

STATISCHE BERECHNUNG

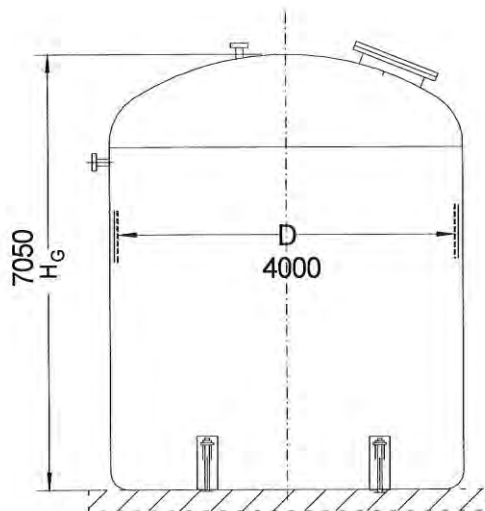


institute for structural plastics

Projekt: 2013-129-S002

ISP Institut für tragende
Kunststoffkonstruktionen GmbH

Abteilung : Ingenieurbüro



Gegenstand :

Doppelwandiger Flachbodenbehälter
aus textilglasfaserverstärktem , ungesättigtem
Polyesterharz (GF - UP)

Typ : 12 / 40 / 80 - F- CSS-3 - 1,2 -30

Füllmedium : Ammoniumsulfat (30%) mit Schwefelsäure (0,5%)
mittlere Betriebstemperatur bis 30°C

Gesamtaufstellungshöhe bis 7,05 m über Gelände.
Aufstellung bis Windzone 2 Binnenland
(ohne Küste und Inseln der Ostsee)

Auftraggeber :

M.I.P. NV
Mertens Industrial Products
Vaart 20
B - 2310 Rijkevorsel

aufgestellt von:

Dipl.-Ing. (FH) Frank Lambertz

Unterschrift:

Hückelhoven, im Dezember 2013

Diese Statische Berechnung besteht aus **34** Seiten und **5** Anlagen

Eine Weitergabe der Statischen Berechnung darf nur in ungekürzter Form erfolgen.

1 Beschreibung

In der nachfolgenden Statischen Berechnung wird der Nachweis der Standsicherheit erbracht für einen

doppelwandigen Flachbodenbehälter
aus textilglasfaserverstärktem , ungesättigtem
Polyesterharz (GF - UP)

Typ : 12 / 40 / 80 - F- CSS-3 - 1,2 -30

Der zylindrische Teil wird als Wickellaminat und das Dach und der Boden als Wirrfaserlaminat hergestellt.

Abmessungen und Betriebsdaten siehe Abschnitt 4 und Anlagen.

Der Behälter wird doppelwandig mit einem Abstandsgewebe zwischen zwei Laminatschichten ausgeführt. In der statischen Berechnung wird der Nachweis für einen einwandigen Behälter geführt. Die zweite innenliegende Laminatschicht wird nicht für den Standsicherheitsnachweis herangezogen.

Die Lamine werden von einer Chemieschutzschicht (CSS-3) geschützt.

Der Behälter darf im Freien aufgestellt werden.

Aufnahme und Weiterleitung der Lasten aus den GF-UP-Bauteilen und die Stahlteile sind **nicht** Gegenstand dieser Berechnung.

Flachbodenbehälter :

maximale Wichte des Füllmediums: $\gamma := 12$ kN/m³

Durchmesser: $D := 4000$ mm

Volumen : $V := 80$ m³

2 Unterlagen

- 2.1 Stand der Beratungen und Erkenntnisse im Sachverständigenausschuß (SVA)
"Kunststoffbehälter und -rohre" des Deutschen Institut für Bautechnik
- 2.2 Berechnungsempfehlungen für stehende Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
(40-B1, Ausgabe Mai 2011)
- Deutsches Institut für Bautechnik -
- 2.3 Medienlisten 40 für Behälter, Auffangvorrichtungen und Rohre aus Kunststoff
Ausgabe September 2011
- Deutsches Institut für Bautechnik -
- 2.4 DIN 18820 Teil 1 bis 4
Lamine aus textilglasverstärkten ungesättigten Polyester- und Phenacrylatharzen
für tragende Bauteile (GF-UP, GF-PHA)

- 2.5 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-40.11-416 vom 26. Juni 2009
Zulassungsgegenstand : Doppelwandige Flachbodenbehälter aus GFK mit innerer Vlies- bzw. Chemieschutzschicht
- 2.6.1 DIN EN 1990 Dezember 2010
Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung,
Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005/AC:2010
- 2.6.2 DIN EN 1991-1-4 Dezember 2010
Eurocode 1 :Einwirkungen auf Tragwerke -Teil 1-4 :Allgemeine Einwirkungen- Windlasten
Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005+ A1:2010 +AC:2010
- 2.6.3 DIN EN 1991-1-3 Dezember 2010
Eurocode 1 : Einwirkungen auf Tragwerke -Teil 1-3 Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten
Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003+AC:2009
- 2.6.4 DIN EN 1991-4 Dezember 2010
Eurocode 1 :Einwirkungen auf Tragwerke -Teil 4 :Allgemeine Einwirkungen- Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter
Deutsche Fassung EN 1991-4:2006
- 2.7 Angaben der Firma M.I.P. NV

3 Materialien / Kennwerte

Die Kennwerte für die Lamine sind 2.4 und 2.5 entnommen.

| | | |
|-------------------|---|---------------|
| Wickellaminat: | DIN 18820 - GF - UP2 - FM4 -n- 35 - CSS-3 | ; FM4 |
| Wirrfaserlaminat: | DIN 18820 - GF - UP2 - M3 -n- 35 - CSS-3 | ; M3 nach 2.4 |

3.1 Allgemeine Kennwerte

| | | | |
|-------------------------------|---|-----|----------------------------------|
| Lochleibungsfestigkeit | : | 150 | N/mm ² |
| Schubfestigkeit | : | 50 | N/mm ² |
| Interlaminare Scherfestigkeit | : | 8 | N/mm ² |
| Interlaminare Zugfestigkeit | : | 4 | N/mm ² |
| Dichte | | | |
| Wickellaminat | : | 1,8 | |
| Wirrfaserlaminat | : | 1,5 | g/cm ³ |
| Wärmedehnzahl | | | |
| Wickellaminat | | | |
| parallel | : | 15 | |
| senkrecht | : | 30 | |
| Wirrfaserlaminat | : | 30 | 10 ⁻⁶ K ⁻¹ |

3.2 Abminderungsfaktoren

| | | | |
|---|------------------|------------------|---|
| Alterungs- und Umgebungseinfluss | $A_{2I} := 1.20$ | $A_{2B} := 1.20$ | Flüssigkeiten mit erheblichem Einfluß auf GFK-Lamine lt. Medienliste 40-2.1.3 hier : 0,5%ige Schwefelsäure sowie Ammoniumsulfat (30%) |
| Temperatureinfluss | $A_{3I} := 1.15$ | $A_{3B} := 1.15$ | nach 2.2 für Harzgruppe 2 (2A) nach DIN 18820 (EN 13121-1) für HDT > 80°C |
| mittlere Betriebstemperatur: Umgebungstemperatur | bis | $T := 30$ | °C |

Einfluss
der Lastdauer
(Einwirkungsdauer)

| | Wickellaminat | | Wirrfaserlamine |
|-----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| | l : Längsrichtung | u : Umfangsrichtung | |
| ständig | $A_{1Igl} := 1.90$ | $A_{1Igu} := 1.60$ | $A_{1Ilg} := 1.8$ |
| | $A_{1Bgl} := 1.70$ | $A_{1Bgu} := 1.45$ | $A_{1Bg} := 1.6$ |
| mittel | $A_{1Isl} := 1.60$ | $A_{1Isu} := 1.40$ | $A_{1Is} := 1.50$ |
| | $A_{1Bsl} := 1.45$ | $A_{1Bsu} := 1.30$ | $A_{1Bs} := 1.40$ |
| sehr kurz | $A_{1Iw} := 1.0$ | | |
| | $A_{1Bw} := 1.0$ | | |

3.3 Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| für Grenzzustände der Tragfähigkeit | $\gamma_{MRK} := 1.4$ |
| | $\gamma_{MRC} := 1.4$ |

3.4 Teilsicherheitsbeiwerte γ_F , Kombinationsbeiwerte**3.4.1 Ständige Einwirkungen**

Eigengewicht, Füllung

$\gamma_G := 1.35$

3.4.2 veränderliche Einwirkungen

$\gamma_Q := 1.5$

3.4.2.1 Windlasten nach DIN EN 1991-1-4

Gesamtaufstellungshöhe bis 7,05 m über Gelände.

Aufstellung bis Windzone 2 Binnenland

(ohne Küste und Inseln der Ostsee)

max. Geschwindigkeitsdruck $q := 0.65$ kN/m² (für Aufstellhöhe bis 10 m über OK Gelände)

Einwirkungsdauer: sehr kurz

Kombinationsbeiwert $\psi_{0w} := 0.6$ **3.4.2.2 Schneelast auf dem Dach nach DIN EN 1991-1-3**charakteristische Schneelast auf dem Boden bis $S_k := 2.00$ kN/m²

$\mu_1 := 0.8$

$S_i := \mu_1 \cdot S_k$

$S_j = 1.6$

kN/m²

Einwirkungsdauer: mittel

Kombinationsbeiwert $\psi_{0s} := 0.7$ **3.4.3 Nutzlasten**

Begehung des Daches durch Einzelpersonen zu Wartungs- und Inspektionszwecken

Ersatzlast von 1 kN/m² ist durch Schneelast abgegolten. Wenn Schnee auf dem Dach liegt, ist er vor der Begehung zu räumen.

Zusätzlich wird nach 2.2 eine Mannlast von 1,5 kN als Einzellast im Festigkeitsnachweis berücksichtigt. (siehe Abschnitt 6.1)

3.4.4 Temperatureinwirkungen

nicht maßgeblich

3.4.5 Über- und Unterdruck

Treten planmäßig nicht auf.

Sie sind durch konstruktive Maßnahmen auszuschließen (z.B. Entlüftungsleitungen)

3.4.6 Unterdruck infolge Windsog

Für belüftete Silos über Ent- und Belüftungsleitung $q_{\min} := 0.65 \quad \text{kN/m}^2$

$$c_p := -0.4 \quad p_{\text{us}} := |c_p \cdot q_{\min}| \quad p_{\text{us}} = 0.26 \quad \text{kN/m}^2$$

Einwirkungsdauer: sehr kurz

3.5 Außergewöhnliche Einwirkungen

Anpralllasten, Erdbebenlasten etc. werden nicht nachgewiesen.

4 Abmessungen und Betriebsdaten

4.1.1 Zylinder

| | | |
|---------------------|---------------------------|----|
| Innendurchmesser: | $D = 4000$ | mm |
| Radius: | $r := \frac{D}{2} = 2000$ | mm |
| zylindrische Länge: | $H_Z := 5950$ | mm |

| | | |
|----------|--|-------|
| Volumen: | $V_Z := \pi \cdot r^2 \cdot H_Z \cdot 10^{-9} = 74.77$ | m^3 |
|----------|--|-------|

4.1.2 Dach ähnlich Klöpperboden

| | | |
|-------|------------------------------|----|
| Höhe: | $H_D := 800$ | mm |
| | $R_D := 2.0 \cdot r = 4000$ | mm |
| | $r_D := 0.100 \cdot D = 400$ | |

| | | |
|--|--|-------|
| | $V_D := 0.775 \cdot r^3 \cdot 10^{-9} = 6.2$ | m^3 |
|--|--|-------|

4.1.3 Boden

Form: Flachboden

| | | | |
|--------------|------------|--------------|----|
| Innenradius: | $R_B := r$ | $R_B = 2000$ | mm |
|--------------|------------|--------------|----|

| | | | |
|-------|--|--------------|----|
| Höhe: | | $H_B := 300$ | mm |
|-------|--|--------------|----|

| | | | |
|----------|--|--------------|-------|
| Volumen: | $V_B := \pi \cdot r^2 \cdot H_B \cdot 10^{-9}$ | $V_B = 3.77$ | m^3 |
|----------|--|--------------|-------|

4.1.4 Gesamthöhe

| | | | |
|--|--------------------------|--------------|----|
| | $H_G := H_B + H_Z + H_D$ | $H_G = 7050$ | mm |
|--|--------------------------|--------------|----|

4.1.5 Gesamtvolumen

| | | |
|--|---------------------------------|-------|
| | $V_G := V_Z + V_B + V_D = 84.7$ | m^3 |
|--|---------------------------------|-------|

| | | |
|---------------|--------------------------------|-------|
| Nutzvolumen : | $V_N := 0.95 \cdot V_G = 80.5$ | m^3 |
|---------------|--------------------------------|-------|

