

## Rapportage

Project: Silo's a/d Nijverheidslaan te Musselkanaal

Onderdeel: Vergelijking Duitse en Nederlandse normen

Opdr.gever.: Polytech Kunststoffen BV

Projectnr.: 220127

Rapportnr.: 220127-S1-rev0

Versie Datum: Omschrijving:

Versie	Datum:	Omschrijving:
0	06-04-2022	Eerste uitgave

Gecontroleerd	vrijgegeven
Par.:	Par.:
d.d.:	d.d.:

## Inhoud

<b>1</b>	<b>ALGEMEEN</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTEN</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>HOOFDRAPPORT SILO'S</b> .....	<b>3</b>
3.1	ALGEMEEN .....	3
3.1.1	<i>Beschrijving</i> .....	3
3.1.2	<i>Berekeningsgrondslag</i> .....	3
3.1.3	<i>Normen</i> .....	3
3.1.4	<i>Materiaal</i> .....	5
3.1.5	<i>Toetsing</i> .....	5
3.2	BELASTINGEN .....	5
3.2.1	<i>Inleiding</i> .....	5
3.2.2	<i>Sneeuwbelasting</i> .....	5
3.2.3	<i>Windbelasting</i> .....	6
3.2.4	<i>Scheefstand</i> .....	6
3.2.5	<i>Belastingcombinaties</i> .....	7
3.3	CONCLUSIE .....	7
<b>4</b>	<b>HOOFDRAPPORT FUNDERING</b> .....	<b>8</b>
4.1	ALGEMEEN .....	8
4.1.1	<i>Beschrijving</i> .....	8
4.1.2	<i>Berekeningsgrondslag</i> .....	8
4.1.3	<i>Normen</i> .....	8
4.1.4	<i>Materiaal</i> .....	8
4.1.5	<i>Toetsing</i> .....	8
4.2	BELASTINGEN EN BELASTINGCOMBINATIES .....	8
4.3	TOELICHTING BEREKENING FUNDERINGSPLAAT .....	9
4.4	CONCLUSIE .....	9

## 1 Algemeen

In deze rapportage wordt een vergelijking gemaakt van de in de opgestelde Duitse hoofdberekening uitgangspunten en de Nederlandse norm. Tevens worden enkele hoofdstukken vertaald ter verduidelijking van de gehanteerde uitgangspunten. Dit ten behoeve van de bouwaanvraag. Deze rapportage is geen toetsing van de inhoud van de berekeningen en vervangt deze daarom niet. De hoofdrapporten zoals hieronder genoemd blijven daarom van toepassing.

## 2 Documenten

De bij deze rapportage behorende berekeningen van Grote Ingenieursbüro für Tragwerksplanung worden hieronder weergegeven:

- Hoofdrapport silo's 21580\_Kotraco-Polytech\_NL\_Silo; d.d. 13-01-2022
- Hoofdrapport fundering 21580\_Kotraco\_Polytech\_NL\_Grundplatten; d.d. 13-01-2022

De tekening waarop de berekeningen gebaseerd zijn, zijn vervaardigd door Eichholz:

- Ovberzichtstekening 2106040 S3000; Zeichnungnr. 01.3/5859.1; d.d. 05-07-2021

## 3 Hoofdrapport silo's

### 3.1 Algemeen

#### 3.1.1 Beschrijving

De silo's zijn berekend op bulkgoederen. De constructie bestaat uit een kegeldak, een afvoertrechter en een ronde cilinder. De onderste cilinder is als draagframe voor de silo's gevormd.

#### 3.1.2 Berekeningsgrondslag

De berekening is gebaseerd op de huidige geldende staalconstructienormen. Het bewijs van het draagvermogen wordt geleverd wanneer het gebruik (rek/kracht)  $\leq 1$  is.

#### 3.1.3 Normen

De gebruikte normen zijn hieronder weergegeven. De cursief gedrukte normen zijn de vergelijkbare Nederlandse normen. Verderop in dit rapport worden de verschillen in de Duitse en Nederlandse normen behandeld. De doorgehaalde normen over aardbevingsbelasting en explosie zijn niet van toepassing.

