0.0	60.0
7	10382	25.3	57.3	63.4	0.0	63.4
8	11938	26.3	59.4	65.8	0.0	65.8
9	12805	26.7	60.4	66.9	0.0	66.9

1.3 BEANSPRUCHUNG DES ZYLINDERS

1.3.1 BEANSPRUCHUNG DES ZYLINDERS INFOLGE SILOLASTEN

BEZEICHNUNGEN:

Nx - AXIALBEANSPRUCHUNG
 Nphi - UMFANGSBEANSPRUCHUNG

TABELLE 4:

i	z [mm]	Nx [kN/m]	Nphi [kN/m]
1	700	-30.8	28.4
2	2482	-46.3	85.1
3	4482	-77.0	128.7
4	6482	-117.3	158.0
5	8482	-164.0	177.6
6	8785	-171.5	180.0

1.3.2 WINDBELASTUNGEN

BEZEICHNUNGEN:

qzw - DRUCKWERT IM STAUPUNKT
 Nxw - AXIALBEANSPRUCHUNG
 Nphiw - UMFANGSBEANSPRUCHUNG
 Nxphiw - WINDQUERBEANSPRUCHUNG

TABELLE 5:

i	z [mm]	qzw [kN/m ²]	Nxw [kN/m]	Nphiw [kN/m]	Nxphiw [kN/m]
1	700	0.8	----	----	----
2	2482	0.8	-5.0	2.4	-9.4
3	4482	0.8	-9.5	2.3	-10.5
4	6482	0.7	-14.7	2.2	-11.4
5	8482	0.7	-20.5	2.0	-12.4
6	8785	0.7	-21.5	2.0	-12.5
7	10382	0.6	-0.2	1.2	----
8	11938	0.6	-0.1	0.5	----
9	12805	0.5	-0.0	0.1	----

1.3.3 BEMESSUNGSWERTE FÜR ZYLINDERBEANSPRUCHUNGEN

TABELLE 6:

i	z [mm]	LASTFALL 1		LASTFALL 2		
		Nx [kN/m]	Nfi [kN/m]	Nx [kN/m]	Nphi [kN/m]	Nxphi [kN/m]
2	2482	-64.8	127.7	-69.3	118.1	-12.7
3	4482	-110.6	193.1	-116.9	176.9	-14.1
4	6482	-170.7	237.0	-178.2	216.2	-15.4
5	8482	-240.5	266.4	-249.1	242.5	-16.7
6	8785	-251.7	269.9	-260.5	245.7	-16.9

1.4 BEANSPRUCHUNG DES TRICHTERS

1.4.1 LASTEN AUS DER TRICHTERFÜLLUNG P.3.5.2 [1]

TRICHTERWANDLÄNGE [mm] L = 5256
 NORMALLAST AUF SCHRÄGE FLÄCHE F.16 [1] [kN/m²] pn = 36.9

1.4.2 LASTEN AUS DER TRICHTERÜBERSCHÜTTUNG P.3.5.3 [1]

NORMALLAST AUF SCHRÄGE FLÄCHE
 - O.K. TRICHTER F.18 [1] [kN/m²] pno = 98.1
 - MITTELPUNKT DES TRICHTERS F.19 [1] [kN/m²] pnu = 36.7

1.4.3 ERMITTLUNG DES FLIESSPROFILES

Nach Bild 3 Beiblatt 1 zu [1] kann hier mit dem Auftreten von Kernfluss gerechnet werden. Somit treten keine zusätzlichen Lasten am Übergang vom Zellenschaft zum Trichter auf.

1.4.4 LASTEN AUS DER TRICHTERFÜLLUNG UND TRICHTERÜBERSCHÜTTUNG

HILFSWERTE:

[kN/m ²]	pn0 =	98.08
[kN/m ²]	pn1 =	119.65
[kN/m ²]	pn2 =	77.73
[kN/m ²]	pn3 =	73.64

1.4.5 MERIDIANKRÄFTE IM TRICHTER

TABELLE 7:

i	z [mm]	D [mm]	pn [kN/m ²]	LASTFALL 1		LASTFALL 2	
				Nx [kN/m]	Nphi [kN/m]	Nx [kN/m]	Nphi [kN/m]
6	8785	6000	98.1	377.4	538.8	339.7	487.7
7	10382	3764	112.1	231.2	386.3	207.8	349.3
8	11938	1584	89.8	93.9	130.3	84.4	117.9
9	12805	370	77.4	21.4	26.3	19.2	23.8

