

Muster-Behälterstatik-Anonym1 MBSA1

Auftrag xxx

(Anfang 2012 Kontaktdaten aktualisiert)

Maßnahme: Umbau des Behälters ABC 850 m³
Ort, Adresse (Baden-Württemberg)

Bauherr und Betreiber: xyz

Planunterlagen: siehe nachfolgendes Planverzeichnis

Aufsteller der Behälterstatik: Ingenieurbüro Dr. Knödel
Statik – Stabilität – Dynamik
info@peterknoedel.de
Sachbearbeiter: Dr.-Ing. Peter Knödel

Umfang: Seiten 1 bis 41

Anhang: siehe Verzeichnis der Anhänge

Ausgabedatum: 18. Januar 2004

0.1 Inhalt

| | | |
|----------|---|-----------|
| 0.1 | Inhalt | 2 |
| 0.2 | Verzeichnis der Anhänge | 4 |
| 1 | Allgemeines | 6 |
| 2 | Verwendete Unterlagen | 8 |
| 2.1 | Baurechtliche Vorschriften | 8 |
| 2.2 | Normen BRD | 8 |
| 2.3 | Normen EU | 9 |
| 2.4 | Normen ISO | 10 |
| 2.5 | Regelwerke und Richtlinien | 10 |
| 2.6 | Zulassungen | 10 |
| 2.7 | Fachliteratur | 11 |
| 2.8 | Software | 11 |
| 2.9 | Projektbezogene Unterlagen | 11 |
| 3 | Grundlagen | 12 |
| 4 | Werkstoffe und Nachweise | 13 |
| 4.1 | Allgemeines | 13 |
| 4.2 | Werkstoffe und Verbindungsmittel | 13 |
| 4.3 | Mechanische Eigenschaften | 13 |
| 4.4 | Werkstoffnachweise | 14 |
| 4.5 | Eignungsnachweise | 14 |
| 4.6 | Nahtgüten und Prüfumfang | 14 |
| 4.7 | Korrosionsschutz | 14 |
| 4.8 | Wanddickenunterschreitung | 15 |
| 4.9 | Abnutzung | 15 |
| 5 | Tragwerk und Aussteifungskonzept | 16 |
| 6 | Geometrische Kenngrößen | 17 |
| 7 | Lastfälle und deren Kombination | 18 |
| 7.1 | Eigenlasten (EG) | 18 |
| 7.2 | Verkehrslasten (P) | 18 |
| 7.2.1 | Vertikale Verkehrslasten | 18 |
| 7.2.2 | Horizontale Verkehrslasten | 18 |
| 7.3 | Wind (W) | 18 |
| 7.4 | Schnee (S) | 19 |
| 7.5 | Schiefstellung | 19 |
| 7.6 | Erdbeben | 20 |
| 7.7 | Füllung | 20 |
| 7.8 | Innerer Unterdruck (BU) | 20 |
| 7.9 | Innerer Überdruck | 21 |
| 7.10 | Niveau-Behälter | 21 |
| 7.11 | Lastfallkombinationen | 21 |
| 8 | Schnittgrößen im Mantel | 22 |
| 8.1 | Eigenlasten | 22 |
| 8.2 | Verkehrslasten | 23 |
| 8.3 | Wind | 23 |
| 8.3.1 | Horizontale Wirkungen | 23 |
| 8.3.2 | Vertikale Wirkungen | 24 |

Dokument und Anhänge unterliegen dem Urheberrecht / Intellectual property rights reserved for this document and annexes