4.2 Betriebsdaten

Überdrücke treten planmäßig nicht auf

ständig wirkend: $p_{üb} := 0.0$ bar

$p_{ü} := p_{üb} \cdot 100$ $p_{ü} = 0$ kN/m²

nicht dauernd wirkend: $p_{ümb} := 0.0$ bar

Differenz $p_{üm} := (p_{ümb} - p_{üb}) \cdot 100$ $p_{üm} = 0$ kN/m²

kurzzeitig wirkend: $p_{ükb} := 0.005$ bar

Differenz $p_{ük} := (p_{ükb} - p_{ümb}) \cdot 100$ $p_{ük} = 0.5$ kN/m²

Unterdrücke treten planmäßig nicht auf

ständig wirkend: $p_{ub} := 0$ bar

$p_u := p_{ub} \cdot 100$ $p_u = 0$ kN/m²

nicht dauernd wirkend: $p_{umb} := 0$ bar

Differenz $p_{um} := (p_{umb} - p_{ub}) \cdot 100$ $p_{um} = 0$ kN/m²

kurzzeitig wirkend: rechnerisch beim Entleeren $p_{ukb} := 0.003$ bar

$p_{uk} := p_{ukb} \cdot 100$ $p_{uk} = 0.3$ kN/m²

Betriebstemperatur: Umgebungstemperatur bis $T = 30$ °C
(mittlere)

Füllmedium: 0,5%ige Schwefelsäure
sowie Ammoniumsulfat (30%)

Flüssigkeiten mit erheblichem Einfluß auf GFK- Lamine nach 2.3 $A_{2I} = 1.2$ $A_{2B} = 1.2$

Wichte: $\gamma = 12$ $\frac{kN}{m^3}$ Rauminhalt bis h_F $V_G = 84.7$ m³

max. Füllhöhe: $h_F := \frac{V_G}{\pi \cdot r^2} \cdot 0.95 \cdot 10^6$ $h_F = 6.406$ m
(für Berechnung)

Last des Füllgutes: $G_F := \gamma \cdot V = 960$ kN

Eigenlast: (kleiner als) $G_E := 35$ kN

Gesamtlast: $G_G := G_F + G_E = 995$ kN

Aufstellungsort: **Im Freien**

5 Stabilitätsuntersuchung

Die Beulberechnung wird entsprechend DIN EN 1993-1-6:2010-12 "Festigkeits- und Stabilität von Schalen" durchgeführt.

5.1 Dach Typ : 12/ 40 / 80-F-CSS-3-1,2-30

$r = 2000$ mm Form : Klöpperboden $R_D = 4000$

Laminat : M3 DIN 18820 $E_{0k} := 7300$ N/mm²

tragende Laminatdicke $t_D := 9.0$ mm

$$p_{kD} := 0.242 \cdot E_{0k} \cdot \left(\frac{t_D}{R_D} \right)^2 \cdot 10^3 \quad p_{kD} = 8.943 \quad \text{kN/m}^2$$

5.1.1 Belastung

5.1.1.1 Eigengewicht

$\rho_M := 1.52$ g/cm³ Dicke der Oberflächenschichten max. $c_L := 1.0$

$$g_D := 1.3 \cdot \rho_M \cdot 10 \cdot (t_D + c_L) \cdot 10^{-3} \quad g_D = 0.198 \quad \text{kN/m}^2$$

5.1.1.2 Schnee (Ersatzlast Verkehrs-)

$s_i = 1.60$ kN/m²

5.1.1.3 Unterdrücke

$p_{us} = 0.26$ kN/m²

5.1.2 Nachweise

Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT)

$$\gamma_G = 1.35 \quad \gamma_Q = 1.5 \quad \psi_{0w} = 0.6$$

Bemessungswert der Einwirkungen

$$E_{dD} := \gamma_G \cdot A_{1Ig} \cdot g_D + \gamma_Q \cdot A_{1Is} \cdot s_i + \gamma_Q \cdot \psi_{0w} \cdot p_{us} = 4.314 \quad \text{kN/m}^2$$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

$$\gamma_{MRC} = 1.4 \quad A_{2I} = 1.2 \quad A_{3I} = 1.15$$

$$R_{dD} := \frac{p_{kD}}{A_{2I} \cdot A_{3I} \cdot \gamma_{MRC}} \quad R_{dD} = 4.629 \quad \text{kN/m}^2$$

Nachweis

$$\frac{E_{dD}}{R_{dD}} = 0.932$$

5.2 Zylinder

Laminat : FM4

$\rho_Z := 1.8 \text{ g/cm}^3$

$A_{2I} = 1.2$

$A_{3I} = 1.15$

$A_{1Igu} = 1.60$

$A_{1Isu} = 1.40$

$A_{1Igl} = 1.9$

$A_{1Isl} = 1.60$

Abmessungen : $r = 2000$

$H_Z = 5950$

5% Fraktilen :

$i := 0 .. 5$

$z_i :=$

$t_{z_i} :=$

$E_{uB_i} :=$

$E_{IB_i} :=$

| | |
|-----|---|
| 1.0 | m |
| 2.0 | |
| 3.0 | |
| 4.0 | |
| 5.0 | |
| 6.0 | |

| |
|------|
| 6.2 |
| 7.3 |
| 8.4 |
| 8.4 |
| 9.4 |
| 10.5 |

| |
|------|
| 7437 |
| 7524 |
| 7596 |
| 7596 |
| 7646 |
| 7690 |

| |
|------|
| 6343 |
| 6336 |
| 6329 |
| 6329 |
| 6322 |
| 6322 |

5.2.1 Beanspruchung durch Axiallast

Jeder Schuß wird mit seiner Wanddicke t_{z_i}

für den im Schuß vorhandenen Axialdruck nachgewiesen.

$r = 2000$

5.2.1.1 Rotationssymmetrische konstante Axiallast

Für den Kreiszyylinder mittlerer Länge ist

$$n_{kr_i} := k_{z_i} \cdot \sqrt{E_{uB_i} \cdot E_{IB_i}} \cdot \frac{(t_{z_i})^2}{r}$$

$$k_{z_i} := \frac{0.419}{\sqrt{1 + \frac{r}{100 \cdot t_{z_i}}}}$$

$k_{z_i} =$

kN/m

$n_{kr_i} =$

| |
|-------|
| 0.204 |
| 0.217 |
| 0.228 |
| 0.228 |
| 0.237 |
| 0.246 |

| |
|--------|
| 26.907 |
| 39.86 |
| 55.742 |
| 55.742 |
| 72.774 |
| 94.493 |

5.2.1.2 Biegebeanspruchung

Die Membrankräfte in Axialrichtung aus Wind dürfen bei Überlagerung mit den Lasten aus Füllung um den Faktor

$$k_{Bi} := 1.2 \quad \text{verringert werden.}$$

5.2.2 Schnittkräfte

(kN/m)

$$c_L = 1.0$$

mm

$$r = 2000$$

5.2.2.1 Eigenlast

$$g_i := \rho_Z \cdot 10 \cdot (t_{z_i} + c_L) \cdot 10^{-3}$$

$$n_{g_i} := \left[\sum_j [g_j \cdot (j \leq i)] \right] \quad j := 0..5$$

kN/m

$g_i =$

| |
|-------|
| 0.13 |
| 0.149 |
| 0.169 |
| 0.169 |
| 0.187 |
| 0.207 |

$n_{g_i} =$

| |
|-------|
| 0.13 |
| 0.279 |
| 0.448 |
| 0.617 |
| 0.805 |
| 1.012 |

5.2.2.2 Lasten aus Füllgut

keine Beanspruchung in Längsrichtung

$$\gamma = 12$$

kN/m³

5.2.2.3 Schnee (Ersatzverkehrslast)

$$n_s := s_i \cdot \frac{r}{2} \cdot 10^{-3}$$

$$n_s = 1.6$$

kN/m

5.2.2.4 Infolge Innendruck

$$n_{\ddot{u}} := p_{\ddot{u}} \cdot \frac{r}{2} \cdot 10^{-3}$$

$$n_{\ddot{u}} = 0$$

$$n_{\ddot{u}m} := p_{\ddot{u}m} \cdot \frac{r}{2} \cdot 10^{-3}$$

$$n_{\ddot{u}m} = 0$$

$$n_{\ddot{u}k} := p_{\ddot{u}k} \cdot \frac{r}{2} \cdot 10^{-3}$$

$$n_{\ddot{u}k} = 0.5 \quad \text{kN/m}$$

$$n_u := p_u \cdot \frac{r}{2} \cdot 10^{-3}$$

$$n_u = 0$$

$$n_{um} := p_{um} \cdot \frac{r}{2} \cdot 10^{-3}$$

$$n_{um} = 0$$

$$n_{uk} := p_{uk} \cdot \frac{r}{2} \cdot 10^{-3}$$

$$n_{uk} = 0.3 \quad \text{kN/m}$$

5.2.2.5 Wind $q = 0.65 \text{ kN/m}^2$

Gesamthöhe: $H_G = 7050 \text{ mm}$

$H_D = 800 \text{ mm}$ $H_Z = 5950 \text{ mm}$

$c_1 := 0.8$

$c_2 := 1.6$

$A_{W2} := 0.20 \text{ m}^2$

$$w := q \cdot \left(c_1 \cdot 2 \cdot \frac{r}{10^3} + c_2 \cdot A_{W2} \right)$$

$w = 2.288 \text{ kN/m}$

$$M_{W_i} := \frac{w \cdot (z_i + H_D \cdot 10^{-3} + H_B \cdot 10^{-3})^2}{2}$$

$$n_{W_i} := \frac{M_{W_i}}{\pi \cdot r^2} \cdot 10^6$$

| m | $z_i = \text{kNm}$ | $M_{W_i} = \text{kNm}$ | $n_{W_i} =$ |
|---|--------------------|------------------------|-------------|
| 1 | | 5.045 | 0.401 |
| 2 | | 10.994 | 0.875 |
| 3 | | 19.231 | 1.53 |
| 4 | | 29.755 | 2.368 |
| 5 | | 42.568 | 3.387 |
| 6 | | 57.669 | 4.589 |

5.2.3 Nachweise

kN/m

| | $n_{W_i} =$ | $n_{g_i} =$ | $n_{kr_i} =$ |
|----------------|-------------|-------------|--------------|
| $n_s = 1.6$ | 0.401 | 0.13 | 26.907 |
| $n_u = 0$ | 0.875 | 0.279 | 39.86 |
| $n_{um} = 0$ | 1.53 | 0.448 | 55.742 |
| | 2.368 | 0.617 | 55.742 |
| | 3.387 | 0.805 | 72.774 |
| $n_{uk} = 0.3$ | 4.589 | 1.012 | 94.493 |

Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

$A_{2I} = 1.2$

$A_{3I} = 1.15$

$\gamma_{MRC} = 1.4$

$$n_{krd1_i} := \frac{n_{kr_i}}{A_{2I} \cdot A_{3I} \cdot \gamma_{MRC}}$$

$$n_{krd2_i} := \frac{n_{kr_i}}{A_{2I} \cdot \gamma_{MRC}}$$

kN/m

kN/m

$n_{krd1_i} =$

$n_{krd2_i} =$

| |
|------|
| 13.9 |
| 20.6 |
| 28.9 |
| 28.9 |
| 37.7 |
| 48.9 |

| |
|------|
| 16.0 |
| 23.7 |
| 33.2 |
| 33.2 |
| 43.3 |
| 56.2 |

$$E_{3d_i} := \gamma_Q \cdot \left[\sqrt{\sqrt{A_{1Isu} \cdot A_{1Isl}}} \cdot (n_s + n_{um}) \right] + \gamma_G \cdot \sqrt{\sqrt{A_{1Igu} \cdot A_{1Igl}}} \cdot (n_{g_i} + n_u)$$

$$E_{4ad_i} := \gamma_Q \cdot \left[\sqrt{\sqrt{A_{1Isu} \cdot A_{1Isl}}} \cdot (0.7n_s + n_{um}) \right] + \gamma_G \cdot \sqrt{\sqrt{A_{1Igu} \cdot A_{1Igl}}} \cdot (n_{g_i} + n_u) + \gamma_Q \cdot \frac{n_{w_i}}{k_{Bi}}$$

$$E_{4bd_i} := \gamma_Q \cdot \left[\sqrt{\sqrt{A_{1Isu} \cdot A_{1Isl}}} \cdot (n_{um}) \right] + \gamma_G \cdot \sqrt{\sqrt{A_{1Igu} \cdot A_{1Igl}}} \cdot (n_{g_i} + n_u) + \gamma_Q \cdot \frac{n_{w_i}}{k_{Bi}}$$

$$E_{5ad_i} := \gamma_Q \cdot \left[\sqrt{\sqrt{A_{1Isu} \cdot A_{1Isl}}} \cdot (0.7n_s + n_{um}) \right] + \gamma_G \cdot \sqrt{\sqrt{A_{1Igu} \cdot A_{1Igl}}} \cdot (n_{g_i} + n_u)$$

$$E_{5bd_i} := \gamma_Q \cdot \left[\sqrt{\sqrt{A_{1Isu} \cdot A_{1Isl}}} \cdot (n_{um}) \right] + \gamma_G \cdot \sqrt{\sqrt{A_{1Igu} \cdot A_{1Igl}}} \cdot (n_{g_i} + n_u)$$