1.5 BEMESSUNGEN NACH [4] - ZYLINDER

1.5.1 BEULSICHERHEITSNACHWEISE BEI DRUCKBEANSPRUCHUNG IN AXIALRICHTUNG

BEZEICHNUNGEN:

t	- BLECHDICKE
lambda sx	- BEZOGENER SCHALENSCHLANKHEITSGRAD F.1 [4]
sigma xsi	- IDEALE BEULSPANNUNG FÜR KREISZYLINDER MIT DRUCKBEANSPRUCHUNG IN AXIALRICHTUNG F.26 [4]
Cx	- BEIWERT NACH EL.407 [4]
kappa2	- ABMINDERUNGSFAKTOR FÜR SEHR IMPERFEKTIONSEMPFINDLICHE SCHALENBEULFÄLLE NACH EL.204 F.8 [4] UND FÜR ÜBERLAPPTE KREISZYLINDERSCHALEN EL.514 F.61,62 [4]
sigma xs,R,k	- REALE BEULSPANNUNG FÜR DRUCKBEANSPRUCHUNG IN AXIALRICHTUNG EL.419 F.43 [4]

Für Schüttgüter, die nicht zur Brückenbildung neigen, darf die beul-lasterhöhende Wirkung des inneren Manteldrucks in Rechnung gestellt werden. El.429 F.53 (kappa2q statt kappa2)

TABELLE 8:

i	z [mm]	t [mm]	lambda sx	Cx	sigma xsi [MPa]	kappa2	sigma xs,R,k [MPa]
2	2482	6	0.972	1.000	254.2	0.326	78.3
3	4482	7	0.900	1.000	296.6	0.236	56.7
4	6482	7	0.900	1.000	296.6	0.276	66.2
5	8482	8	0.841	1.001	339.0	0.282	67.7
6	8785	9	0.793	1.001	381.4	0.322	77.3

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG)*1.35+SCHÜTTGUTBELASTUNG*1.5

LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+SCHÜTTGUTBELASTUNG+WINDBELASTUNG)*1.35

BEZEICHNUNGEN:

- gamma mi2 - ERHÖHTER TEILSICHERHEITSBEIWERT EL.206 F.13 [4]
sigma xs,R,d - GRENZBEULSPANNUNG EL.205 F.9 [4]
sigma x - MAXIMALE AXIALDRUCKSPANNUNG
kpx - BEULSICHERHEITSNACHWEIS - AXIALDRUCKKRAFT F.14 [4]

TABELLE 9:

i	z [mm]	t [mm]	gamma mi2	sigma xs,R,d [MPa]	sigma x LF1 [MPa]	sigma x LF2 [MPa]	kpx<1.0
2	2482	6	1.244	63.0	10.8	11.6	0.202
3	4482	7	1.230	46.1	15.8	16.7	0.398
4	6482	7	1.230	53.8	24.4	25.5	0.521
5	8482	8	1.218	55.6	30.1	31.1	0.617
6	8785	9	1.209	64.0	28.0	28.9	0.498

1.5.2 BEULSICHERHEITSNACHWEIS BEI DRUCKBEANSPRUCHUNG IN UMFANGSRICHTUNG
(WIND + SILO LEER)KREISZYLINDER MIT ABGESTUFTER WANDDICKE - DREISCHÜSSIGER ERSATZKREIS-
ZYLINDER FÜR RANDBEDINGUNGEN RB2 - RB2 NACH EL.505 [4]:

[m] Lo = 4.043 [mm] to = 6.6

[m] Lm = 2.021 [mm] tm = 7.1

[m] Lu = 2.021 [mm] tu = 8.1

BEIWERT NACH BILD 20 [4] beta = 0.524

BEZEICHNUNGEN:

- lambda sf - BEZOGENER SCHALENSCHLANKHEITSGRAD F.2 [4]
sigma fsi - IDEALE UMFANGSBEULSPANNUNG FÜR JEDEN SCHUSS
NACH EL.510,511 F.56 ODER 58 [4]
kappal - ABMINDERUNGSFAKTOR NACH F.7 [4]
sigma fs,R,k - REALE BEULSPANNUNG FÜR DRUCKBEANSPRUCHUNG IN UMFANGS-
RICHTUNG F.43 [4]

TABELLE 10:

i	z [mm]	t [mm]	lambda sf	sigma fsi [MPa]	kappal	sigma fs,R,k [MPa]
2	2482	6	5.344	8.4	0.023	5.5
3	4482	7	5.772	7.2	0.020	4.7
4	6482	7	5.772	7.2	0.020	4.7
5	8482	8	6.171	6.3	0.017	4.1
6	8785	9	6.545	5.6	0.015	3.6