| | | |
|-----------|------------------------------------|-----------|
| 8.4 | Schnee | 25 |
| 8.5 | Schiefstellung | 25 |
| 8.6 | Erdbeben | 25 |
| 8.7 | Füllung | 25 |
| 8.8 | Innerer Unterdruck | 26 |
| 8.9 | Innerer Überdruck | 26 |
| 9 | Festigkeitsnachweise Mantel | 27 |
| 10 | Stabilitätsnachweise Mantel | 28 |
| 10.1 | Beanspruchung in Axialrichtung | 28 |
| 10.2 | Beanspruchung in Umfangsrichtung | 29 |
| 10.3 | Interaktion | 30 |
| 11 | Zusätzliche Ringsteifen | 31 |
| 12 | Dach | 33 |
| 12.1 | Lastkombinationen | 33 |
| 12.2 | Nachweise für Auflast | 34 |
| 12.3 | Nachweise für abhebende Last | 34 |
| 12.4 | Dacheckring – Festigkeitsnachweis | 35 |
| 12.5 | Dacheckring – Stabilitätsnachweis | 36 |
| 12.6 | Schweißnaht zum Behälter | 37 |
| 13 | Boden | 38 |
| 14 | Verankerung | 40 |
| 15 | Anhänge | 41 |

0.2 Verzeichnis der Anhänge

Lasten - Membranzustand **9 Seiten**

- B1 Tank unter Fülllast – Membranzustand (Rechenblatt, 2 Seiten)
- B2 Tank unter Überdruck – Membranzustand (Rechenblatt, 2 Seiten)
- B3 Tank unter Unterdruck – Membranzustand (Rechenblatt, 2 Seiten)
- B4 Erdbeben (Rechenblatt, 3 Seiten)

Stabilitätsnachweise **19 Seiten**

- D1 Axialbeulen (Rechenblatt, 4 Seiten)
- D2A Umfangsbeulen ohne Verstärkungsmaßnahmen (Rechenblatt, 5 Seiten)
- D2B Umfangsbeulen mit Ringsteifen a = 2700 mm (Rechenblatt, 5 Seiten)
- D2C Umfangsbeulen mit Ringsteifen a = 2625 mm (Rechenblatt, 5 Seiten)

Ringsteifen **16 Seiten**

- R1A Querschnittswerte Zusatzringe (Ausgabe DUENQ, 3 Seiten)
- R1B Knicknachweis Zusatzringe (Rechenblatt, 2 Seiten)
- R2A Querschnittswerte Dacheckring (Ausgabe DUENQ, 3 Seiten)
- R2B Knicknachweis Dacheckring (Rechenblatt, 2 Seiten)
- R3A Querschnittswerte verstärkter Dacheckring (Ausgabe DUENQ, 4 Seiten)
- R3B Knicknachweis verstärkter Dacheckring (Rechenblatt, 2 Seiten)

Dach

12 Seiten

- DA1A Kegeldach unter Auflasten – Membranzustand (Rechenblatt 4 Seiten)
- DA1B Kegeldach unter Innerem Unterdruck – Membranzustand (Rechenblatt 4 Seiten)
- DA1C Kegeldach unter Innerem Überdruck – Membranzustand (Rechenblatt 4 Seiten)

Zusammenfassung der Anhänge

| <u>Anzahl</u> | <u>Bezeichnung</u> |
|---------------|----------------------|
| 9 | Lasten |
| 19 | Stabilitätsnachweise |
| 16 | Ringsteifen |
| 12 | Dach |

56 Seiten Anhänge gesamt

1. Allgemeines

<<< diese Musterstatik ist identisch mit einer Original-Statik von Peter Knödel, sie wurde am 01.03.07 für Lehrzwecke anonymisiert >>>

Gegenstand der vorliegenden Behälterstatik ist die Nutzungsänderung eines bestehenden oberirdischen zylindrischen Flachbodentanks (Herstellungsjahr 1994) auf dem Betriebsgelände der Fa. xyz in Ort.

Die Hauptabmessungen sind:

Durchmesser 10,40 m

Traufhöhe 10,50 m

Kegeldach 15°

Der Tank ist aus austenitischem Chrom-Nickelstahl Werkstoff Nr. 1.4571 gefertigt.

Für das Tank-Bauwerk werden die Bauteil- und – soweit erforderlich – Anschlußnachweise erbracht, wobei die bisherigen und die neuen Lasten erfasst werden. Sofern erforderlich werden Verstärkungsmaßnahmen vorgeschlagen und nachgewiesen.