Bemessungswerte der Einwirkungen

kN/m

$E_{3d_i} =$

$E_{4ad_i} =$

$E_{4bd_i} =$

$E_{5ad_i} =$

$E_{5bd_i} =$

| |
|-----|
| 3.2 |
| 3.4 |
| 3.7 |
| 4.0 |
| 4.4 |
| 4.7 |

| |
|------|
| 2.79 |
| 3.65 |
| 4.77 |
| 6.12 |
| 7.72 |
| 9.59 |

| |
|------|
| 0.73 |
| 1.59 |
| 2.71 |
| 4.06 |
| 5.67 |
| 7.54 |

| |
|------|
| 2.29 |
| 2.55 |
| 2.85 |
| 3.16 |
| 3.49 |
| 3.86 |

| |
|------|
| 0.23 |
| 0.50 |
| 0.80 |
| 1.10 |
| 1.43 |
| 1.80 |

Nachweise

| $Z_i =$ | $t_{z_i} =$ | $\frac{E_{3d_i}}{n_{krd1_i}} =$ | $\frac{E_{4ad_i}}{n_{krd2_i}} =$ | $\frac{E_{4bd_i}}{n_{krd1_i}} =$ | $\frac{E_{5ad_i}}{n_{krd2_i}} =$ | $\frac{E_{5bd_i}}{n_{krd1_i}} =$ |
|---------|-------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | 6.2 | 0.227 | 0.174 | 0.053 | 0.143 | 0.017 |
| 3 | 7.3 | 0.166 | 0.154 | 0.077 | 0.108 | 0.024 |
| 4 | 8.4 | 0.129 | 0.144 | 0.094 | 0.086 | 0.028 |
| 5 | 8.4 | 0.14 | 0.184 | 0.141 | 0.095 | 0.038 |
| 6 | 9.4 | 0.116 | 0.178 | 0.15 | 0.081 | 0.038 |
| | 10.5 | 0.097 | 0.171 | 0.154 | 0.069 | 0.037 |

5.2.4 Leerer Behälter

Beispiel : $Z_5 = 6$ m z entspricht Hz entspricht Zylinderlänge l

5.2.4.2 Beanspruchung durch Radialdruck

nach DIN EN 1993-1-6:2010-12 Bild D6

$l := Z_5$

$l_a := 3.0$ $l_b := 1.5$ $l_c := 1.5$ $l = 6$ m
 $t_a := 7.3$ $t_b := 8.73$ $t_c := 10.13$ mm

$\frac{l_a}{l} = 0.5$ $\frac{t_b}{t_a} = 1.196$ $\frac{t_c}{t_a} = 1.388$ $t_{z_i} =$ $E_{uB_i} =$ $E_{lB_i} =$

| | | |
|------|------|------|
| 6.2 | 7437 | 6343 |
| 7.3 | 7524 | 6336 |
| 8.4 | 7596 | 6329 |
| 8.4 | 7596 | 6329 |
| 9.4 | 7646 | 6322 |
| 10.5 | 7690 | 6322 |

Faktor : $\kappa := 0.62$

$E_{uBm} := 7596$ $E_{lBm} := 6329$

$E_v := \sqrt{\sqrt{E_{uBm}^3 \cdot E_{lBm}}}$ $E_v = 7257$ N/mm²

$p_{kr} := 0.85 \cdot \kappa \cdot E_v \cdot \frac{r}{l_a} \cdot \left(\frac{t_a}{r}\right)^{2.5}$ $p_{kr} = 2.052$ kN/m²

$$p_{krd1} := \frac{p_{kr}}{A_{2l} \cdot A_{3l} \cdot \gamma_{MRC}}$$

$$A_{2l} = 1.2 \quad A_{3l} = 1.15 \quad \gamma_{MRC} = 1.4$$

$$p_{krd1} = 1.062 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{krd2} := \frac{p_{kr}}{A_{2l} \cdot \gamma_{MRC}}$$

$$p_{krd2} = 1.222 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\max q_j := 0.65 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{uk} = 0.3 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{eu} := 0.46 \cdot \left(1 + 0.1 \cdot \sqrt{1.0 \cdot \frac{r}{l \cdot 10^3} \cdot \sqrt{\frac{r}{t_b}}} \right) \cdot \max q_j = 0.366 \quad \text{kN/m}^2$$

$$p_{us} := \max q_j \cdot 0.4 = 0.26$$

$$E_{u4d_i} := \gamma_Q \cdot (p_{us} + p_{eu})$$

kN/m²

$$E_{u4d_i} =$$

| |
|-------|
| 0.939 |
| 0.939 |
| 0.939 |
| 0.939 |
| 0.939 |
| 0.939 |

$$E_{u5d_i} := \gamma_Q \cdot (p_{uk})$$

kN/m²

$$E_{u5d_i} =$$

| |
|------|
| 0.45 |
| 0.45 |
| 0.45 |
| 0.45 |
| 0.45 |
| 0.45 |

Nachweise

$$\left(\frac{E_{4ad_i}}{\eta_{krd2_i}} \right)^{1.25} + \left(\frac{E_{u4d_i}}{\rho_{krd2}} \right)^{1.25} =$$

| |
|-------|
| 0.832 |
| 0.816 |
| 0.808 |
| 0.841 |
| 0.836 |
| 0.83 |

$$\left(\frac{E_{4bd_i}}{\eta_{krd1_i}} \right)^{1.25} + \left(\frac{E_{u4d_i}}{\rho_{krd1}} \right)^{1.25} =$$

| |
|-------|
| 0.883 |
| 0.898 |
| 0.909 |
| 0.944 |
| 0.951 |
| 0.954 |

$$\left(\frac{E_{5ad_i}}{\eta_{krd2_i}} \right)^{1.25} + \left(\frac{E_{u5d_i}}{\rho_{krd2}} \right)^{1.25} =$$

| |
|-------|
| 0.375 |
| 0.349 |
| 0.334 |
| 0.34 |
| 0.33 |
| 0.322 |

$$\left(\frac{E_{5bd_i}}{\eta_{krd1_i}} \right)^{1.25} + \left(\frac{E_{u5d_i}}{\rho_{krd1}} \right)^{1.25} =$$

| |
|-------|
| 0.348 |
| 0.351 |
| 0.353 |
| 0.359 |
| 0.359 |
| 0.358 |

6 Festigkeitsnachweise**6.1 Dach**

Laminat : M3 DIN 18820

Laminat : M3 DIN 18820 $n_{tk} := 85$ N/mm/mm $m_{tk} := 18$ Nm/m/mm²

$$t_D = 9 \quad t_{Dk} := t_D \quad t_{Dk} = 9 \quad \text{mm} \quad E_{om} := 9100 \text{ N/mm}^2$$

$$n_{Dk} := n_{tk} \cdot t_D \quad n_{Dk} = 765 \quad \text{N/mm}$$

$$m_{Dk} := m_{tk} \cdot t_{Dk}^2 \quad m_{Dk} = 1458 \quad \text{Nm/m}$$

Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

$$A_{2B} = 1.2$$

$$A_{3B} = 1.15$$

$$\gamma_{MRK} = 1.4$$

$$n_{DRd1} := \frac{n_{Dk}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}} = 396$$

$$m_{DRd1} := \frac{m_{Dk}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}} = 754.7$$

$$n_{DRd2} := \frac{n_{Dk}}{A_{2B} \cdot \gamma_{MRK}} = 455.4$$

$$m_{DRd2} := \frac{m_{Dk}}{A_{2B} \cdot \gamma_{MRK}} = 867.9$$

6.1.1 Schnittkräfte

Form : Klöpperboden

$$R_D = 4000$$

$$\text{Kalotte : } n_{üD} := 0.6 \cdot p_{ü} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 0$$

$$n_{üMD} := 0.6 \cdot p_{üm} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 0$$

$$n_{ükD} := 0.6 \cdot p_{ük} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 1.2$$

$$n_{uD} := 0.6 \cdot p_u \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 0$$

$$n_{uMD} := 0.6 \cdot p_{um} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 0$$

$$n_{ukD} := 0.6 \cdot p_{uk} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 0.72$$

$$n_{gDs} := 0.6 \cdot g_D \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 0.474$$

$$n_{sD} := 0.6 \cdot s_i \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 3.84$$

$$n_{usD} := 0.6 \cdot p_{us} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-3} = 0.624$$

Mannlast :

$$F_{MD} := 1.5 \quad \text{kN} \quad \text{nach 2.2}$$

$$m_{MD} := 0.2 \cdot F_{MD} \cdot 10^3$$

$$m_{MD} = 300 \quad \text{Nm/m}$$

Krempe :

$$m_{\ddot{u}D} := 0.25 \cdot p_{\ddot{u}} \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 0$$

$$m_{\ddot{u}mD} := 0.25 \cdot p_{\ddot{u}m} \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 0$$

$$m_{\ddot{u}kD} := 0.25 \cdot p_{\ddot{u}k} \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 4.5$$

$$m_{uD} := 0.25 \cdot p_u \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 0$$

$$m_{umD} := 0.25 \cdot p_{um} \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 0$$

$$m_{ukD} := 0.25 \cdot p_{uk} \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 2.7$$

$$m_{gDs} := 0.25 \cdot g_D \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 1.778$$

$$m_{sD} := 0.25 \cdot s_i \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 14.4$$

Kalotte :

$$m_{usD} := 0.25 \cdot p_{us} \cdot 2 \cdot r \cdot t_{DK} \cdot 10^{-3} = 2.34$$

$$E_{zDd} := \gamma_Q \cdot (A_{1Bg} \cdot n_{\ddot{u}D} + A_{1Bs} \cdot n_{\ddot{u}mD} + n_{\ddot{u}kD}) = 1.8$$

$$E_{D3d} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (n_{umD} + n_{sD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot (n_{gDs} + n_{uD}) = 9.088$$

$$E_{D4ad} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (0.7n_{sD} + n_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{gDs} + n_{uD}) + \gamma_Q \cdot n_{usD} = 7.871$$

$$E_{D4bd} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (n_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{gDs} + n_{uD}) + \gamma_Q \cdot n_{usD} = 2.024$$

$$E_{D5ad} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (0.7n_{sD} + n_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{gDs} + n_{uD}) + \gamma_Q \cdot n_{ukD} = 8.015$$

$$E_{D5bd} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (n_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{gDs} + n_{uD}) + \gamma_Q \cdot n_{ukD} = 2.168$$

aus Mannlast :

$$E_{MDd} := \gamma_Q \cdot m_{MD} = 450 \quad \text{Nm/m}$$

Krempe :

$$E_{zDkd} := \gamma_Q \cdot (A_{1Bg} \cdot m_{\ddot{u}D} + A_{1Bs} \cdot m_{\ddot{u}mD} + m_{\ddot{u}kD}) = 6.75$$

$$E_{Dk3d} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (m_{umD} + m_{sD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot (m_{gDs} + m_{uD}) = 34.081$$

$$E_{Dk4ad} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (0.7m_{sD} + m_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (m_{gDs} + m_{uD}) + \gamma_Q \cdot m_{usD} = 29.515$$

$$E_{Dk4bd} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bs} \cdot (m_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (m_{gDs} + m_{uD}) + \gamma_Q \cdot m_{usD} = 7.591$$

$$E_{DK5ad} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bsl} \cdot (0.7m_{sD} + m_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (m_{gDs} + m_{uD}) + \gamma_Q \cdot m_{ukD} = 30.055$$

$$E_{DK5bd} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bsl} \cdot (m_{umD})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (m_{gDs} + m_{uD}) + \gamma_Q \cdot m_{ukD} = 8.131$$

Kalotte :

$$\frac{E_{zDd}}{n_{DRd1}} = 0.005 \quad \frac{E_{D3d}}{n_{DRd1}} = 0.023 \quad \frac{E_{D4ad}}{n_{DRd2}} = 0.017 \quad \frac{E_{D4bd}}{n_{DRd1}} = 0.005$$

aus Mannlast :

$$\frac{E_{MDd}}{m_{DRd1}} = 0.596 \quad \frac{E_{D5ad}}{n_{DRd2}} = 0.018 \quad \frac{E_{D5bd}}{n_{DRd1}} = 0.005$$

Krempe :

$$\frac{E_{zDkd}}{m_{DRd1}} = 0.009 \quad \frac{E_{Dk3d}}{m_{DRd1}} = 0.045 \quad \frac{E_{Dk4ad}}{m_{DRd2}} = 0.034 \quad \frac{E_{Dk4bd}}{m_{DRd1}} = 0.01$$

Krempe :

$$\frac{E_{Dk5ad}}{m_{DRd2}} = 0.035 \quad \frac{E_{Dk5bd}}{m_{DRd1}} = 0.011$$

Dehnungsnachweise :

Kalotte :

$$\varepsilon_{zd} := \frac{n_{üD} + n_{ümD} + n_{ükD}}{t_D \cdot E_{om}} \cdot 10^2 = 0.001$$

Krempe :

$$\varepsilon_{dk} := \frac{(m_{üD} + m_{ümD} + m_{ükD}) \cdot 6}{t_{Dk}^2 \cdot E_{om}} \cdot 10^2 = 0.004$$

Grenzdehnung Laminat M3

$$\varepsilon_{M3grenzd} := 0.2$$

%

(nach 2.3 wegen wirkender
Anteile von H_2SO_4)