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG)*1.35+WINDBELASTUNG*1.5

LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+WINDBELASTUNG)*1.35

BEZEICHNUNGEN:

sigma fs,R,d - GRENZBEULSPANNUNG F.10 [4]

sigma f - MASSGEBENDE MEMBRANSPANNUNG IN UMFANGSRICHTUNG - ERSATZ-
ERSATZWINDBELASTUNG FÜR LEERSILO NACH EL.424,517
F.64,65 [4]kpf - EINZELNACHWEIS GEGEN BEULEN BEI DRUCKSPANNUNG
IN UMFANGSRICHTUNG F.15 [4]

TABELLE 11:

i	z [mm]	t [mm]	sigma fs,R,d [MPa]	sigma f LF1 [MPa]	sigma f LF2 [MPa]	kpf<1.0
2	2482	6	5.0	1.3	1.2	0.265
3	4482	7	4.3	1.1	1.0	0.265
4	6482	7	4.3	1.1	1.0	0.265
5	8482	8	3.7	1.0	0.9	0.265
6	8785	9	3.3	0.9	0.8	0.265

1.5.3 BEULSICHERHEITSNACHWEIS - SCHUBSPANNUNGEN

WIRKSAME FLÄCHE FÜR DIE AUFNAHME DER QUERKRÄFTE AM AUFLAGER:

WIRKSAME HÖHE IM ZYLINDER [m] $h_z = 0.7 \cdot (z+t) = 6.010$ WIRKSAME LÄNGE IM TRICHTER [m] $h_t = 0.7 \cdot k / \sin(\alpha) = 3.435$

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG)*1.35+SCHÜTTGUTBELASTUNG*1.5

LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+SCHÜTTGUTBELASTUNG+WINDBELASTUNG)*1.35

BEZEICHNUNGEN:

tm - DURCHSCHNITTliche WANDDICKE FÜR DEN SCHUBBEANSPRUCHTEN
TEIL DES MANTELS

Aq - WIRKSAME FLÄCHE VOM ZYLINDER ODER TRICHTER

Qxmax - MAXIMALE SCHUBKRAFT IM ZYLINDER ODER TRICHTER

TABELLE 12:

	ZYLINDER	TRICHTER
tm [mm]	7.6	7.6
Aq [m ²]	0.04567	0.02600
Q _{xmax} LF1 [kN]	697.0	325.0
Q _{xmax} LF2 [kN]	684.7	319.3

BEZEICHNUNGEN:

- lambda st - BEZOGENER SCHALENSCHLANKHEITSGRAD F.3 [4]
tau si - IDEALE UMFANGSBEULSPANNUNG NACH F.39,42 [4]
kappa1 - ABMINDERUNGSFAKTOR NACH F.7 [4]
tau s,R,k - REALE BEULSPANNUNG F.45 [4]

TABELLE 13:

i	z [mm]	t [mm]	lambda st	tau si [MPa]	kappa1	tau s,R,k [MPa]
2	2482	6	1.847	40.6	0.191	26.4
3	4482	7	1.677	49.2	0.231	32.0
4	6482	7	1.677	49.2	0.231	32.0
5	8482	8	1.543	58.2	0.273	37.8
6	8785	9	1.433	67.4	0.316	43.8

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG) *1.35+SCHÜTTGUTBELASTUNG*1.5

LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+SCHÜTTGUTBELASTUNG+WINDBELASTUNG) *1.35

BEZEICHNUNGEN:

- tau s,R,d - GRENZBEULSPANNUNG F.11 [4]
tau - MAXIMALE SCHUBSPANNUNG
kpt - EINZELNACHWEIS BEULEN BEI SCHUBBEANSPRUCHUNG F.16 [4]

TABELLE 14:

i	z [mm]	t [mm]	tau s,R,d [MPa]	tau LF1 [MPa]	tau LF2 [MPa]	kpt<1.0
2	2482	6	24.0	0.0	2.1	0.088
3	4482	7	29.1	14.1	15.8	0.544
4	6482	7	29.1	14.1	16.0	0.550
5	8482	8	34.4	16.1	17.9	0.520
6	8785	9	39.9	18.1	19.6	0.493

1.5.4 BEULSICHERHEITSNACHWEIS - KOMBINIERTE BEANSPRUCHUNGEN F.50 [2]

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG) *1.35+SCHÜTTGUTBELASTUNG*1.5

LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+SCHÜTTGUTBELASTUNG+WINDBELASTUNG) *1.35

BEZEICHNUNGEN:

- kpi - BEULNACHWEIS - DRUCK IN AXIALRICHTUNG UND SCHUB F.50 [4]

TABELLE 15:

i	z [mm]	t [mm]	sigma x LF1 [MPa]	sigma x LF2 [MPa]	tau LF1 [MPa]	tau LF2 [MPa]	kpi<1.0
2	2482	6	10.8	11.6	0.0	2.1	0.143
3	4482	7	15.8	16.7	14.1	15.8	0.612
4	6482	7	24.4	25.5	14.1	16.0	0.745
5	8482	8	30.1	31.1	16.1	17.9	0.816
6	8785	9	28.0	28.9	18.1	19.6	0.660