Auslegungsdaten nach Angaben des Betreibers:

| Größe | Einheit | Zahlenwert |
|-----------------------------|-------------------|------------|
| spez. Gewicht Medium | kN/m ³ | 11 |
| Bemessungstemperatur Medium | °C | 100 |
| Betriebs-Unterdruck | mbar | 30 |
| Störungs-Überdruck | mWS | 2 |
| Verkehrslast Dach | kN/m ² | 2 |

Hinweis:

Die übrigen Einwirkungen, z.B. Schnee, Wind, Erdbeben, werden nach den einschlägigen Normen angesetzt.

Als Zyklenzahl für den Störungs-Überdruck wird nach Angaben des Betreibers 2/Jahr angenommen. Ermüdung wird daher nicht maßgebend.

Ohne weiteren Nachweis wird dies auch für die Füllstandsschwankungen im Behälter angenommen. Der Behälter wird unter vorwiegend ruhenden Lasten bemessen.

2. Verwendete Unterlagen

2.1 Baurechtliche Vorschriften

Hinweis:

Für Baden-Württemberg siehe aktuelle Dokumente auf den Internet-Seiten des Wirtschaftsministeriums www.wm.baden-wuerttemberg.de/dat/dwn

- [1] Sauter, Imig, K.: Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) vom 08. August 1995, zuletzt geändert durch Gesetz vom 19. Dezember 2000. 24. Auflage. Kohlhammer, Stuttgart 2001.
- [2] Liste der Technischen Baubestimmungen (LTB), Stand 01.10.03 (GABl. S. 595).
- [3] Deutsches Institut für Bautechnik: Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C - Ausgabe 2002/1. Mitteilungen DIBt 33 (2002), Sonderheft Nr. 26.
Hinweis:
Angaben zur jeweils neuesten Ausgabe auf den Internet-Seiten des DIBt www.dibt.de.
- [4] Verordnung über Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen (Druckbehälterverordnung DruckbehV) und Allgemeine Verwaltungsvorschrift. Ausgabe April 2002.
- [5] Richtlinie über Druckgeräte (Druckgeräterichtlinie DGRL). Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Druckgeräte. Ausgabe Februar 1998.

2.2 Normen BRD

- [6] DIN 1055: Lastannahmen für Bauten.
Teil 1: Lagerstoffe, Baustoffe und Bauteile. Juli 1978.
Einführungserlaß GABI BW (1990)
Neue Ausgabe Juni 2002 ist in Baden-Württemberg eingeführt, siehe unten
Teil 3: Verkehrslasten. Juni 1971.
Einführungserlaß GABI BW (1993)
Neue Ausgabe Oktober 2002, siehe unten
Teil 4: Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken. August 1986, 29 Seiten.
A1 Änderung: Berichtigungen. Juni 1987, 2 Seiten.
Einführungserlaß GABI BW (1989)
Teil 5: Verkehrslasten; Schneelast und Eislast. Juni 1975, 5 Seiten.
Einführungserlaß GABI BW (1978)
A1 Änderung. April 1994.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
- [7] DIN 1055: Einwirkungen auf Tragwerke.
Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen. Juni 2002.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
Teil 4: Windlasten. Entwurf März 2001.
Teil 5: Schnee- und Eislasten. Entwurf April 2001.

Dokument und Anhänge unterliegen dem Urheberrecht / Intellectual property rights reserved for this document and annexes

- Teil 6: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter. Entwurf September 2000.
(siehe auch EC1 und ISO 11697)
- Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.
März 2001. (In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
- [8] DIN 4119: Oberirdische zylindrische Flachboden-Tankbauwerke aus metallischen Werkstoffen.
Teil 1: Grundlagen, Ausführung, Prüfungen. Juni 1979.
Teil 2: Berechnung. Februar 1980.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
- [9] DIN 4133: Schornsteine aus Stahl. November 1991.
"Einführungserlaß" vom 16. März 1993 - Az.: VI-2601.1/9. Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg 41 (1993) Nr. 13, S. 451.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
- [10] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten.
Teil 1: Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. April 1981.
Teil 1 A1: Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Änderung 1, Karte der Erdbebenzonen. Dezember 1992.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
Beiblatt 1: Zuordnung von Verwaltungsgebieten zu den Erdbebenzonen. April 1981.
- [11] E DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten. Auslegung von Hochbauten gegen Erdbeben. Entwurf 2000.
- [12] DIN 18800: Stahlbauten.
Teil 1: Bemessung und Konstruktion. November 1990.
Änderung A1. Februar 1996 .
Teil 3: Stabilitätsfälle, Plattenbeulen. November 1990.
Änderung A1. Februar 1996
Teil 4: Stabilitätsfälle, Schalenbeulen. November 1990.
Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation. September 2002.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
- [13] Anpassungsrichtlinie Stahlbau; Herstellungsrichtlinie Stahlbau. Mitteilungen DIBt 29 (1998), Sonderheft Nr. 11/2, Dezember 1998. Letzte Änderung Dezember 2001.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)