Nachweise :

$$\frac{\varepsilon_{zd}}{\varepsilon_{M3grenzd}} = 0.007$$

$$\frac{\varepsilon_{dk}}{\varepsilon_{M3grenzd}} = 0.018$$

$$l_{Dk} := \sqrt{D \cdot t_{Dk}}$$

$$l_{Dk} = 189.7$$

6.2 Zylinder

Laminat : FM4 nach 2.5

$A_{2B} = 1.2$ $A_{3B} = 1.2$ $A_{1Bgu} = 1.45$ $A_{1Bgl} = 1.7$

$A_{2I} = 1.2$ $A_{3I} = 1.2$ $A_{1Bsu} = 1.3$ $A_{1Bsl} = 1.45$

$A_{1Igu} = 1.60$ $A_{1Igl} = 1.9$

$A_{1Isu} = 1.40$ $A_{1Isl} = 1.6$

Abmessungen: $r = 2000$ $h_F = 6.406$ m $h_{Fz} := h_F \cdot 10^3 - H_B$

$h_{Fz} = 6106$ mm $H_z = 5950$ mm

| m | mm | N/mm ² | | N/mm | | | |
|---------|-------------|-------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $z_i =$ | $t_{z_i} =$ | $E_{uB_i} =$ | $E_{IB_i} =$ | $E_{IZ_i} :=$ | $E_{uZ_i} :=$ | $n_{Bu_i} :=$ | $n_{BI_i} :=$ |
| 1 | 6.2 | 7437 | 6343 | 6350 | 7927 | 720 | 432 |
| 2 | 7.3 | 7524 | 6336 | 6336 | 7949 | 850 | 504 |
| 3 | 8.4 | 7596 | 6329 | 6329 | 7970 | 979 | 576 |
| 4 | 8.4 | 7596 | 6329 | 6329 | 7970 | 979 | 576 |
| 5 | 9.4 | 7646 | 6322 | 6322 | 7985 | 1109 | 648 |
| 6 | 10.5 | 7690 | 6322 | 6322 | 7988 | 1238 | 720 |

Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

$A_{2I} = 1.2$

$A_{3I} = 1.15$

$\gamma_{MRK} = 1.4$

$n_{BuRd1_i} := \frac{n_{Bu_i}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}}$

$n_{BIRd1_i} := \frac{n_{BI_i}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}}$

$n_{BuRd1_i} =$

$n_{BIRd1_i} =$

$n_{BuRd2_i} := \frac{n_{Bu_i}}{A_{2B} \cdot \gamma_{MRK}}$

$n_{BIRd2_i} := \frac{n_{BI_i}}{A_{2B} \cdot \gamma_{MRK}}$

| |
|-----|
| 373 |
| 440 |
| 507 |
| 507 |
| 574 |
| 641 |

| |
|-----|
| 224 |
| 261 |
| 298 |
| 298 |
| 335 |
| 373 |

| kN/m | kN/m |
|-----------------|-----------------|
| $n_{BuRd2_i} =$ | $n_{BIRd2_i} =$ |
| 429 | 257 |
| 506 | 300 |
| 583 | 343 |
| 583 | 343 |
| 660 | 386 |
| 737 | 429 |

6.2.1 Längsrichtung

6.2.1.1 Schnittkräfte

entsprechend 5.2.2

6.2.1.2 Nachweise

$$E_{Iz5d_i} := \gamma_Q \cdot (A_{1Bgl} \cdot n_{\ddot{u}} + A_{1Bsl} \cdot n_{\ddot{u}m} + n_{\ddot{u}k})$$

Grenzdehnung Laminat FM4 in Achsrichtung nach 2.2 $\epsilon_{Igrenzd} := 0.20 \%$ (wirkende Anteile von H_2SO_4 sind damit nach 2.3 ebenfalls abgedeckt)

$$\epsilon_{I5d_i} := \frac{n_{\ddot{u}} + n_{\ddot{u}m} + n_{\ddot{u}k}}{t_{z_i} \cdot E_{Iz_i} \cdot 1.25} \cdot 10^2$$

Es werden nachfolgend die mittleren E-Moduln nach 2.2 berücksichtigt. Daher werden die 5% Fraktilewerte der E-Moduln um den Faktor

$$\frac{1}{0.8} = 1.25$$

$$E_{Iz4d_i} := \gamma_Q \cdot (A_{1Bgl} \cdot n_{\ddot{u}} + A_{1Bsl} \cdot n_{\ddot{u}m} + n_{w_i})$$

$$\epsilon_{I4d_i} := \frac{(n_{\ddot{u}} + n_{\ddot{u}m} + n_{w_i})}{t_{z_i} \cdot E_{Iz_i} \cdot 1.25} \cdot 10^2$$

%

$$\epsilon_{Igrenzd} = 0.2 \%$$

$z_i =$

| |
|---|
| 1 |
| 2 |
| 3 |
| 4 |
| 5 |
| 6 |

$t_{z_i} =$

| |
|------|
| 6.2 |
| 7.3 |
| 8.4 |
| 8.4 |
| 9.4 |
| 10.5 |

$$\frac{E_{Iz5d_i}}{n_{BIRd1_i}} =$$

| |
|-------|
| 0.003 |
| 0.003 |
| 0.003 |
| 0.003 |
| 0.003 |
| 0.002 |
| 0.002 |

$$\frac{E_{Iz4d_i}}{n_{BIRd1_i}} =$$

| |
|-------|
| 0.003 |
| 0.005 |
| 0.008 |
| 0.012 |
| 0.015 |
| 0.018 |

%

$$\epsilon_{I5d_i} =$$

| |
|-------|
| 0.001 |
| 0.001 |
| 0.001 |
| 0.001 |
| 0.001 |
| 0.001 |
| 0.001 |

%

$$\epsilon_{I4d_i} =$$

| |
|-------|
| 0.001 |
| 0.002 |
| 0.002 |
| 0.004 |
| 0.005 |
| 0.006 |

$$E_{Id3d_i} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bsl} \cdot (n_s + n_{um})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{g_i} + n_u)$$

$$E_{Id4ad_i} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bsl} \cdot (0.7n_s + n_{um})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{g_i} + n_u) + \gamma_Q \cdot n_{w_i}$$

$$E_{Id4bd_i} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bsl} \cdot (n_{um})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{g_i} + n_u) + \gamma_Q \cdot n_{w_i}$$

$$E_{Id5ad_i} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bsl} \cdot (0.7n_s + n_{um})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{g_i} + n_u)$$

$$E_{Id5bd_i} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bsl} \cdot (n_{um})] + \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{g_i} + n_u)$$

kN/m

$E_{Id3d_i} =$

| |
|------|
| 3.78 |
| 4.12 |
| 4.51 |
| 4.90 |
| 5.33 |
| 5.80 |

$E_{Id4ad_i} =$

| |
|-------|
| 3.34 |
| 4.39 |
| 5.76 |
| 7.40 |
| 9.36 |
| 11.64 |

$E_{Id4bd_i} =$

| |
|------|
| 0.90 |
| 1.95 |
| 3.32 |
| 4.97 |
| 6.93 |
| 9.21 |

$E_{Id5ad_i} =$

| |
|------|
| 2.73 |
| 3.08 |
| 3.46 |
| 3.85 |
| 4.28 |
| 4.76 |

$E_{Id5bd_i} =$

| |
|------|
| 0.30 |
| 0.64 |
| 1.03 |
| 1.42 |
| 1.85 |
| 2.32 |

| | | | | | | |
|---------|-------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $z_i =$ | $t_{z_i} =$ | $\frac{E_{Id3d_i}}{n_{BIRd1_i}} =$ | $\frac{E_{Id4ad_i}}{n_{BIRd2_i}} =$ | $\frac{E_{Id4bd_i}}{n_{BIRd1_i}} =$ | $\frac{E_{Id5ad_i}}{n_{BIRd2_i}} =$ | $\frac{E_{Id5bd_i}}{n_{BIRd1_i}} =$ |
| 1 | 6.2 | 0.017 | 0.013 | 0.004 | 0.011 | 0.001 |
| 2 | 7.3 | 0.016 | 0.015 | 0.007 | 0.01 | 0.002 |
| 3 | 8.4 | 0.015 | 0.017 | 0.011 | 0.01 | 0.003 |
| 4 | 8.4 | 0.016 | 0.022 | 0.017 | 0.011 | 0.005 |
| 5 | 9.4 | 0.016 | 0.024 | 0.021 | 0.011 | 0.006 |
| 6 | 10.5 | 0.016 | 0.027 | 0.025 | 0.011 | 0.006 |

6.2.2 Umfangsrichtung

$\gamma = 12$ $\frac{kN}{m^3}$ $D = 4000$ mm

6.2.2.1 Schnittkräfte

kN/m : N/mm

$n_{\ddot{u}u} := p_{\ddot{u}} \cdot \frac{D}{2} \cdot 10^{-3}$ $n_{\ddot{u}u} = 0$

$n_{\ddot{u}mu} := p_{\ddot{u}m} \cdot \frac{D}{2} \cdot 10^{-3}$ $n_{\ddot{u}mu} = 0$

$n_{Fu_i} := \gamma \cdot (z_i) \cdot \frac{D}{2} \cdot 10^{-3}$

$n_{\ddot{u}ku} := p_{\ddot{u}k} \cdot \frac{D}{2} \cdot 10^{-3}$ $n_{\ddot{u}ku} = 1$

$E_{uz_i} =$

$E_{iz_i} =$

$n_{Fu_i} =$

$n_{BIRd1_i} = n_{BuRd1_i} =$

| |
|------|
| 7927 |
| 7949 |
| 7970 |
| 7970 |
| 7985 |
| 7988 |

| |
|------|
| 6350 |
| 6336 |
| 6329 |
| 6329 |
| 6322 |
| 6322 |

| |
|-----|
| 24 |
| 48 |
| 72 |
| 96 |
| 120 |
| 144 |

| |
|-----|
| 224 |
| 261 |
| 298 |
| 298 |
| 335 |
| 373 |

| |
|-----|
| 373 |
| 440 |
| 507 |
| 507 |
| 574 |
| 641 |

$n_{uu} := p_u \cdot \frac{D}{2} \cdot 10^{-3}$ $n_{uu} = 0$

$n_{umu} := p_{um} \cdot \frac{D}{2} \cdot 10^{-3}$ $n_{umu} = 0$

$n_{uku} := p_{uk} \cdot \frac{D}{2} \cdot 10^{-3}$ $n_{uku} = 0.6$

$E_{uz5d_i} := \gamma G \cdot A_{1Bgu} \cdot (n_{Fu_i} + n_{\ddot{u}u}) + \gamma Q \cdot [A_{1Bsu} \cdot (n_{\ddot{u}mu})] + \gamma Q \cdot n_{\ddot{u}k}$

Grenzdehnung Laminat FM4 in Umfangsrichtung

$\epsilon_{ugrenz} := 0.20$

% (nach 2.3 wegen wirkender Anteile von H₂SO₄)

$\epsilon_{u5d_i} := \frac{[(n_{\ddot{u}u} + n_{Fu_i}) + n_{\ddot{u}mu} + n_{\ddot{u}ku}] \cdot 10^2}{t_{z_i} \cdot E_{uz_i} \cdot 1.25}$

6.2.2.2 Nachweise

| $z_i =$ | $t_{z_i} =$ | kN/m $E_{uz5d_i} =$ | $\frac{E_{uz5d_i}}{n_{BuRd1_i}} =$ | % $\epsilon_{u5d_i} =$ |
|---------|-------------|------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 1 | | 47.7 | 0.128 | 0.041 |
| 2 | 6.2 | 94.7 | 0.215 | 0.068 |
| 3 | 7.3 | 141.7 | 0.28 | 0.087 |
| 4 | 8.4 | 188.7 | 0.372 | 0.116 |
| 5 | 8.4 | 235.7 | 0.411 | 0.129 |
| 6 | 9.4 | 282.6 | 0.441 | 0.138 |
| | 10.5 | | | |

6.3 Unterer Zylinderrand

$$t_{Zü} := 25.8 \quad \text{mm} \quad E_{IBZü} := 6314 \quad \text{N/mm}^2 \quad E_{IZZü} := 6314 \quad \text{N/mm}^2$$

$$n_{IZü} := 1745 \quad \text{N/mm} \quad m_{IZü} := 8416 \quad \text{Nm/m}$$

$$\alpha_{\theta Z} := 30 \cdot 10^{-6} \quad \Delta_{\theta Z} := 20 \quad (\text{Boden ohne PE-Tafel})$$

Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

$$n_{IZüRd} := \frac{n_{IZü}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}} \quad A_{2B} = 1.2 \quad A_{3B} = 1.15 \quad \gamma_{MRK} = 1.4$$

$$n_{IZüRd} = 903 \quad \text{N/mm}$$

$$m_{IZüRd} := \frac{m_{IZü}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}} \quad m_{IZüRd} = 4356 \quad \text{Nm/m}$$