1.6 TRICHTER - VERGLEICHSPANNUNGEN

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG)*1.35+SCHÜTTGUTBELASTUNG*1.5

LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+SCHÜTTGUTBELASTUNG+WINDBELASTUNG)*1.35

BEZEICHNUNGEN:

- sigma x - AXIALSPANNUNGEN IM TRICHTER
- sigma f - UMFANGSSPANNUNGEN IM TRICHTER
- tau - SCHUBSPANNUNGEN IM TRICHTER
- sigma v - VERGLEICHSPANNUNGEN

TABELLE 16:

i	z [mm]	t [mm]	L A S T F A L L 1				
			sigma x [MPa]	sigma f [MPa]	tau [MPa]	sigma v [MPa]	fyd [MPa]
7	10382	8	47.2	67.4	19.8	69.0	218.2
8	11938	7	33.0	55.2	17.3	56.7	218.2
9	12805	6	15.6	21.7	14.9	32.2	218.2

TABELLE 17:

i	z [mm]	t [mm]	L A S T F A L L 2				
			sigma x [MPa]	sigma f [MPa]	tau [MPa]	sigma v [MPa]	fyd [MPa]
7	10382	8	46.1	61.0	19.5	64.6	218.2
8	11938	7	29.8	49.9	17.0	52.6	218.2
9	12805	6	14.1	19.7	14.6	30.8	218.2

1.7 UMFANGSRING - UNTEN

1.7.1 BEANSPRUCHUNG DES RINGTRÄGERS

- Ns - DRUCKKRAFT INFOLGE NORMALZUGKRÄFTEN IN DER TRICHTERWAND
UND WINDBEANSPRUCHUNG DES RINGS IN RINGEBENE - U.K. EINFLUSS
- My - BIEGEMOMENT IN RINGEBENE INFOLGE WINDBELASTUNG
- Mz - TORSIONSMOMENT

1.7.2 TORSIONSKASTEN BZW. DRUCKRING

KENNWERTE:

SILODURCHMESSER	[mm]	D	=	6000
TRICHTERNEIGUNG	[deg]	alfa	=	55
KASTENHÖHE	[mm]	t	=	500
GEWÄHLTE BLECHDICKEN:				
ZYLINDER	[mm]	tZ	=	9
TRICHTER	[mm]	tT	=	8
BODENBLECH	[mm]	tB	=	10

Bögen mit gleichbleibendem Querschnitt, die die Bedingung F.70 El.607 [3] erfüllen, dürfen ohne Ersatzimperfektionen nach Theorie I Ordnung berechnet werden.

KNICKLÄNGE DES BOGENS FÜR DAS AUSWEICHEN

IN DER BOGENEBENE	[m]	sk	=	1.286
DRUCKKRAFT IM BOGEN	[kN]	N	=	649.459
F.70 El.607 [3] - Sr = 0.113 < 1.0				

MITTRAGENDE BREITE DES ZYLINDERS

NACH EDV - BERECHNUNG	[mm]	bmZ	=	304
-----------------------	------	-----	---	-----

MITTRAGENDE BREITE DES TRICHTERS

NACH EDV - BERECHNUNG	[mm]	bmT	=	298
-----------------------	------	-----	---	-----

QUERSCHNITTSFLÄCHE:

ANTEIL ZYLINDER	[cm ²]	AZ	=	71.89
BODENBLECH	[cm ²]	AB	=	34.66
ANTEIL TRICHTER	[cm ²]	AT	=	72.15

DRUCKRING - SUMME	[cm ²]	AS	=	178.70
-------------------	--------------------	----	---	--------

SCHWERPUNKTSABSTÄNDE:

	[mm]	ea	=	143
	[mm]	ei	=	383
	[mm]	eo	=	587
FLÄCHENMOMENT 2. GRADES	[cm ⁴]	Iy	=	44186
WIDERSTANDSMOMENT	[cm ³]	Wya	=	3100
	[cm ³]	Wyi	=	1155
TORSIONSWIDERSTANDSMOMENT	[cm ³]	WT	=	1373
RADIUS DES DRUCKRINGS	[mm]	ra	=	2857

1.7.3 DRUCKRING - VERGLEICHSPANNUNGEN

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG)*1.35+SCHÜTTGUTBELASTUNG*1.5
 LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+SCHÜTTGUTBELASTUNG+WINDBELASTUNG)*1.35

QUERSCHNITT 1. (MAX MT - TORSIONSMOMENT)

TORSIONSMOMENT	[kNm]	MT	=	128.1
----------------	-------	----	---	-------

QUERSCHNITT 2. (AUFLAGERQUERSCHNITT)

Torsionsmoment an der Auflagerstelle nach Greiner [5] wird aufgeteilt zwischen Ring und Wandstütze entsprechend ihrer Steifigkeit.