EN 1990:2010-12                      Grundlagen der Tragwerksplanung

*NEN-EN 1990+A1+A1\_C2\_2019 nl*

*Grondslagen constructief ontwerp*

*NEN-EN 1990+A1+A1\_C2\_2019\_NB\_2019 nl*

*Nationale bijlage*

EN 1991-1-1:2010-12              Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau

*NEN-EN 1991-1-1+C1+C11\_2019 nl*

*Belastingen op constructies*

*NEN-EN 1991-1-1+C1+C11\_2019\_NB\_2019 nl*

*Nationale bijlage*



EN 1991-1-3:2010-12      Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten

*NEN-EN 1991-1-3+C1-2011 nl*

*Algemene belastingen –  
Sneeuwbelastingen*

*NEN-EN 1991-1-3+C1+A1\_2019\_NB\_2019 nl*

*Nationale bijlage*

EN 1991-1-4:2010-12      Allgemeine Einwirkungen – Windlasten

EN 1991-1-4/NA:2007

Nationaler Anhang Allgemeine Einwirkungen – Windlasten

*NEN-EN 1991-1-4+A1+C2-2011 nl*

*Algemene belastingen –  
Windbelastingen*

*NEN-EN 1991-1-4\_2011+A1+C2\_2011\_NB\_2019+C1\_2020 nl*

*Nationale bijlage*

EN 1991-4:2010              Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter

*NEN-EN 1991-4 2006 en*

*Belastingen op constructies – Silo's en  
opslagtanks*

*NEN-EN 1991-4 2006\_C1 2012 en*

*Nationale bijlage*

EN 1993-1-1:2010-12

Stahlbau - Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

*NEN-EN 1993-1-1+C2+A1\_2016 nl*

*Staalconstructies - algemeen*

*NEN-EN 1993-1-1+C2+A1\_NB\_2016 nl*

*Nationale bijlage*

EN 1993-1-6:2010-12

Stahlbau - Festigkeit und Stabilität von Schalen

*NEN-EN 1993-1-6:2007 en*

*Staalconstructies – schalen*

*NEN-EN 1993-1-6:2007/NB:2020+C1:2009+A1:2017 en*

*Nationale bijlage*

EN 1993-4-1:2010-12

Stahlbau – Silos

*NEN-EN 1993-4-1:2007 en*

*Staalconstructies – Silo's*

*NEN-EN 1993-4-1:2007/NB:2012+C1:2009 en*

*Nationale bijlage*

~~EN 1998-1:2010-12~~

~~Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben~~

~~EN 1998-4:2007-01~~

~~Erdbeben – Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen~~

EN 1999-1-1:2010-05

Aluminium - Allgemeine Bemessungsregeln

*NEN-EN 1999-1-1+A1-2011 nl*

*Aluminiumconstructies - algemeen*

*NEN-EN 1999-1-1+A1-2011-NB-2011 nl*

*Nationale bijlage*

EN 1999-1-5:2010-05

Aluminium – Schalenträgerwerke

*NEN-EN 1999-1-5:2007+C1:2009 en*

*Aluminiumconstructies – schalen*

~~DIN-Fachbericht 140:2005-01 — Auslegung von Siloanlagen gegen Staubexplosionen~~  
~~VDI-Richtlinie 3673:2002-11 — Druckentlastung von Staubexplosionen~~  
[NEN-EN 14491:2012 en — Drukontlastingsystemen voor stofontploffingen](#)  
~~DIN 4149:2005-04 — Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten~~

### 3.1.4 Materiaal

Platen: aluminium EN AW-5754-O/H111  
 Profielen: aluminium EN AW-6060 T66

### 3.1.5 Toetsing

Er mag alleen conform de getoetste statische berekening geproduceerd worden.

## 3.2 **Belastingen**

### 3.2.1 Inleiding

De eigengewichten en belasting van het medium in de silo's worden niet vertaald. De uitwendige belastingen worden hier onder behandeld.