6.3.1 Schnittkräfte

$$n_{\ddot{u}} = 0 \quad \text{N/mm} \quad n_{\ddot{u}m} = 0 \quad \text{N/mm} \quad n_{\ddot{u}k} = 0.5 \quad \text{N/mm}$$

$$i := 5 \quad \text{entspricht Zylinderlänge} \quad z_i = 6 \quad \text{m} \quad n_{w_i} = 4.589 \quad \text{N/mm}$$

$$m_{\ddot{u}Zu} := 0.24 \cdot p_{\ddot{u}} \cdot r \cdot t_{Zü} \cdot 10^{-3} \quad m_{\ddot{u}Zu} = 0 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{\ddot{u}mZu} := 0.24 \cdot p_{\ddot{u}m} \cdot r \cdot t_{Zü} \cdot 10^{-3} \quad m_{\ddot{u}mZu} = 0 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{\ddot{u}kZu} := 0.24 \cdot p_{\ddot{u}k} \cdot r \cdot t_{Zü} \cdot 10^{-3} \quad m_{\ddot{u}kZu} = 6.192 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{FZu} := 0.24 \cdot \gamma \cdot h_F \cdot r \cdot t_{Zü} \cdot 10^{-3} \quad m_{FZu} = 952.014 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{\theta Zu} := 0.25 \cdot E_{IBZü} \cdot \alpha_{\theta Z} \cdot \Delta_{\theta Z} \cdot t_{Zü}^2 \quad m_{\theta Zu} = 630.428 \quad \text{Nm/m}$$

6.3.2 Nachweise

$$E_{Zün5ad} := \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot n_{g_i} + \gamma_Q \cdot A_{1Bsl} \cdot n_s \quad E_{Zün5ad} = 5.8 \quad \text{N/mm}$$

$$E_{Zün5bd} := \gamma_Q \cdot (A_{1Bgl} \cdot n_{\ddot{u}} + A_{1Bsl} \cdot n_{\ddot{u}m} + n_{\ddot{u}k}) \quad E_{Zün5bd} = 0.8 \quad \text{N/mm}$$

$$E_{Züm5d} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bgl} \cdot (m_{\ddot{u}Zu} + m_{FZu}) + A_{1Bsl} \cdot m_{\ddot{u}mZu} + m_{\ddot{u}kZu} + m_{\theta Zu}] \quad E_{Züm5d} = 3383 \quad \text{Nm/m}$$

$$\frac{E_{Zün5ad}}{n_{IZüRd}} = 0.006$$

$$\frac{E_{Zün5bd}}{n_{IZüRd}} = 0.001$$

$$\frac{E_{Züm5d}}{m_{IZüRd}} = 0.777$$

$$\frac{E_{Zün5ad}}{n_{IZüRd}} + \frac{E_{Züm5d}}{m_{IZüRd}} = 0.783$$

$$\frac{E_{Zün5bd}}{n_{IZüRd}} + \frac{E_{Züm5d}}{m_{IZüRd}} = 0.777$$

$$\epsilon_{Zün5d} := \frac{(n_{\ddot{u}} + n_{\ddot{u}m} + n_{\ddot{u}k})}{t_{Z\ddot{u}} \cdot E_{IZZ\ddot{u}} \cdot 1.25} \cdot 10^2$$

$$\epsilon_{Zün5d} = 0.0002 \quad \%$$

$$\epsilon_{Züm5d} := \frac{[(m_{\ddot{u}Zu} + m_{FZu}) + m_{\ddot{u}mZu} + m_{\ddot{u}kZu}] \cdot 6}{t_{Z\ddot{u}}^2 \cdot E_{IBZ\ddot{u}} \cdot 1.25} \cdot 10^2$$

$$\epsilon_{Züm5d} = 0.109 \quad \%$$

$$\epsilon_{\theta Z\ddot{u}d} := m_{\theta Z\ddot{u}} \cdot \frac{6}{t_{Z\ddot{u}}^2 \cdot E_{IBZ\ddot{u}} \cdot 1.25} \cdot 10^2$$

$$\epsilon_{\theta Z\ddot{u}d} = 0.072$$

$$\epsilon_{Z\ddot{u}5d} := \epsilon_{Zün5d} + \epsilon_{Züm5d} + \epsilon_{\theta Z\ddot{u}d}$$

$$\epsilon_{Z\ddot{u}5d} = 0.182 \quad \%$$

Grenzdehnung Laminat FM in Achsrichtung nach 2.2

$$\epsilon_{I\text{grenzd}} = 0.2 \quad \% \quad (\text{wirkende Anteile von } H_2SO_4 \text{ sind damit nach 2.3 ebenfalls abgedeckt})$$

$$E_{Zün4ad} := \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot n_{g_i} + \gamma_Q \cdot A_{1Bsl} \cdot n_s + n_{w_i}$$

$$E_{Zün4ad} = 10.4 \quad \text{N/mm}$$

$$E_{Zün4bd} := \gamma_Q \cdot (A_{1Bgl} \cdot n_{\ddot{u}} + A_{1Bsl} \cdot n_{\ddot{u}m} + n_{w_i})$$

$$E_{Zün4bd} = 6.9 \quad \text{N/mm}$$

$$E_{Züm4d} := \gamma_Q \cdot [A_{1Bgl} \cdot (m_{\ddot{u}Zu} + m_{FZu}) + A_{1Bsl} \cdot m_{\ddot{u}mZu} + m_{\theta Z\ddot{u}}]$$

$$E_{Züm4d} = 3373 \quad \text{Nm/m}$$

$$\frac{E_{Zün4ad}}{n_{IZüRd}} = 0.012$$

$$\frac{E_{Zün4bd}}{n_{IZüRd}} = 0.008$$

$$\frac{E_{Züm4d}}{m_{IZüRd}} = 0.774$$

$$\frac{E_{Zün4ad}}{n_{IZüRd}} + \frac{E_{Züm4d}}{m_{IZüRd}} = 0.786 \quad \frac{E_{Zün4bd}}{n_{IZüRd}} + \frac{E_{Züm4d}}{m_{IZüRd}} = 0.782$$

$$\epsilon_{Zün4d} := \frac{(n_{\ddot{u}} + n_{\ddot{u}m} + n_{w_i})}{t_{Z\ddot{u}} \cdot E_{I_{ZZ\ddot{u}}} \cdot 1.25} \cdot 10^2$$

$$\epsilon_{Zün4d} = 0.002 \quad \%$$

$$\epsilon_{Züm4d} := \frac{[(m_{\ddot{u}Zu} + m_{FZu}) + m_{\ddot{u}mZu}] \cdot 6}{t_{Z\ddot{u}}^2 \cdot E_{I_{BZ\ddot{u}}} \cdot 1.25} \cdot 10^2$$

$$\epsilon_{Züm4d} = 0.109$$

$$\epsilon_{\theta Z\ddot{u}d} = 0.072$$

$$\epsilon_{Z\ddot{u}4d} := \epsilon_{Zün4d} + \epsilon_{Züm4d} + \epsilon_{\theta Z\ddot{u}d}$$

$$\epsilon_{Z\ddot{u}4d} = 0.183 \quad \%$$

$$\text{Mindestlänge: } l_{Z\ddot{u}} := \sqrt{2 \cdot r \cdot t_{Z\ddot{u}}} \quad l_{Z\ddot{u}} = 321 \quad \text{mm}$$

$$\text{Überlaminat: } t_{\ddot{u}a} := 5.0 \quad t_{\ddot{u}i} := 5.0 \quad \text{mm} \quad n_{B\ddot{u}i} := n_{tk} \cdot t_{\ddot{u}i} = 425 \quad \text{N/mm}$$

$$l_{\ddot{u}B} := 16 \cdot (t_{\ddot{u}a}) = 80$$

$$n_{B\ddot{u}a} := n_{tk} \cdot t_{\ddot{u}a} = 425 \quad \text{N/mm}$$

$$l_{\ddot{u}B} := \text{wenn}(l_{\ddot{u}B} \geq 80, l_{\ddot{u}B}, 80) = 80 \quad \text{mm}$$

Widerstandsmoment Überlaminat (größer als) :
(Abstandsgewebe bleibt unberücksichtigt)

$$W_{\ddot{u}} := \frac{(t_{Z\ddot{u}} + t_{\ddot{u}a} + t_{\ddot{u}i})^3 - (t_{Z\ddot{u}})^3}{12 \cdot \frac{(t_{Z\ddot{u}} + t_{\ddot{u}a} + t_{\ddot{u}i})}{2}} = 133.7 \quad \text{mm}^3$$

erforderliches Widerstandsmoment :

$$W_{\text{erf}} := \frac{(t_{Z\ddot{u}})^2}{6} \quad W_{\text{erf}} = 110.94 \quad \text{mm}^3$$

Nachweis :

$$\frac{W_{\text{erf}}}{W_{\ddot{u}}} = 0.83$$

abhebende Beanspruchung (aus Wind)

ist für die Bemessung der Stoßverbindung maßgebend :

$$M_{WS} := \frac{w \cdot (z_i + H_D \cdot 10^{-3})^2}{2} = 52.899 \quad \text{kNm} \quad n_{WS} := \frac{M_{WS}}{\pi \cdot r^2} \cdot 10^6 = 4.21 \quad \text{kN/m}$$

Bemessungswert der Einwirkung :

$$n_{dWS} := n_{WS} \cdot \gamma_Q$$

$$\gamma_Q = 1.5$$

$$n_{dWS} = 6.314 \quad \text{kN/m}$$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit :

$$R_{d\ddot{u}} := \frac{n_{B\ddot{u}i} + n_{B\ddot{u}a}}{\gamma_{MRK} \cdot A_{2B} \cdot A_{3B}}$$

$$\gamma_{MRK} = 1.4$$

$$R_{d\ddot{u}} = 440 \quad \text{N/mm}$$

$$\frac{n_{dwS}}{R_{dü}} = 0.014$$

$$\tau_{ZS} := \frac{n_{dwS}}{\left(\frac{l_{üB}}{\gamma_{MRK} \cdot A_{2B} \cdot A_{3B}} \right)} \quad \tau_{ZS} = 0.152 \quad \text{N/mm}^2$$

Dehnungsnachweise :

$$\text{Überlaminat :} \quad \epsilon_{ZS} := \frac{n_{wS}}{(t_{üi} + t_{üa}) \cdot E_{om}} \cdot 10^2 = 0.005 \quad \%$$

6.4 Boden

6.4.1 Boden (Behälterboden mit PE - Tafel unterlegt)

Laminat : M3

Form : Flachboden

$$n_{Bt} := 85 \quad \text{N/mm/mm} \quad m_{Bt} := 18 \quad \text{Nm/m/mm}^2$$

$$E_{om} = 9100 \quad \text{N/mm}^2 \quad \rho_M = 1.52 \quad \text{g/cm}^3$$

$$E_{mBB} := E_{om} \quad t_B := 6.0 \quad t_{Bk} := 26 \quad r_{Bk} := 100 \quad \text{mm}$$

$$m_{BB} := m_{Bt} \cdot t_{Bk}^2 \quad m_{BB} = 12168 \quad \text{Nm/m}$$

$$n_{BB} := n_{Bt} \cdot t_{Bk} \quad n_{BB} = 2210 \quad \text{N/mm}$$

Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

$$A_{2B} = 1.2 \quad A_{3B} = 1.15 \quad \gamma_{MRK} = 1.4$$

$$n_{BBRd} := \frac{n_{BB}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}} = 1143.9$$

$$m_{BBRd} := \frac{m_{BB}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}} = 6298.1$$