RINGTORSIONSSTEIFIGKEIT	[kNm]	kr	=	26576.4
STÜTZENBIEGESTEIFIGKEIT	[kNm]	ks	=	2875.3
RINGTORSIONSMOMENT	[kNm]	MTar	=	187.7
STÜTZENBIEGEMOMENT	[kNm]	MTas	=	20.3

FÜR BEIDE QUERSCHNITTE:

WINKEL VON DER RINGSYMETRIEACHSE BIS ZUR STELLE DES MAXIMALEN TORSIONSMOMENTS	[deg] fi =	25.8	
MAXIMALES TORSIONSMOMENT (MT ODER MTar)	[kNm] MTm =	181.3	LF1
	[kNm] MTm =	187.7	LF2
MAXIMALES BIEGEMOMENT IN RINGEBENE	[kNm] Mmax =	0.0	LF1
	[kNm] Mmax =	14.1	LF2
MINIMALES BIEGEMOMENT IN RINGEBENE	[kNm] Mmin =	0.0	LF1
	[kNm] Mmin =	-19.6	LF2
RINGDRUCKKRAFT	[kN] Nx =	649.5	LF1
	[kN] Nx =	625.8	LF2

BEZEICHNUNGEN:

tau MT - TORSIONSSPANNUNGEN IM RING
 tau xf - SCHUBSPANNUNGEN AN DER AUFLAGERSTELLE
 sigma M - AXIALSPANNUNGEN IM RING INFOLGE BIEGEMOMENT IN RINGEBENE
 sigma N - AXIALSPANNUNGEN IM RING INFOLGE RINGAXIALKRAFT
 sigma v - VERGLEICHSPANNUNGEN IM RINGQUERSCHNITT

PUNKT NR.1 - O.K.DES TORSIONSKASTEN

PUNKT NR.2 - ANSCHLUSS DES BODENBLECHS MIT TRICHTERWAND

PUNKT NR.3 - U.K.DES DRUCKRINGS (MITTRAGENDER TEIL DER TRICHTERWAND)

TABELLE 18:

i	tau MT LF1 [MPa]	tau xf LF1 [MPa]	sigma M LF1 [MPa]	sigma N LF1 [MPa]	sigma v LF1 [MPa]	fyd [MPa]
1	93.3	18.1	0.0	36.3	196.4	218.2
2	93.3	19.8	0.0	36.3	199.3	218.2
3	0.0	19.8	0.0	36.3	50.0	218.2

TABELLE 19:

i	tau MT LF2 [MPa]	tau xf LF2 [MPa]	sigma M LF2 [MPa]	sigma N LF2 [MPa]	sigma v LF2 [MPa]	fyd [MPa]
1	85.0	19.6	4.5	35.0	185.4	218.2
2	85.0	19.5	9.5	35.0	186.3	218.2
3	0.0	19.5	17.0	35.0	62.0	218.2

1.7.4 STABILITÄTSNACHWEIS DES DRUCKRINGS NACH EL.304 F.3 [3]

NORMALKRAFT IM VOLLPLASTISCH ZUSTAND	[kN] Npl =	3898.8
KNICKLÄNGENBEIWERTE FÜR KNICKEN IN DER BOGENEBENE BILD 33 [3]	betay =	1.022
VERZWEIGUNGSLAST F.64 [3]	[kN] Nki =	553418.7
BEZOGENER SCHLANKHEITSGRAD	lambda k =	0.084
ABMINDERUNGSFAKTOR NACH F.4 [3]	kappa =	1.000

TRAGSICHERHEITSNACHWEIS - BIEGUNG IN BOGENEBENE MIT NORMALKRAFT E.607 [3]
 BIEGEKNICKEN kapy = 0.167 < 1.0 - F.3 EL.304 [3]

1.8 WANDSTÜTZE

QUERSCHNITT:

HEB200 IM AUFLAGERBEREICH BIS ZUM ERSTEN HORIZONTALSTOSS
HEA200 BIS ZUM OBERRING

1.8.1 BEANSPRUCHUNGEN

LASTFALL 1 - NACH [5]

BIEGEMOMENT AN DER AUFLAGERSTELLE [kNm] MTas = 20.3
QUERKRAFT [kN] QA = 4.6

LASTFALL 2 - ANSATZ EINER TEILFLÄCHENLAST P.3.3.22 [1]