2.3 Normen EU

- [14] DIN V ENV 1991-2-1:1996-01: (EC1)
Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke.
Teil 2-1: Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigenlasten, Nutzlasten
Deutsche Fassung ENV 1991-2-1:1995
- [15] DIN V ENV 1993 (EC3): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau. April 1993.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
- [16] DIN V ENV 1998 (EC8): Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.
Teil 1-1:1997-06: Grundlagen; Erdbebeneinwirkungen und allgemeine Anforderungen an

Bauwerke.

Teil 4:2001-07: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen.

- [17] EN 10088: Nichtrostende Stähle.
Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle (Deutsche Fassung EN 10088-1 : 8/1995)
Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band für allgemeine Verwendung (Deutsche Fassung EN 10088-2 : 8/1995)
Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht und Profile für allgemeine Verwendung (Deutsche Fassung EN 10088-3 : 8/1995)
- [18] EN 10204: Metallische Erzeugnisse; Arten von Prüfbescheinigungen. August 1991. (siehe DIN 50049)
- [19] DIN EN 25817: Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl; Richtlinie für die Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten. September 1992.
(vgl. DIN 8563 Teil 3, siehe auch ISO 5817)

2.4 Normen ISO

entfällt

2.5 Regelwerke und Richtlinien

- [20] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) vom 20.03.75, zuletzt geändert durch Verordnung vom 04.12.96 (BGBl. I S. 1841) in Ast, G.: Verordnung über Arbeitsstätten: Textausgabe. 15. Auflage, Kohlhammer, Stuttgart 2001.
- [21] Arbeitsstättenrichtlinie ASR 12/1-3 – Schutz gegen Absturz und herabfallende Gegenstände. Zu § 12 Abs. 1 bis 3 der Arbeitsstättenverordnung.
Bek. des BMA vom 10.08.86 – III b 2 – 34507 – 10/19, Ausgabe BarbBl. 10/86.
(siehe Arbeitsstättenverordnung)
- [22] AD-Merkblätter. Taschenbuch-Ausgabe 2002, Carl Heymanns Verlag KG, Köln 2002.
- [23] DAST Richtlinie 103: Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1993 Teil 1-1. November 1993.
(In LTB 2003 Baden-Württemberg aufgeführt)
- [24] Richtlinie für die Herstellung von Flachbodentanks mit besonderen Anforderungen. Vereinbarung zwischen VdTÜV und FDBR, Stand 11.06.2002. (Rili FBT)

2.6 Zulassungen

- [25] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6: Bauteile und Verbindungselemente aus nichtrostenden Stählen. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 25.09.98.
Geltungsdauer bis 30.09.2003.
Hinweis:
Nach Auskunft der Informationsstelle Edelstahl Rostfrei www.edelstahl-rostfrei.de vom November 2003 ist die Verlängerung der Zulassung durch das DIBt erteilt, die neue Zulassung befindet sich derzeit im Druck.

2.7 Fachliteratur

- [26] Deutscher Stahlbau Verband (Hrsg.): Stahlbau Handbuch, Für Studium und Praxis, 2. Aufl., Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln. Band 1 (1982), Band 2 (1985).
- [27] Deutscher Stahlbau Verband (Hrsg.): Stahlbau Handbuch - Für Studium und Praxis. 3. Auflage, Band 1 Teil A, Stahlbau-Verlags-GmbH, Köln 1993.
- [28] Lindner, J., Scheer, J., Schmidt, H. (Hrsg.): Beuth-Kommentare – Stahlbauten. Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4. 3. Aufl. 1998. Beuth Verlag GmbH Berlin Köln; Ernst & Sohn, Berlin.
- [29] Petersen, Chr.: Stahlbau. Vieweg, Braunschweig 1988.