6.4.1.1 Schnittkräfte

$$\frac{r_{Bk}}{r} = 0.05$$

$$k_p := 0.22 + \left(0.6 + 0.0283 \cdot \frac{r}{t_{Bk}} \right) \cdot \left[\frac{r_{Bk}}{r} - 2.0 \cdot \left(\frac{t_{Bk}}{r} \right)^{1.15} - 0.04 \right] = 0.21$$

$$k_p := 0.22$$

$$n_{üu} = 0 \quad n_{ümu} = 0 \quad n_{üku} = 1$$

$$m_{Epük} := k_p \cdot n_{üku} \cdot t_{Bk} \quad m_{Epük} = 5.72 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{EpFu} := k_p \cdot \gamma \cdot h_F \cdot r \cdot t_{Bk} \cdot 10^{-3} \quad m_{EpFu} = 879.445 \quad \text{Nm/m}$$

$$k_{nl} := \left| 1.38 + 0.456 \cdot \frac{r_{Bk}}{r} \cdot \left(\frac{r}{t_{Bk}} \right)^{1.15} - 0.077 \cdot \left(\frac{r_{Bk}}{t_{Bk}} \right)^2 \right| \quad k_{nl} = 3.605$$

$$n_{g_i} = 1.012 \quad \text{kN/m} \quad n_s = 1.6 \quad \text{kN/m} \quad n_{uk} = 0.3 \quad \text{kN/m}$$

$$n_{w_i} = 4.589 \quad \text{kN/m}$$

$$m_{Enlg} := k_{nl} \cdot n_{g_i} \cdot t_{Bk} = 94.8 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{Enlw} := k_{nl} \cdot n_{w_i} \cdot t_{Bk} = 430.2 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{Enls} := k_{nl} \cdot n_s \cdot t_{Bk} = 150 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{Enluk} := k_{nl} \cdot n_{uk} \cdot t_{Bk} = 28.121 \quad \text{Nm/m}$$

$$A_{1Bg} = 1.6 \quad A_{1Bs} = 1.4 \quad \gamma_Q = 1.5 \quad \gamma_G = 1.35$$

$$m_{E1d} := (\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{EpFu}) + 0.3 \cdot [\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{Enlg} + \gamma_Q \cdot (A_{1Bs} \cdot m_{Enls} + m_{Enluk})]$$

$$m_{E2d} := (\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{EpFu}) \cdot 0.3 + [\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{Enlg} + \gamma_Q \cdot (A_{1Bs} \cdot m_{Enls} + m_{Enluk})]$$

$$m_{E3d} := (\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{EpFu}) + 0.3 \cdot [\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{Enlg} + \gamma_Q \cdot (0.7 \cdot A_{1Bs} \cdot m_{Enls} + m_{Enluk} + m_{Enlw})]$$

$$m_{E4d} := (\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{EpFu}) \cdot 0.3 + [\gamma_G \cdot A_{1Bg} \cdot m_{Enlg} + \gamma_Q \cdot (0.7 \cdot A_{1Bs} \cdot m_{Enls} + m_{Enluk} + m_{Enlw})]$$

$$m_{E1d} = 2068.2 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{E2d} = 1131.8 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{E3d} = 2233.4 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{E4d} = 1682.6 \quad \text{Nm/m} \quad m_{\theta Zu} = 630.4$$

$$m_{Ed} := 2233 \quad \frac{m_{Ed} + m_{\theta Zu} \cdot \gamma_Q}{m_{BBRd}} = 0.505$$

$$m_{E\epsilon 1d} := (m_{EpFu}) + 0.3 \cdot (m_{Enlg} + m_{Enls} + m_{Enluk})$$

$$m_{E\epsilon 2d} := (m_{EpFu}) \cdot 0.3 + (m_{Enlg} + m_{Enls} + m_{Enluk})$$

$$m_{E\epsilon 3d} := (m_{EpFu}) + 0.3 \cdot (m_{Enlg} + 0.7 \cdot m_{Enls} + m_{Enluk} + m_{Enlw})$$

$$m_{E\epsilon 4d} := (m_{EpFu}) \cdot 0.3 + (m_{Enlg} + 0.7 \cdot m_{Enls} + m_{Enluk} + m_{Enlw})$$

$$m_{E\epsilon 1d} = 961.3 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{E\epsilon 2d} = 536.8 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{E\epsilon 3d} = 1076.9 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{E\epsilon 4d} = 921.9 \quad \text{Nm/m}$$

$$m_{E\epsilon d} := 1077$$

Grenzdehnung Laminat M3 nach 2.2 $\epsilon_{M3grenzd} = 0.2$ % (nach 2.3 wegen wirkender Anteile von H_2SO_4)

$$\epsilon_{EBk} := \frac{(m_{E\epsilon d} + m_{\theta Zu}) \cdot 6}{t_{Bk}^2 \cdot E_{mBB}} \cdot 10^2 = 0.17$$

Mindestlängen: $l_{Bk} := \sqrt{D \cdot t_{Bk}}$ $l_{Bk} = 322$ mm

6.5 Öffnungsränder

Maße in mm Überlamine: M3 DIN 18820 nach AD - Merkblatt N1 $n_{Bt} = 85$ N/mm²

Alle Stutzenrohre nach DIN 16965-1 und Flansche nach DIN 16966-6 mindestens entsprechend PN 6.

Alle Öffnungen sind oberhalb es Füllstandes anzuordnen.

6.5.1 Dach

$$D_D := 2 \cdot r \quad R_D = 4000 \quad D_D = 4000 \quad t_D = 9 \quad n_{Dk} = 765$$

Nach 2.2. darf statt des doppelten Krümmungsradius des Daches mit dem Zylinderdurchmesser gerechnet werden .

6.5.1.1 Mannloch

Durchmesser Öffnung : $d_{AMD} := 600$ $t_{üMD} := 3$ mm

$n_{üMDB} := t_{üMD} \cdot n_{Bt} = 255$ N/mm

$t_{AMD} := t_D + t_{üMD} = 12$ mm

$b_{üMD} := \sqrt{D \cdot t_{AMD}} = 219.1$

$l_{üMD} := \sqrt{d_{AMD} \cdot t_{AMD}} = 84.9$

$$v_{AMD} := \frac{1}{1.5 \cdot \left(1 + \frac{d_{AMD}}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t_{AMD}}} \right)} = 0.281$$

$E_{MD} := \gamma_Q \cdot (A_{1Bg} \cdot n_{üD} + A_{1Bs} \cdot n_{üMD} + n_{üKD}) = 1.8$

Bemessungswert
der Beanspruchbarkeit

$$n_{DRd} := \frac{(n_{DK} + n_{üMDB}) \cdot v_{AMD}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}} = 148.6$$

$$\frac{E_{MD}}{n_{DRd}} = 0.012$$

Dehnungsnachweis :

$$\epsilon_{MD} := \frac{(n_{üD} + n_{üMD} + n_{üKD})}{(E_{om} \cdot t_{AMD}) \cdot v_{AMD}} \cdot 10^2 = 0.004 \quad \%$$

6.5.1.2 Stutzen

$i_w := 1 \dots 2$

Durchmesser Öffnung : $d_{ASD_i} :=$ $t_{üSD_i} :=$

$n_{üSDB} := t_{üSD} \cdot n_{Bt}$

| |
|-----|
| 40 |
| 160 |

| |
|---|
| 3 |
| 3 |

$t_{ASD_i} := t_D + t_{üSD_i}$

$b_{üSD_i} := \sqrt{D \cdot t_{ASD_i}}$

$l_{üSD_i} := \sqrt{d_{ASD_i} \cdot t_{ASD_i}}$

$$b_{\text{üSD}_i} := \text{wenn}(d_{\text{ASD}_i} \leq 150, 100, b_{\text{üSD}_i})$$

$$v_{\text{ASD}_i} := \frac{1}{1.5 \cdot \left(1 + \frac{d_{\text{ASD}_i}}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t_{\text{ASD}_i}}} \right)}$$

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|--|-----------------------|-------|--|--------|--------|--|----|----|--|-----|-----|--|
| $v_{\text{ASD}_i} =$ | $b_{\text{üSD}_i} =$ | $l_{\text{üSD}_i} =$ | $t_{\text{ASD}_i} =$ | $n_{\text{üSDB}_i} =$ | N/mm | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="margin: auto;"><tr><td>0.611</td></tr><tr><td>0.488</td></tr></table> | 0.611 | 0.488 | <table border="1" style="margin: auto;"><tr><td>100</td></tr><tr><td>219.1</td></tr></table> | 100 | 219.1 | <table border="1" style="margin: auto;"><tr><td>21.909</td></tr><tr><td>43.818</td></tr></table> | 21.909 | 43.818 | <table border="1" style="margin: auto;"><tr><td>12</td></tr><tr><td>12</td></tr></table> | 12 | 12 | <table border="1" style="margin: auto;"><tr><td>255</td></tr><tr><td>255</td></tr></table> | 255 | 255 | |
| 0.611 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.488 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 219.1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21.909 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43.818 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 255 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 255 | | | | | | | | | | | | | | | |

$$E_{\text{SD}} := \gamma_Q \cdot (A_{1\text{Bg}} \cdot n_{\text{üD}} + A_{1\text{Bs}} \cdot n_{\text{üMD}} + n_{\text{üKD}}) = 1.8$$

Bemessungswert
der Beanspruchbarkeit

$$n_{\text{DSRd}_i} := \frac{(n_{\text{Dk}} + n_{\text{üSDB}_i}) \cdot v_{\text{ASD}_i}}{A_{2\text{B}} \cdot A_{3\text{B}} \cdot \gamma_{\text{MRK}}} \quad n_{\text{DSRd}_i} =$$

Nachweis

$$\frac{E_{\text{SD}}}{n_{\text{DSRd}_i}} =$$

| |
|-------|
| 322.5 |
| 257.8 |

| |
|-------|
| 0.006 |
| 0.007 |

Dehnungsnachweis :

$$\epsilon_{\text{SD}_i} := \frac{(n_{\text{üD}} + n_{\text{üMD}} + n_{\text{üKD}})}{(E_{\text{om}} \cdot t_{\text{ASD}_i}) \cdot v_{\text{ASD}_i}} \cdot 10^2 \quad \epsilon_{\text{SD}_i} =$$

| |
|-------|
| 0.002 |
| 0.002 |

%

Grenzdehnung Laminat M3

$$\epsilon_{\text{M3grenzd}} = 0.2$$

% (nach 2.3 wegen wirkender
Anteile von H₂SO₄)

6.5.2.1 Stutzen im Zylinder

$i := 0$

$j := 5$
entspricht einer Zylinderlänge von $z_j = 6$ m

Durchmesser Öffnung :

$t_{üS_z_i} := 8.0$ $d_{AS_z_i} := 150$

$t_{z_j} = 10.5$ mm

$t_{AS_z_i} := t_{z_j} + t_{üS_z_i}$

$n_{üS_z_i} := t_{üS_z_i} \cdot n_{Bt}$ $n_{üS_z_i} = 680$ N/mm

$l_{üS_z_i} := \sqrt{d_{AS_z_i} \cdot t_{AS_z_i}}$

$b_{üS_z_i} := \sqrt{D \cdot t_{AS_z_i}}$

$b_{üS_z_i} := \text{wenn}(d_{AS_z_i} \leq 150, 100, b_{üS_z_i})$

$v_{AS_z_i} := \frac{1}{1.5 \cdot \left(1 + \frac{d_{AS_z_i}}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t_{AS_z_i}}} \right)}$

$t_{AS_z_i} = 18.5$ $v_{AS_z_i} = 0.523$ $t_{üS_z_i} = 8$ $b_{üS_z_i} = 100$ $l_{üS_z_i} = 53$ mm

Längsrichtung

Lasten in kN/m $n_{\ddot{u}} = 0$ $n_{\ddot{u}m} = 0$ $n_{\ddot{u}k} = 0.5$

$\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$

Bemessungswert der Einwirkungen

$E_{dzlS} := \gamma_G \cdot A_{1Bgl} \cdot (n_{\ddot{u}}) + \gamma_Q \cdot A_{1Bsl} \cdot (n_{\ddot{u}m}) + \gamma_Q \cdot n_{\ddot{u}k}$ $E_{dzlS} = 0.8$ kN/m

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

$t_{z_j} = 10.5$ $n_{Bl_j} = 720$ N/mm

$R_{dzlS_{i,j}} := \frac{(n_{Bl_j} + n_{\ddot{u}S_z_i}) \cdot v_{AS_z_i}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}}$ $R_{dzlS_{i,j}} = 378.686$ kN/m

Nachweis $\frac{E_{dzlS}}{R_{dzlS_{i,j}}} = 0.002$

UmfangsrichtungLasten
in kN/m

$A_{1Bgu} = 1.45$

$A_{1Bg} = 1.6$

$\gamma_G = 1.35$

$n_{\ddot{u}u} = 0$

$n_{\ddot{u}m} = 0$

$n_{\ddot{u}k} = 0.5$

kN/m

Bemessungswert der Einwirkungen

$n_{Fu_j} = 144$

$$E_{dzuS} := \gamma_G \cdot A_{1Bgu} \cdot (n_{Fu_j} + n_{\ddot{u}u}) + \gamma_Q \cdot [A_{1Bsu} \cdot (n_{\ddot{u}mu})] + \gamma_Q \cdot n_{\ddot{u}ku}$$

$E_{dzuS} = 283.4 \quad \text{kN/m}$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

$t_{z_j} = 10.5$

$n_{Bu_j} = 1238$

kN/m

$$R_{dzuS_i} := \frac{\left(n_{Bu_j} + n_{\ddot{u}Sz_i} \cdot \frac{A_{1Bgu}}{A_{1Bg}} \right) \cdot v_{ASz_i}}{A_{2B} \cdot A_{3B} \cdot \gamma_{MRK}}$$

$\gamma_{MRK} = 1.4$

$R_{dzuS_i} = 501.6 \quad \text{N/mm}$

Nachweis

$$\frac{E_{dzuS}}{R_{dzuS_i}} = 0.565$$

Dehnungsnachweis :**Längsrichtung**

$n_{\ddot{u}} = 0$

$n_{\ddot{u}m} = 0$

$n_{\ddot{u}k} = 0.5$

kN/m

N/mm²

$t_{z_j} = 10.5$

mm

$E_{om} = 9100$

N/mm²

$$\epsilon_{zIS_i} := \frac{(n_{\ddot{u}} + n_{\ddot{u}m} + n_{\ddot{u}k})}{\left(1.25 E_{Iz_j} \cdot t_{z_j} + E_{om} \cdot t_{\ddot{u}Sz_i} \right) \cdot v_{ASz_i}} \cdot 10^2$$

$\epsilon_{zIS_i} = 0.001 \quad \%$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

$\epsilon_{Igrenzd} = 0.2 \quad \%$

Nachweis

$$\frac{\epsilon_{zIS_i}}{\epsilon_{Igrenzd}} = 0.003$$

Umfangsrichtung

$$n_{\text{ümu}} = 0$$

$$n_{\text{üku}} = 1$$

kN/m

$$A_{1lg} = 1.8$$

N/mm²

mm

$$A_{1lg_u} = 1.60$$

$$\epsilon_{zuS_i} := \frac{(n_{\text{üu}} + n_{Fu_j} + n_{\text{ümu}} + n_{\text{üku}})}{\left(1.25 E_{uZ_j} \cdot t_{z_j} + E_{om} \cdot t_{\text{üSz}_i} \cdot \frac{A_{1lg_u}}{A_{1lg}}\right) \cdot v_{ASz_i}} \cdot 10^2 \quad \epsilon_{zuS_i} = 0.164 \quad \%$$

Bemessungswert der Beanspruchbarkeit

$$\epsilon_{ugrenzd} = 0.2 \quad \%$$

Nachweis $\frac{\epsilon_{zuS_i}}{\epsilon_{ugrenzd}} = 0.818$

7.0 Verankerung

Anzahl Anker: $n_A := 4$

$$H_G = 7050 \quad \text{mm} \quad r = 2000 \quad \text{mm}$$

$$M_{W_5} = 57.7 \quad \text{kNm}$$

$$N_A := \frac{2 \cdot M_{W_5}}{n_A \cdot r} \cdot 10^3 \quad N_A = 14.4 \quad \text{kN}$$

Die Verankerung ist für die charakteristische Ankerkraft von $N_A = 14.4 \quad \text{kN}$ je Anker auszulegen.