BIEGEMOMENT TEILFLÄCHENLAST IN HALBER
HÖHE DES ZELLENSCHAFTES [kNm] Mp = 5.8
QUERKRAFT [kN] Qp = 1.4

KENNWERTE:

BIEGEMOMENT IM VOLLPLASTISCHEN ZUSTAND [kNm] MplB = 141.8 FÜR HEB
[kNm] MplA = 96.6 FÜR HEA
QUERKRAFT IM VOLLPLASTISCHEN ZUSTAND [kN] VplB = 209.7 FÜR HEB
[kN] VplA = 147.4 FÜR HEA

TRAGSICHERHEITSNACHWEIS NACH DEM VERFAHREN ELASTISCH-PLASTISCH -
BIEGEMOMENT UND QUERKRAFT TABELLE 16 [2]

kapB = 0.277 < 1.0 TRAGSICHERHEITSNACHWEIS FÜR HEB-STÜTZE
kapA = 0.406 < 1.0 TRAGSICHERHEITSNACHWEIS FÜR HEA-STÜTZE

1.9 OBERRING

U160 + MITWIRKENDER TEIL DES BLECHES - ALS KASTENTRÄGER

BLECHDICKE [mm] t1 = 6
MITTRAGENDE BLECHBREITE 15xt + hu [mm] Lp = 250
RINGQUERSCHNITT [cm²] A = 39
TRÄGHEITSMOMENT 2-GRADES [cm⁴] Iy = 313
WIDERSTANDSMOMENT - AUSSENSEITE DES RINGS [cm³] Wya = 83
WIDERSTANDSMOMENT - INNENSEITE DES RINGS [cm³] Wyi = 93

1.9.1 BEANSPRUCHUNG DES RINGTRÄGERS - STÜTZENAUFBLAGERKRAFT

MAXIMALE NORMALKRAFT [kN] Nxmx = 0.0
MINIMALE NORMALKRAFT [kN] Nxmn = -3.2
MAXIMALES BIEGEMOMENT IN RINGEBENE [kNm] Mmax = 1.9
MINIMALES BIEGEMOMENT IN RINGEBENE [kNm] Mmin = -1.0
ZUGSPANNUNGEN IM RING INFOLGE AXIALKRAFT [MPa] sigma Nz = 0.0
DRUCKSPANNUNGEN IM RING INFOLGE AXIALKRAFT [MPa] sigma Nd = 0.8
ZUGSPANNUNGEN IM RING INFOLGE BIEGEMOMENT
AUSSENSEITE [MPa] sigma za = 11.6
INNENSEITE [MPa] sigma zi = 20.1
DRUCKSPANNUNGEN IM RING INFOLGE BIEGEMOMENT
AUSSENSEITE [MPa] sigma da = 22.4
INNENSEITE [MPa] sigma di = 10.4

GESAMTE ZUGSPANNUNGEN IM RING [MPa]
sigma z = 20.1 < fyd = 218.2
GESAMTE DRUCKSPANNUNGEN IM RING [MPa]
sigma d = 23.3 < fyd = 218.2

1.9.2 STABILITÄTSNACHWEIS DES DRUCKRINGS NACH EL.304 F.3 [3]

NORMALKRAFT IM VOLLPLASTISCH ZUSTAND	[kN] Npl	=	850.9
KNICKLÄNGENBEIWERT FÜR KNICKEN IN DER BOGENEBENE BILD 33 [3]	betay	=	1.022
VERZWEIGUNGSLAST F.64 [3]	[kN] Nki	=	3490.4
BEZOGENER SCHLANKHEITSGRAD	lambda k	=	0.494
ABMINDERUNGSFAKTOR NACH F.4 [3]	kappa	=	0.887

TRAGSICHERHEITSNACHWEIS - BIEGUNG IN BOGENEBENE MIT NORMALKRAFT E.607 [3]
BIEGEKNICKEN kapy = 0.001 < 1.0 - F.3 EL.304 [3]

1.10 SCHRAUBSTÖSSE

BEZEICHNUNGEN:

- t - MINIMALE BLECHDICKE
- Nf max - MASSGEBENDE SCHRAUBENSCHUBKRAFT (MAX LF1 ODER LF2)
- e - SCHRAUBEN ABSTAND
- Vard - GRENZABSCHERKRAFT NACH EL.804 [2]
- Vlrd - GRENZLOCHLEIBUNGSKRAFT NACH EL.805 [2]