### 3.2.2 Sneeuwbelasting

Standort:	NL-9581 Musselkanaal
Schneelastzone:	2
Bodenschneelast:	$s_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Formbeiwert:	$\mu = 0,80$
Faktor für Norddt. Tiefeebene (2,3/1,5)	$f = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Schneelast auf Silodach:	$s_k \leq 1,00 \text{ kN/m}^2$
Verkehrslast auf Silodach:	$q_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Einzellast auf Silodach	$Q_k = 1,00 \text{ kN}$

*Figuur 1 opgave belastingen conform Duitse norm*

Conform de Nederlandse norm moet gerekend worden met een sneeuwlast van  $p_{Ek;sn} = 0,70 \text{ kN/m}^2$ . Dit is lager dan in de berekening meegenomen en dus akkoord.

### 3.2.3 Windbelasting

**NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2011**

Standort:

Windzone:	2
Basiswindgeschwindigkeit	$v_{b,0} = 27,00 \text{ m/s}$
Basisgeschwindigkeitsdruk:	$q_{b,0} = 0,46 \text{ kN/m}^2$
Geländekategorie:	Gk: II

**Ermittlung nach EN 1991-1-4**

kinematische Zähigkeit:	$v = 15 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$
Silodurchmesser:	$b = 3,000 \text{ m}$
Silohöhe:	$l = 11,250 \text{ m}$
Geschwindigkeitsdruk:	$q = 0,888 \text{ kN/m}^2$
Luftdichte:	$\rho = 1,250 \text{ kg/m}^3$
Windgeschwindigkeit:	$v = 37,69 \text{ m/s}$
Reynoldszahl:	$Re = 7,54E+06$
äquivalente Rauigkeit:	$k = 0,050$
Verhältnis Rauigkeit/Durchmesser:	$k/b = 1,67E-05$
Grundkraftbeiwert:	$c_{f,0} = 0,697$
Grundkraftbeiwert:	$c_{f,0} = 0,007$
Grundkraftbeiwert:	$c_{f,0} = 0,697$
Effektive Schlankheit:	$\lambda = 2,625$
Effektive Schlankheit:	$\lambda = 3,750$
Effektive Schlankheit:	$\lambda = 3,750$
Völligkeitsgrad:	$\varphi = 1,000$
Abminderungsfaktor:	$\psi_\lambda = 0,657$
Kraftbeiwert:	$c_f = 0,458$
<b>Kraftbeiwert:</b>	<b><math>c_f \leq 0,46</math></b>

*Figuur 2 opgave belastingen conform Duitse norm*

Conform de Nederlandse norm moet gerekend worden met een windlast van windgebied II onbebouwd met een hoogte van 11,25 m. De basiswindsnelheden en vormfactoren komen overeen met de Nederlandse norm. De windbelasting  $q = 0,888 \text{ kN/m}^2$  is juist gekozen.

### 3.2.4 Scheefstand

De gekozen scheefstand van 1/100 komt overeen met de Nederlandse norm.

### 3.2.5 Belastingcombinaties

Einwirkung	Nr.	1	2	2	4	5	6	7	8	9	10
		Eigeng.	Füllen	Entleeren	Unterdr.	Überdr.	Nutzlast	Wind	Erdb.	Expl.	Schiefst.
	Index	G <sub>k</sub>	Q <sub>k,f</sub>	Q <sub>k,e</sub>	Q <sub>k,pu</sub>	Q <sub>k,pü</sub>	Q <sub>k,p</sub>	Q <sub>k,w</sub>	A <sub>d,E</sub>	A <sub>d,Ex</sub>	φ
günstig	γ	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
ungünstig	γ	1,35	1,35	1,35	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	
Komb	ψ0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,6	1,0	1,0	
	ψ1		0,9	0,9	0,7	0,7	0,5	0,5			
	ψ2		0,8	0,8	0,5	0,5	0,3	0,0			
A.2	Kombinationen für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen										
D	11	1,35		1,35	1,20		1,05	0,90			
F	12	1,35	1,35			1,20	1,05	0,90			
S	13	1,35	1,35				1,50	0,90			
WF	14	1,35	1,35		1,20		1,05	1,50			
WE	15	0,90						1,50			
	16	1,35			1,50						
	17	1,35				1,50					
A.3	Kombinationen für außergewöhnliche Bemessungssituationen										
E	21	1,00		0,80			0,30			1,00	
c)	Kombinationen für Bemessungssituationen infolge Erdbeben										
SF	31	1,00	0,80				0,30		1,00		
SE	32	1,00					0,30		1,00		

Figuur 3 opgave belastingcombinaties conform Duitse norm

De bovenstaande belastingcombinaties komen overeen met de combinaties conform de Nederlandse norm met gevolgklasse CC2 en een referentieperiode van 50 jaar.