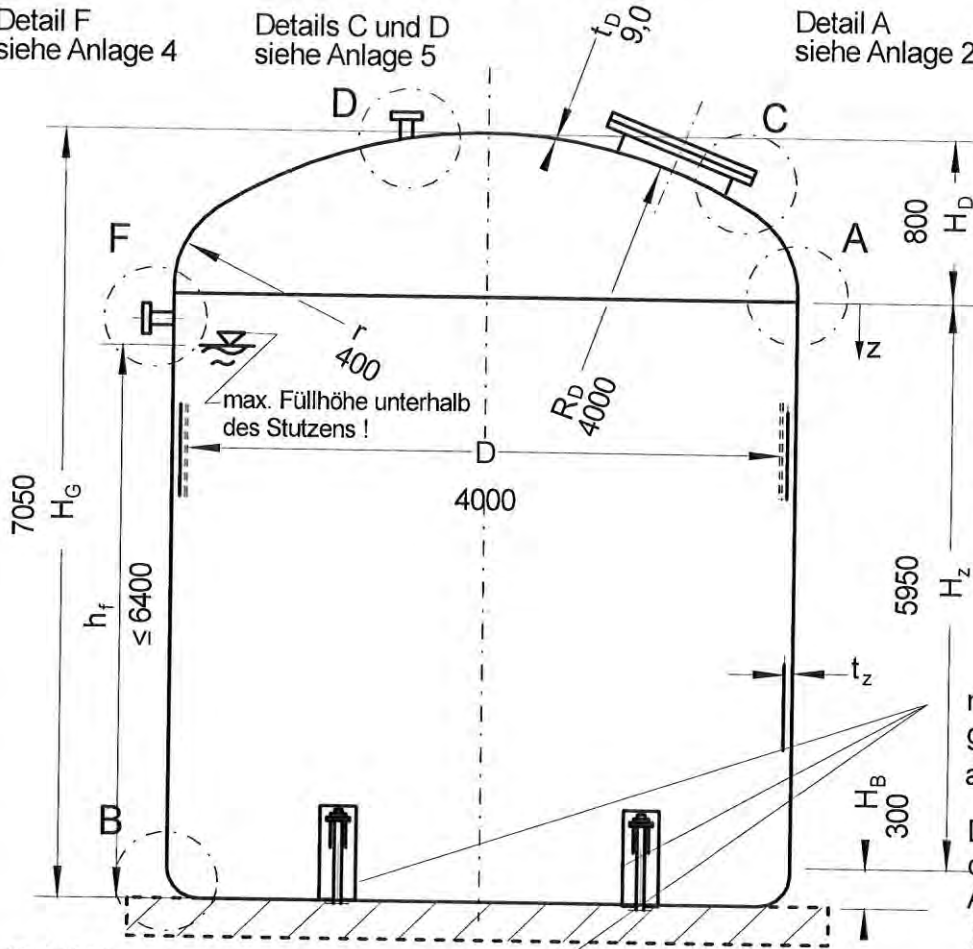
Hückelhoven, im Dezember 2013

Übersicht

Detail F
siehe Anlage 4

Details C und D
siehe Anlage 5

Detail A
siehe Anlage 2



| z (m) | t _z (mm) |
|-----------|---------------------|
| 0 - 1,0 | 6,2 |
| 1,0 - 2,0 | 7,3 |
| 2,0 - 3,0 | 8,4 |
| 3,0 - 4,0 | 8,4 |
| 4,0 - 5,0 | 9,4 |
| 5,0 - 6,0 | 10,5 |

mindestens 4 Anker
gleichmäßig
am Umfang verteilt

Die Anker sind für die
charakteristische
Ankerkraft von 14,4 kN
je Anker auszulegen.

Detail B
siehe Anlage 3

Dach und Boden :

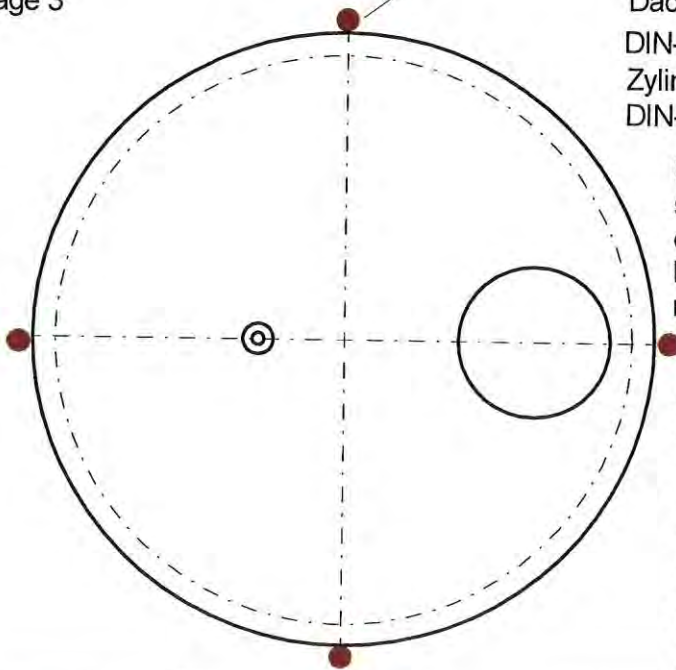
DIN-18820-GF-UP2-M3-n-35-CSS-3; M3

Zylinder :

DIN-18820-GF-UP2-FM4-n-35-CSS-3; FM4

Für alle Laminat ist ECR-Glas
sowie gleiche Harze mindestens
der Gruppe 2A nach DIN EN 13121-1
bzw. der Gruppe 2 nach DIN 18820-1
mit HDT ≥ 80 °C zu verwenden.

Alle Laminatdicken
ohne Oberflächenschichten:
zusätzlich außen Feinschichten
mit t-FS = 0,2 bis 0,4 mm
oder Vliesschichten
mit mindestens t-V = 0,3 mm
bzw. auf medienbeanspruchten
Flächen Chemieschutzschicht CSS-3
mit min t-CSS = 2,5 mm



institute for structural plastics
Institut für tragende
Kunststoffkonstruktionen GmbH

Rheinstrasse 7
41836 Hückelhoven

Doppelwandiger Flachbodenbehälter

Typ : 12/40/80-F-CSS-3-1,2-30

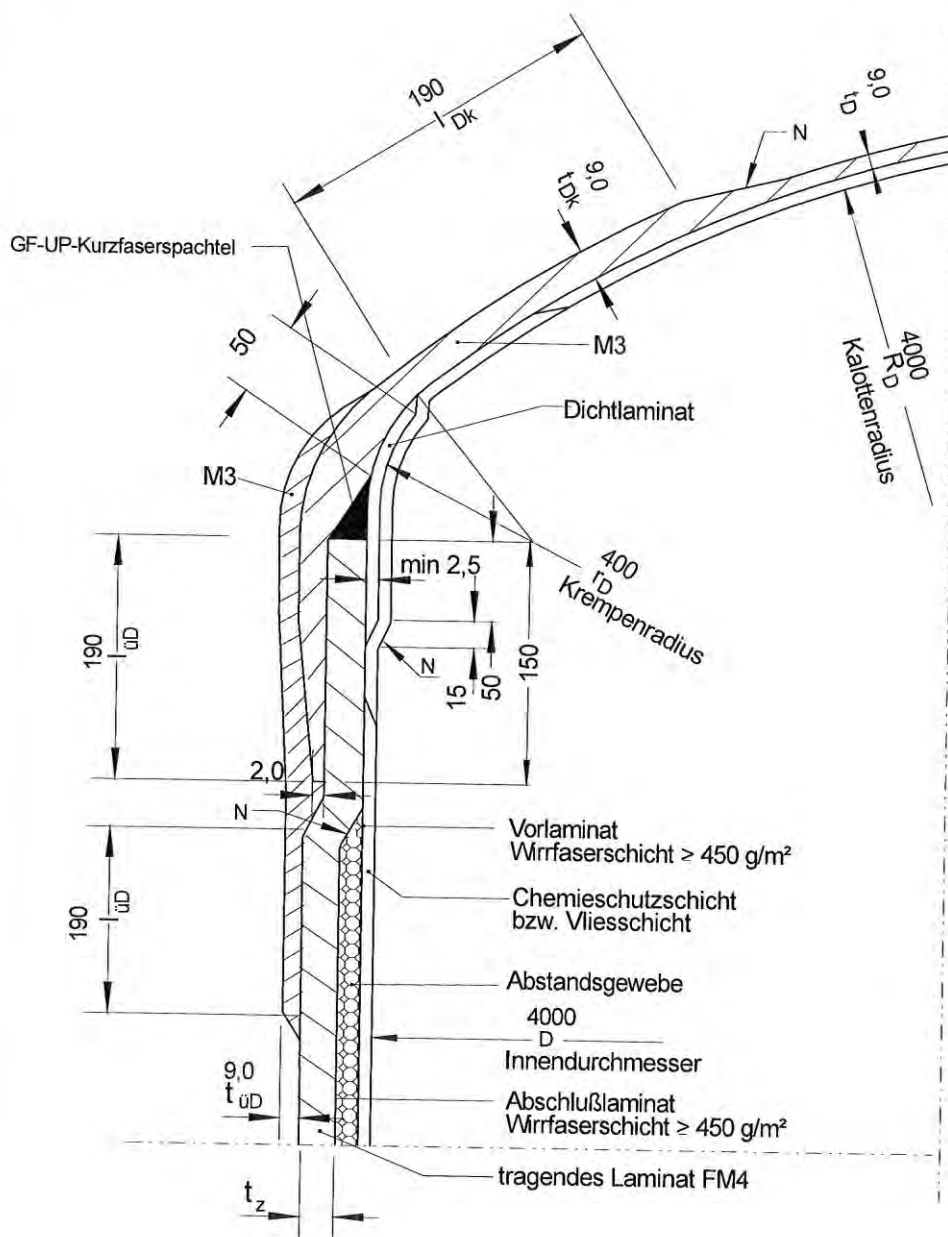
Aufstellung bis Windzone 2 Binnenland

Übersicht

Projekt 2013-129-S002

Anlage 1

Detail A
Verbindung Dach/Zylinder



Maße in mm



institute for structural plastics
Institut für tragende
Kunststoffkonstruktionen GmbH