TABELLE 20: VERTIKALSTÖSSE IM ZYLINDER

z	t	Nf max	Gewählte Schrauben	e	Vard	Vlrd
[mm]	[mm]	[kN/m]		[mm]	[kN/m]	[kN/m]
700	6	166.5	M16 4.6	100	438.7	523.6
			M16 10.9 0.5Pv	100	1005.3	701.7
2482	7	258.6	M16 4.6	100	438.7	610.9
			M16 10.9 0.5Pv	100	1005.3	818.6
4482	7	336.8	M16 4.6	100	438.7	610.9
			M16 10.9 0.5Pv	100	1005.3	818.6
6482	8	405.9	M16 4.6	100	438.7	698.2
			M16 10.9 0.5Pv	100	1005.3	935.6
8482	9	415.8	M16 4.6	100	438.7	785.5
			M16 10.9 0.5Pv	100	1005.3	1052.5
8785						

BEZEICHNUNGEN:

- Nx max - MASSGEBENDE SCHRAUBENSCHUBKRAFT (MAX LF1 ODER LF2)
- eR - MINIMALER VERTIKALER RANDABSTAND

TABELLE 21: HORIZONTALSTÖSSE IM ZYLINDER

z	t	Nx max	Gewählte Schrauben	e	eR	Vard	Vlrd
[mm]	[mm]	[kN/m]		[mm]	[mm]	[kN/m]	[kN/m]
2482	6	116.9	M16 4.6	200	50	219.3	256.2
			M16 10.9 0.5Pv	200	50	502.7	343.3
4482	7	178.2	M16 4.6	200	50	219.3	298.9
			M16 10.9 0.5Pv	200	50	502.7	400.5
6482	7	249.1	M16 4.6	175	50	250.7	341.6
			M16 10.9 0.5Pv	200	50	502.7	400.5
8482	8	260.5	M16 4.6	150	50	292.5	455.4
			M16 10.9 0.5Pv	200	50	502.7	457.7

TABELLE 22: SCHRÄGESTÖSSE IM TRICHTER

z	t	Nf max	Gewählte Schrauben	e	Vard	Vlrd
[mm]	[mm]	[kN/m]		[mm]	[kN/m]	[kN/m]
8785	8	538.8	M20 4.6	100	685.4	872.7
			M16 10.9 0.5Pv	100	1005.3	935.6
10382	7	386.3	M16 4.6	100	438.7	610.9
			M16 10.9 0.5Pv	100	1005.3	818.6
11938						

TABELLE 23: HORIZONTALSTÖSSE IM TRICHTER

z	t	Nx max	Gewählte Schrauben	e	eR	Vard	Vlrd
[mm]	[mm]	[kN/m]		[mm]	[mm]	[kN/m]	[kN/m]
10382	7	377.4	M16 4.6	100	50	438.7	597.7
			M16 10.9 0.5PV	200	50	502.7	400.5
11938	6	231.2	M16 4.6	175	50	250.7	292.8
			M16 10.9 0.5PV	200	50	502.7	343.3

1.11 VERBINDUNG DES SILO MIT DER UNTERKONSTRUKTION (ZUGANKER)

BELASTUNGEN:

TABELLE 24:

	LASTFALL 1	LASTFALL 2
Nx max [kN]	2180.4	2131.5
Nx min [kN]	-4.1	1761.8
H max [kN]	114.3	102.9
H min [kN]	-114.3	-102.9

AUSGEWÄHLTE SCHRAUBEN DIN 6914 HV

4xM24 HV

GRENZZUGKRAFT EL.809 [2]

[kN] Ngr = 1026.9 > Nx min = 4.1

1.12 KRAFTEINLEITUNG

Da die Ausführung der Krafteinleitung im Auflagerbereich des Silos überall gleich ist, wird in die maximal beanspruchte Stelle untersucht.

LF1- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG) *1.35+SCHÜTTGUTBELASTUNG*1.5

LF2- (EIGENGEWICHT+AUFBAUBELASTUNG+SCHÜTTGUTBELASTUNG+WINDBELASTUNG) *1.35
MAXIMALE VERTIKALBELASTUNG

[kN] Nx max = 2180.4 LF1
[kN] Nx max = 2131.5 LF2

KONSTRUKTION:

SILOPRATZEN - HEB200 - BIS ZUM ERSTEN HORIZONTALSTOSS
 VERSTÄRKUNGSBLECH [mm] tv = 0
 QUERSCHOTTE [mm] 2 x t = 2 x 15
 UK-KOPFBLECHABMESSUNGEN = RINGVERSTÄRKUNG
 IN RADIUSRICHTUNG [mm] br = 536
 VON MANTELACHSE ZUM INNENRAND [mm] by = 286
 IN UMFANGSRICHTUNG [mm] bf = 593
 BLECHDICKE [mm] t = 30

KRAFTEINLEITUNG

ANNAHME DER LASTAUSBREITUNG

- IN EBENEN PLATTEN 2 x 45 [deg]
- IN GEKRÜMMTEN SCHALEN 3 x 30 [deg]