### 3.3 Conclusie

De gehanteerde uitgangspunten vallen binnen de Nederlandse norm.



## **4 Hoofdrapport fundering**

### **4.1 Algemeen**

#### 4.1.1 Beschrijving

Het onderwerp van deze statische berekening is de verificatie van het draagvermogen van de funderingsplaat van de silo.

De constructie bestaat uit twee aangrenzende prefab betonplaten, waarin Halfen HTA korte rails zijn ingebed om de silo te verankeren. De HTA ankerrails zijn zo opgesteld dat de silo op in totaal 12 punten kan worden bevestigd aan de funderingsplaat.

#### 4.1.2 Berekeningsgrondslag

De berekening is gebaseerd op de huidige geldende staalconstructienormen. Het bewijs van het draagvermogen wordt geleverd wanneer het gebruik (rek/kracht)  $\leq 1$  is.

#### 4.1.3 Normen

Zie paragraaf 3.1.3.

#### 4.1.4 Materiaal

Funderingsplaat: beton C45/55, wapening B500A

#### 4.1.5 Toetsing

Er mag alleen conform de getoetste statische berekening geproduceerd worden.

### **4.2 Belastingen en belastingcombinaties**

De belastingen zijn overgenomen uit de berekening van de silo's.



### 4.3 Toelichting berekening funderingsplaat

Het draagvermogen van de betonplaten is bepaald d.m.v. een beschouwing van het totale systeem van de silo met behulp van de eindige-elementenmethode (FE-methode), om het draaggedrag zo realistisch mogelijk weer te geven. De toetsing van de silo zelf is gebaseerd op de bijbehorende statische berekening waarnaar wordt verwezen.

In het FE-model worden de belastingen volgens de bovenstaande statische berekening van de silo overgenomen en dienovereenkomstig als oppervlaktebelasting op de funderingsplaat gezet. Door de som van de belastingen te controleren, wordt gecontroleerd of de belastingen in de orde van grootte met die van de belastingaannames.

De oplegging en verankering van de silo op de vloerplaten is meegemodelleerd als staafelementen. Voor de overdracht van druk- en schuifkrachten worden starre staafelementen gebruikt, die rekenkundig geen trek kunnen opnemen. De verankering op in totaal 12 punten (ankerbouten in Halfen HTA-rails) wordt gesimuleerd met trekstangen, die op hun beurt geen drukspanning kunnen opnemen. Met deze modellering wordt bereikt dat de berekende schuifkrachten alleen over de gebieden van de cilindrische schaal in de Bodemplaat worden doorgegeven.

Deze manier van modellering kan worden gebruikt om de herverdeling van de belasting te creëren die optreedt wanneer de een gapende voeg ontstaat als de silo wordt blootgesteld wordt aan volledige windbelasting.

Voor de berekening wordt een karakteristieke bedding coëfficiënt voor de ondergrond gebruikt van  $c_B = 20000 \text{ kN/m}^3$ . Deze aanname is conservatief. Deze aanname dient in het werk te worden gecontroleerd, eventueel door een grondonderzoek door een geotechnicus.

**De ondergrond moet daarom aan de volgende minimumeisen voldoen:**

**Bedding coëfficiënt:**  $c_B \geq 20000 \text{ kN/m}^3$

**Toegestane bodemdruk:**  $s_B \geq 100 \text{ kN/m}^2$

Voor de betonplaten geldt:

Beton: C45/55

Wapeningsstaal: B500A

Het ontwerp is uitgevoerd voor onderdelen van gewapend beton volgens Eurocode 2 (DIN EN 1992-1-1:2011-01 en DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04) voor de grenstoestand van de capaciteit. Voor lokale effecten wordt de bedding coëfficiënt verhoogd met een factor 1,4.

### 4.4 Conclusie

De gehanteerde uitgangspunten vallen binnen de Nederlandse norm.