Rheinstrasse 7
41836 Hückelhoven

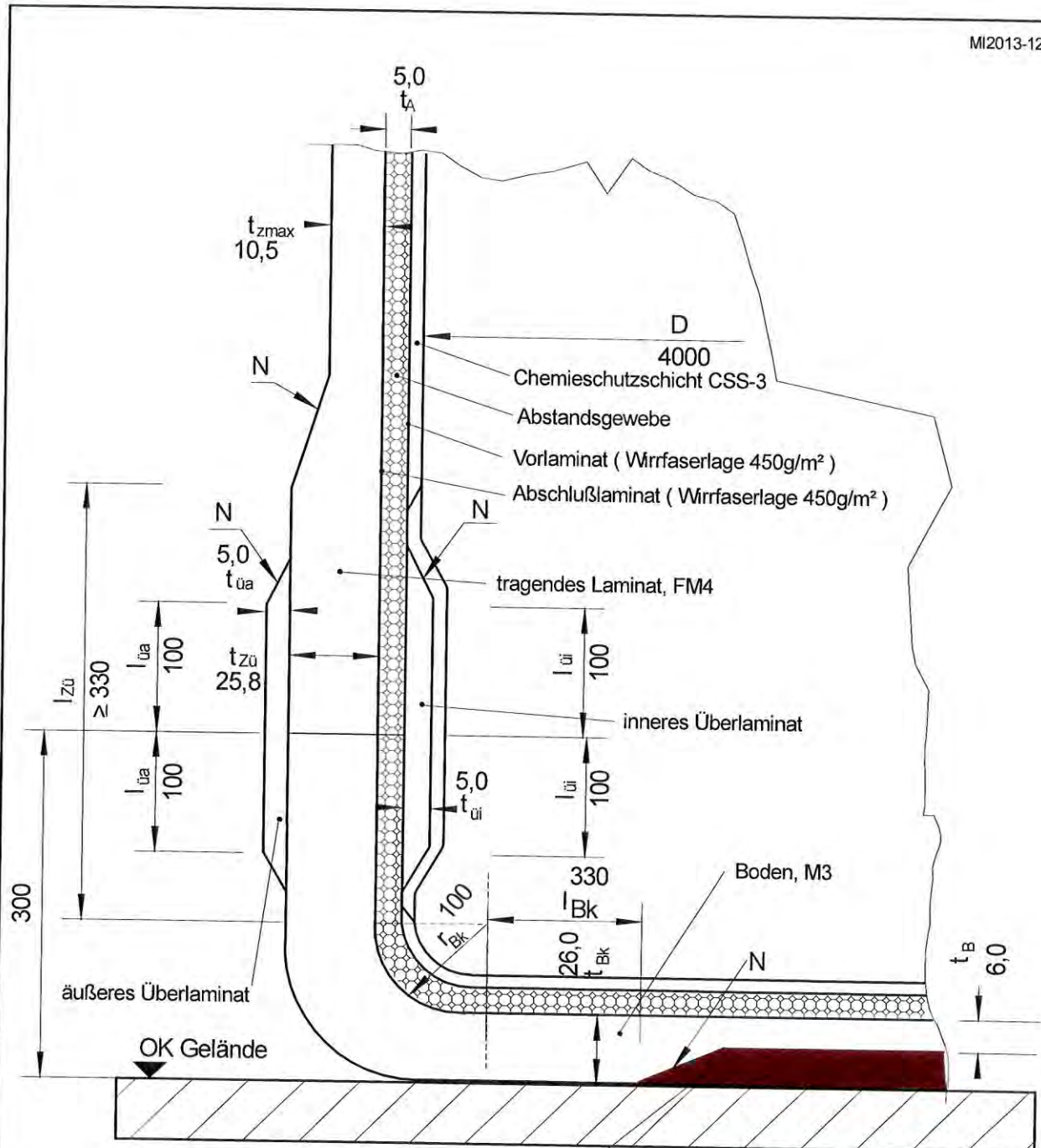
Doppelwandiger Flachbodenbehälter

Typ : 12/40/80-F-CSS-3-1,2-30

Verbindung Dach / Zylinder
Detail A

Projekt 2013-129-S002

Anlage 2



N : Neigung max 1:6

Ausgleichsschicht

Boden :

DIN-18820-GF-UP2-M3-n-35-CSS-3; M3

Zylinder :

DIN-18820-GF-UP2-FM4-n-35-CSS-3; FM4

Alle Laminatdicken
ohne Oberflächenschichten:
zusätzlich außen Feinschichten
mit $t_{FS} = 0,2$ bis $0,4$ mm
oder Vlieschichten
mit mindestens $t_V = 0,3$ mm.
Medienbeanspruchte Flächen
sind mit einer Chemieschutzschicht
(CSS-3) mit min. $t_{CSS} = 2,5$ mm
zu versehen.

Für alle Lamine ist ECR-Glas
sowie gleiche Harze mindestens
der Gruppe 2A nach DIN EN 13121-1
bzw. der Gruppe 2 nach DIN 18820-1
mit $HDT \geq 80$ °C zu verwenden.



institute for structural plastics
Institut für tragende
Kunststoffkonstruktionen GmbH

Rheinstrasse 7
41836 Hückelhoven

Doppelwandiger Flachbodenbehälter

Typ : 12/40/80-F-CSS-3-1,2-30

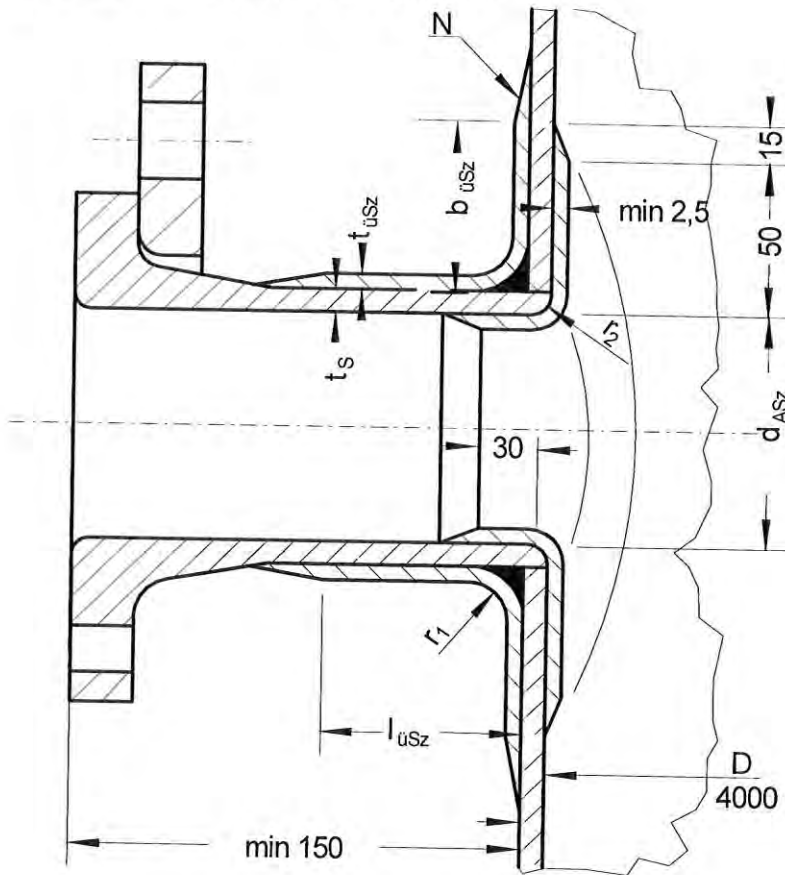
Übergang Boden / Zylinder
Detail B

Projekt 2013-129-S002

Anlage 3

Detail F Stützen im Zylinder

MI2013-129-ZS009



Maße in mm

Flansche nach DIN 16966-6
Stützen nach DIN 16695-1
mindestens PN 6

Lamine :
Zylinder : FM4
Überlaminat : M3

| d_{ASz} | $t_{üSz}$ | $b_{üSz}$ | $l_{üSz}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 150 | 8,0 | 100 | 60 |

Alle Laminatdicken
ohne Oberflächenschichten:
zusätzlich außen Feinschichten
mit $t_{FS} = 0,2$ bis $0,4$ mm
oder Vliesschichten
mit mindestens $t_{Vs} = 0,3$ mm.

Medienbeanspruchte Flächen
sind mit einer Vliesschicht
bzw. einer Chemieschutzschicht CSS-3
mit $t_{CSS} = 2,5$ mm
zu versehen.

r_1 : min 20
 r_2 : min t_M bzw. t_s
N : Neigung max 1:6



institute for structural plastics
Institut für tragende
Kunststoffkonstruktionen GmbH

Rheinstrasse 7
41836 Hückelhoven

Doppelwandiger Flachbodenbehälter
Typ : 12/40/80-F-CSS-3-1,2-30
Aufstellung bis Windzone 2 Binnenland

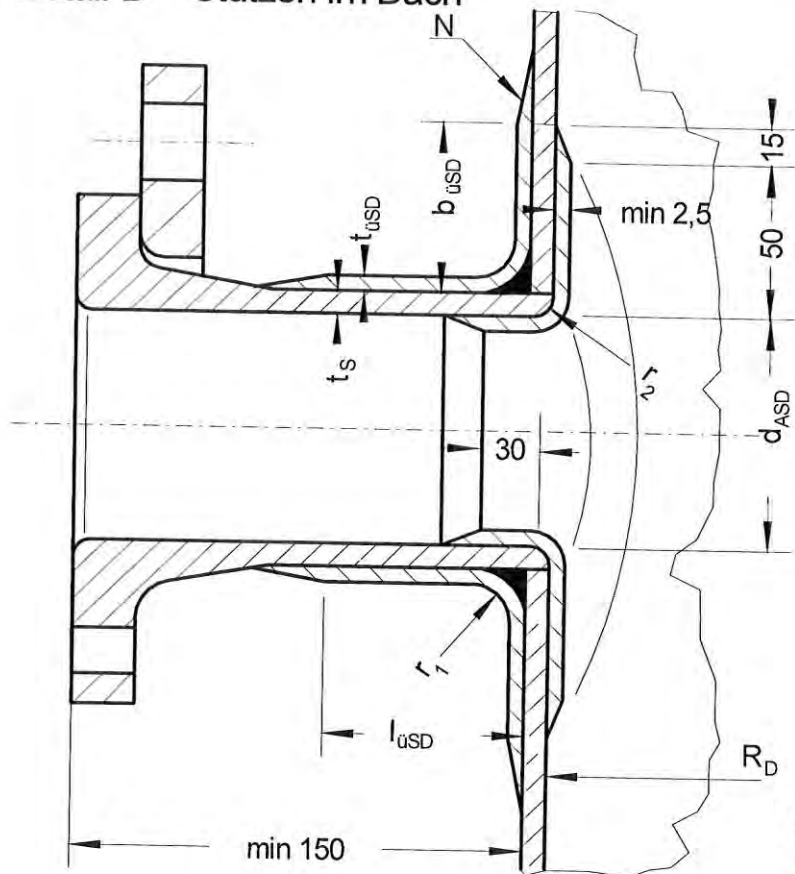
Stützen im Zylinder
nur über Füllstand
Detail F

Projekt 2013-129-S002

Anlage 4

Detail D Stützen im Dach

MI2013-129-ZS010



Flansche nach DIN 16966-6
Stützen nach DIN 16695-1
mindestens PN 6

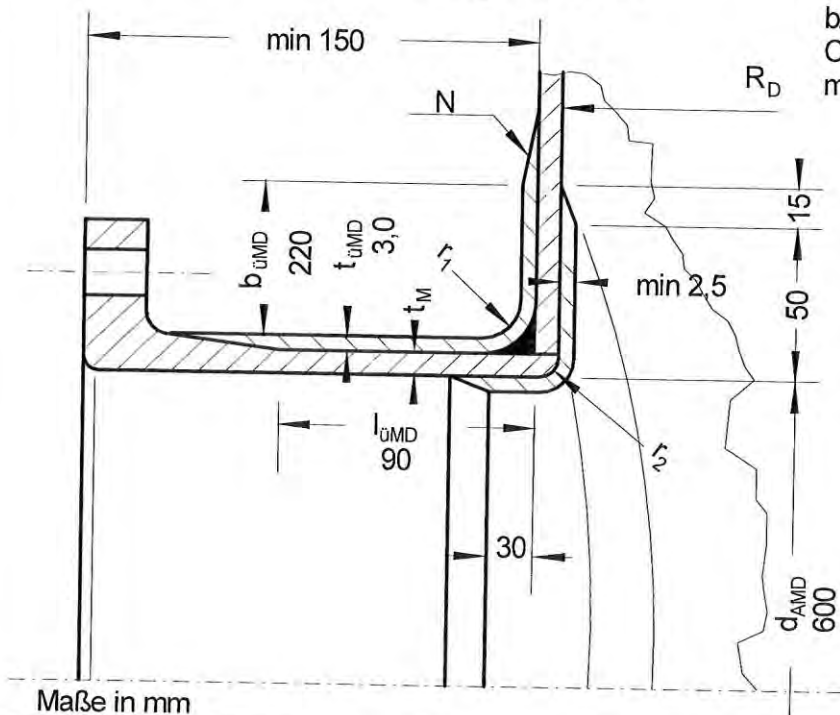
Laminat :

Dach + Überlaminat : M3

| d_{ASD} | $t_{\dot{u}SD}$ | $b_{\dot{u}SD}$ | $l_{\dot{u}SD}$ |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 40 | 3,0 | 100 | 50 |
| 160 | 3,0 | 220 | 50 |

Alle Laminatdicken ohne
Oberflächenschichten:
zusätzlich außen Feinschichten
mit $t_{FS} = 0,2$ bis $0,4$ mm
oder Vliesschichten
mit mindestens $t_V = 0,3$ mm
bzw. auf medienbeanspruchten Flächen
Chemieschutzschicht CSS
mit $t_{CSS} = 2,5$ mm

Detail C Einsteigeöffnung im Dach



r_1 : min 20
 r_2 : min t_M bzw. t_s
N : Neigung max 1:6

Maße in mm



institute for structural plastics
Institut für tragende
Kunststoffkonstruktionen GmbH

Rheinstrasse 7
41836 Hückelhoven

Doppelwandiger Flachbodenbehälter
Typ : 12/40/80-F-CSS-3-1,2-30

Aufstellung bis Windzone 2 Binnenland
Stützen und Einsteigeöffnung
im Dach
Details C und D

Projekt 2013-129-S002

Anlage 5