WIRKSAMER KRAFTEINLEITUNGSQUERSCHNITT

SCHNITT I-I U.K. DES ZYLINDERBLECH

(MITWIRKENDE TEIL DES SILOPRATZEN = 80%)

[cm²] A11 = 194.3

SCHNITT II-II O.K. DES DREIECKQUERSCHNITT

[cm²] A22 = 182.4

SCHNITT III-III O.K. DES VERSTÄRKUNGSBLECHES

[cm²] A33 = 203.4

MASSGEBEND IST SCHNITT I-I

SPANNUNGSNACHWEIS

$\sigma \times \max / f_{yd} = \eta \times \max = 0.616 < 1.0$

iA
STANELLE
Silo-Anlagentechnik GmbH
D-74363 Güglingen 2

9. Nov 93

Für die Übernahme:

Güglingen, den 9. April 96

STANELLE
Silo-Anlagentechnik GmbH
D-74363 Güglingen 2
[Signature]
Dipl. Ing (FH)

STATISCHE BERECHNUNG FÜR EINEN GESCHRAUBTEN EINZELNEN SILO

1.1.1 ALLGEMEINES

VORSCHRIFTEN: DIN 1055 T.6 [1]

DIN 18800 T.1 [2]

DIN 18800 T.2 [3]

DIN 18800 T.4 [4]

GREINER R. ZUR LÄNGSKRAFTEINLEITUNG IN STEHENDE
ZYLINDRISCHE BEHÄLTER AUS STAHL
DER STAHLBAU 7/84 S.210 [5]

STAHL ST 37

SCHRAUBEN: GÜTE 4.6 DIN 7990

GÜTE 10.9 DIN 6914

SILO-NUMMER NACH PLANUNGSKATALOG DER FA. STANELLE NR 21-55 F
GÜGLINGEN 9.11.1993

1.1.2 SILO-ABMESSUNGEN UND -BELASTUNGEN

SILOVOLUMEN	[m3]	V	=	269
SILO-DURCHMESSER	[mm]	D	=	6000
GESAMTHÖHE	[mm]	g	=	13605
HÖHE DES ZELLENSCHAFTES	[mm]	z	=	8085
HÖHE DES TRICHTERS	[mm]	k	=	4020
HÖHE DES DRUCKRINGS	[mm]	t	=	500
EIGENGEWICHT DES SILOS	[kN]	Gs	=	145
VERTIKALE EINWIRKUNGEN AUS DEM AUFBAU	[kN]	Pa	=	475
BIEGEMOMENT AUS DER AUFBAUKONSTRUKTION	[kNm]	MPa	=	120
WINDKRÄFTE:				
TORSIONSMOMENT AUS DER AUFBAUKONSTRUKTION	[kNm]	MTa	=	180
BIEGEMOMENT AUS DER AUFBAUKONSTRUKTION	[kNm]	Ma	=	45
SCHUBKRAFT AUS DEM AUFBAU O.K.SILO	[kN]	Qa	=	50
EIGENGEWICHT DER UNTERKONSTRUKTION	[kN]	Guk	=	27
TRICHTERNEIGUNG	[deg]	alfa	=	55
STÜTZENZAHL		St	=	4
STÜTZENABSTAND	[mm]	a	=	4242
STÜTZENABSTAND	[mm]	b	=	4242
ABMESSUNGEN DER U.K.STÜTZE - PROFILHÖHE	[mm]	hs	=	350
PROFILBREITE	[mm]	bs	=	300

1.1.3 RECHENWERTE FÜR SCHÜTTGÜTER NACH [1] TABELLE 1

SCHÜTTGUT - Betonkies				
WICHTE	[kN/m3]	gamma	=	18.0
HORIZONTALLASTVERHÄLTNIS		lambda	=	0.60
WANDREIBUNGSBEIWERTE - GESCHRAUBTER STAHLBLECHSILO		mi2	=	0.50
ENTLEERUNGSLASTFAKTOR		eh	=	1.30
SCHÜTTGUTBEIWERTE		betag	=	0.40
BÖSCHUNGSWINKEL	[deg]	delta	=	35
FAKTOR NACH P.3.4 [1]		cb	=	1.50
EINBLASÜBERDRUCK ZUM TROCKEN P.3.7.1 [1]	[kN/m2]	p1	=	0.00
EINBLASSTELLE (STRECKE ZUM AUSLAUF - VERTIKAL)	[mm]	z1	=	0
EINBLASÜBERDRUCK ALS ENTLEERUNGSHILFE P.3.7.2 [1]	[kN/m2]	p11	=	0.00
EINBLASSTELLE (STRECKE ZUM AUSLAUF - VERTIKAL)	[mm]	z11	=	0