2.8 Software

MathCad 2000 Mathsoft

Hinweis: Ein Großteil der im Anhang enthaltenen Rechenblätter wurde vom Aufsteller dieser Behälterstatik für die Vorlesung Behälterbau an der Fachhochschule Karlsruhe entwickelt. Die Rechenblätter sind im Internet unter www.peterknoedel.de hinterlegt. Sie können für nicht-kommerzielle Zwecke heruntergeladen werden.

2.9 Projektbezogene Unterlagen

- Statische Berechnung Nr. 1015 ohne Datum
Behälter Ø 10400 mm x 5,0 mm W.d. Zylindrische Höhe 10500 mm. Kreiszyylinder aus Werkstoff 1.4571, Seiten 1-25
erstellt durch <<Statiker>>
- Zeichnung Nr. xxx vom yyy
Laugenbehälter 850 m³
erstellt durch <<Hersteller>>
- Zeichnung Nr. xxx vom yyy
Niveau-Behälter (für Laugenbehälter 850 m³)
erstellt << Hersteller >>
- Zeichnung Nr. xxx vom yyy
Podest mit Steigleiter für Niveau-Beh.
erstellt << Hersteller >>

3. Grundlagen

Der Tank unterliegt als Bauwerk den Bestimmungen der Landesbauordnung Baden-Württemberg mit dem Verweis auf die Liste der technischen Baubestimmungen sowie auf die Bauregelliste und die Ü-Zeichen-Verordnung.

Besonders anzuführen sind hier DIN 18800 Teile 1, 4 und 7 als Grundnorm, DIN 4119 als Fachnorm und die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 für den eingesetzten nichtrostenden Stahl.

Infolge der Nutzungsänderung ist nun ein innerer Überdruck von 2 m WS entsprechend 20 kN/m² bzw. ca. 0,2 bar zu berücksichtigen. Die Kennzahl "Produkt aus Druck und Volumen" beträgt.

$$K = 0,2 \text{ bar} * 850.000 \text{ Liter} = 170.000 \text{ bar*Liter.}$$

Damit unterliegt der Behälter als Druckbehälter der Druckbehälterverordnung DruckbehV und dem AD-Regelwerk, nach DruckbehV §8 Abs. 2 ist der Behälter in (Prüf-)Gruppe V einzuteilen.

Nach DGRL Art. 9 Abs. 2 ist die Lauge als Fluid Gruppe 1 einzustufen (giftig).

Mit einem Volumen größer 1 Liter und einem Produkt aus Druck und Volumen größer 25 bar*Liter unterliegt der Behälter als Druckbehälter der Druckgeräterichtlinie DGRL nach Art. 3 Abs. 1 Nummer 1.1.

Als neuerer Stand der Technik wird die "Richtlinie für die Herstellung von Flachbodentanks mit besonderen Anforderungen. Vereinbarung zwischen VdTÜV und FDBR" (Rili FBT) zugrundegelegt mit dem Stand 11.06.2002. Wie in der Präambel aufgeführt enthält die Rili FBT Regelungen, die über DIN 4119 hinausgehen sowie alle anzuwendenden Regeln aus VAwS, VbF, TRbF, DruckbehV und TRB. Die Rili FBT wird daher im folgenden als Leitdokument verwendet.

4. Werkstoffe und Nachweise

4.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Angaben dienen als Leitfaden für die Beschaffung von Materialien, Fertigungs- und Montageleistungen.

Sie setzen im wesentlichen Forderungen um, die in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für den austenitischen Chrom-Nickel-Stahl Z-30.3-6 sowie die dort zitierten Grundnormen DIN 18800 Teil 1 und Teil 7 aufgeführt sind. In Einzelfällen können schwächere als die nachfolgend aufgeführten Forderungen zutreffen. Die Verantwortung bleibt in jedem Fall bei den ausführenden Unternehmen.

4.2 Werkstoffe und Verbindungsmittel

- Hochlegierte korrosionsbeständige Stähle nach EN 10088 bzw. nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-30.3-6.

4.3 Mechanische Eigenschaften

Als Betriebstemperatur für die gelagerte Lauge sind 100°C anzunehmen.

Vereinfachend und auf der sicheren Seite wird angenommen, daß die gesamte Wanddicke des Behälters diese Temperatur annimmt. Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn der Behälter nachträglich mit einer Wärmedämmung ausgerüstet wird. Dies ist nach Angaben des Betreibers vorgehen.

Werkstoffkennwerte nach Rili FBT Abs. 18:

Dehngrenzen nach DIN EN 10088-2 Tabelle 15 für 100°C:

$R_{p0,2} = 185 \text{ N/mm}^2$ (identisch mit dem Wert in DIN 4133 Tabelle 1)

$R_{p1,0} = 218 \text{ N/mm}^2$ (für Tragsicherheitsnachweise ohne Stabilitätsgefahr)

E-Modul nach DIN 4133 Tabelle 1:

$$E = 164000 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 194000 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{für Zwängungsschnittgrößen})$$

4.4 Werkstoffnachweise

- Alle Baustoffe und Verbindungsmittel müssen mit Ü-Zeichen nach Bauregelliste versehen sein, siehe "Zulassung" Abs. 2.2.2 (1).
- Die austenitischen Chrom-Nickel-Stähle müssen mindestens durch Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10204 belegt sein, siehe "Zulassung" Abs. 2.2.2 (3).

4.5 Eignungsnachweise

- Zum Herstellen der geschweißten Stahlkonstruktion aus hochlegierten Stählen ist eine Bescheinigung nach AD-HP3 erforderlich, siehe Rili FBT Abs. 6.3.
- Falls der Behälter nicht als Druckbehälter nach AD-Regelwerk einzustufen ist, ist aus baurechtlicher Sicht eine Bescheinigung Klasse C (früher: "Kleiner Eignungsnachweis" mit Erweiterung auf Nichtrostende Stähle) nach DIN 18800 Teil 7 erforderlich.

4.6 Nahtgüten und Prüfumfang

Bei der Bemessung der Schweißnähte werden die Abminderungsfaktoren α_w nach DIN 18800 Teil 1 bzw. "Zulassung" ersetzt durch den Schweißnahtfaktor v , siehe Rili FBT Abs. 16.3.

Die zulässigen Berechnungsspannungen werden in den Schweißnähten zu 85 % ausgenutzt (AD-HP0 Tabelle 1). Dies wurde bereits bei der ursprünglichen Berechnung des Behälters so vorausgesetzt.

4.7 Korrosionsschutz

Der verwendete Werkstoff 1.4571 gilt gegenüber der gelagerten Lauge und der atmosphärischen Witterung als beständig. Ein Korrosionszuschlag wird nicht angesetzt.

4.8 Waddickenunterschreitung

Nach AD-B0 Abs. 9.1.2 bleiben Waddickenunterschreitungen bei austenitischen Stählen unberücksichtigt.

4.9 Abnutzung

Nach AD-B0 Abs. 9.2.3 entfällt bei austenitischen Stählen ein Abnutzungszuschlag.

5. Tragwerk und Aussteifungskonzept

Der Mantel des bestehenden Behälters wird aus einer stehenden unversteiften Zylinderschale gebildet. Diese übernimmt die rotationssymmetrischen Lasten aus Flüssigkeitsfüllung sowie innerem Über- und Unterdruck und den Dachlasten, wobei überwiegend Membrantragwirkung aktiviert wird. Die nicht-rotationssymmetrischen Flächenlasten aus natürlichem Wind werden über Flankenschub in die Gründung übertragen, wobei auch vertikale Ankerlasten aktiviert werden.

Das quasi-orthotrop ausgesteifte selbsttragende Kegeldach überträgt Flächenlasten aus Schnee sowie innerem Über- und Unterdruck als gleichförmige Randlast auf den Dacheckring. Einzellasten aus Begehung werden aus den Schalenfeldern über Biegung in die benachbarte Rippen übertragen und von dort in die benachbarten Schalenteile abgesetzt.

Der Boden ist als Doppelboden mit Vakuumüberwachung ausgeführt. Er überträgt die Kräfte aus Füllung direkt in die darunter liegende Gründung.

6. Geometrische Kenngrößen

Durchmesser Mantel: 10400 mm

Radius Mantel: 10400 mm / 2 = 5200 mm
(hier vereinfachend als Schalenmittelflächenradius angesetzt)

Umfang: $\pi * 10400 \text{ mm} = 32673 \text{ mm}$

Mantelhöhe: 10500 mm

Wanddicke: 5,0 mm

R/T: 5200 mm / 5 mm = 1040

Bodenfläche: $\pi * 10,40^2 \text{ m}^2 / 4 = 84,9 \text{ m}^2$

Durchmesser Dach: 10600 mm

Höhe Dach: 1400 mm

Dachfläche: $\pi * 10,60^2 \text{ m}^2 / 4 = 88,2 \text{ m}^2$

Nenn-Volumen: 850 m³

Volumen bei Füllung bis Unterkante Überlauf:

$$84,9 \text{ m}^2 * 10,15 \text{ m} = 862 \text{ m}^3$$

Querschnittsfläche des zylindrischen Mantels:

$$A = 32673 \text{ mm} * 5 \text{ mm} = 1534 \text{ cm}^2$$

Widerstandsmoment des zylindrischen Mantels:

$$W = \pi * 5200^2 \text{ mm}^2 * 5 \text{ mm} = 425000 \text{ cm}^3$$

7. Lastfälle und deren Kombination

7.1 Eigenlasten (EG)

Nach DIN 1055 Teil 1.

7.2 Verkehrslasten (P)

7.2.1 Vertikale Verkehrslasten

Nach DIN 4119 Teil 2 Abs. 4.1.2.4.1:

1 kN alternativ zur Schneelast

Nach DIN 4119 Teil 2 Abs. 4.1.2.4.2 und 4.1.2.4.3 – Laufstege und Podeste:

3 kN an ungünstigster Stelle (nach Rili FBT bei begehbaren Auf- und Anbauten)

Nach Rili FBT Abs. 15.5.1:

3 kN Einzellast auf 1 m² alternativ zu Schnee

Nach Vorgabe des Betreibers:

2 kN/m²

7.2.2 Horizontale Verkehrslasten

Nach DIN 4119 Teil 2 Abs. 4.1.2.4.3:

0,3 kN an ungünstigster Stelle

7.3 Wind (W)

Nach DIN 1055 Teil 4.

Eine Erhöhung des Kraftbeiwertes nach Rili FBT Abs. 15.6.2 wird nicht angesetzt, da auch Abschattung durch umstehende Gebäude nicht angesetzt wird.

Dachsog mit $c_p = 0,6$ und einer Ausmitte von $D/20$

nach Rili FBT Abs. 15.6.3.

Hinweis:

Da nach dem Umbau des Tankes betriebsmäßig ein planmäßiger innerer Unterdruck vorliegt, braucht Unterdruck aus Belüftung nicht mehr angesetzt zu werden.

Nach DIN 1055 Teil 4 Tabelle 1 beträgt der Nennwert der Windgeschwindigkeit:

$$v = 35,8 \text{ m/s}$$

Die Reynoldszahl beträgt nach DIN 4133 A.20:

$$Re = d * v / \nu$$

$$\text{mit } \nu = 1,5 * 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$Re = 10,4 \text{ m} * 35,8 \text{ m/s} / 1,5 * 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s} = 2,5 * 10^7$$

Nach DIN 1055 Teil 4 Tabelle 15 und Bild 13 werden die Zahlenwerte für $Re = 10^7$ angesetzt.

Effektive Streckung nach Tabelle 16:

für $L < 15 \text{ m}$ gilt:

$$L/D = \text{ca. } 1$$

Aus Bild 14 für $\varphi = 1,0$ abgelesen:

$$\psi = 0,6$$

Staudruck:

$$q = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

7.4 Schnee (S)

Nach DIN 1055 Teil 5.

Mannheim liegt in Schneelastzone II

Höhe Fußboden: ca. 100 m NN

Dachhöhe: ca. 113 m NN

Regelschneelast $s_0 = 0,75 \text{ kN/m}^2$

Nach DIN 4119 Teil 2 Abs. 4.2.1 ist Schnee auch halbseitig anzusetzen.

7.5 Schiefstellung

Nach DIN 4149 Teil 2 Abs. 4.1.2.1.3 wird eine Schiefstellung von 1% angesetzt.

7.6 Erdbeben

Nach Rili FBT darf EC8 angewendet werden.

Nach DIN 4149 Teil 1.

Mannheim liegt in Erdbebenzone 1 (siehe DIN 4149 Beiblatt 1).

Als Bauwerksklasse wird 1 angesetzt.

Die Erdbebenlasten werden in Anhang B4 ermittelt.

Die Abschätzung der Eigenfrequenz für den Tank ist schwierig.

Als grobe Abschätzung wird "Formel 1" aus dem Anhang zu EDIN 4149:2000 herangezogen:

$$T = 0,050 * (10,5 \text{ m})^{3/4} = 0,292 \text{ sek}$$

$$f = 1 / 0,292 \text{ sek} = 3,4 \text{ Hz}$$

7.7 Füllung

Der Behälter hat ein Nennvolumen von 850 m³.

Das spezifische Gewicht des gelagerten Mediums beträgt nach Angaben des Betreibers 11 kN/m³.

Die maximale Füllhöhe bis zur Unterkante Notüberlauf-Stutzen N7 nach Zeichnung Nr.

94/1219/5279 C beträgt

$$H_{\text{max}} = 10500 \text{ mm} - 200 \text{ mm} - 150 \text{ mm} = 10150 \text{ mm}$$

Die minimale Füllhöhe bis zur Oberkante Restentleerung N3 nach Zeichnung Nr. 94/1219/5279 C

beträgt

$$H_{\text{min}} = \text{ca. } 170 \text{ mm}$$

7.8 Innerer Unterdruck (BU)

Als planmäßiger Betriebs-Unterdruck herrscht ein Druck von

$$p_u = -30 \text{ mbar entspr. } -300 \text{ mm WS entspr. } -3,0 \text{ kN/m}^2$$

Die Größe des Betriebsunterdruckes wird nach Angaben des Betreibers durch technische Einrichtungen begrenzt. Damit liegt eine kontrollierte Einwirkung vor.

7.9 Innerer Überdruck

Als nichtplanmäßiger Überdruck (Störfall) herrscht ein Druck von
 $p_{\text{ü}} = 2 \text{ m WS entspr. } 0,2 \text{ bar entspr. } +20 \text{ kN/m}^2$

Die Größe des Überdruckes wird nach Angaben des Betreibers durch technische Einrichtungen begrenzt. Damit liegt eine kontrollierte Einwirkung vor.

7.10 Niveau-Behälter

Ein Niveau-Behälter mit einem Gesamtgewicht von ca. 9 kN ist auf einem Podest seitlich am Behältermantel befestigt. Die Lasten und das Versatzmoment aus dem Niveau-Behälter werden über zwei Teil-Ringrippen in den Behälter eingetragen. Die Teil-Ringrippen haben einen vertikalen Abstand von 920 mm und eine Länge entlang des Umfanges von 4 m. Sie bestehen aus gekanteten Profilen C - 170 x 70 x 4 - 1.4571, die mit beiden Schenkelenden gegen den Behälter geschweißt sind.

Die Lasten sind dadurch schalengerecht in den Mantel eingetragen.

Die oberste der zusätzlichen Ringsteifen läuft unmittelbar an der unteren Teil-Ringrippe vorbei. Ohne weiteren Nachweis wird daher davon ausgegangen, daß die Lasten aus dem Behälter für die weiter unten geführten Stabilitätsnachweise unschädlich sind.

7.11 Lastfallkombinationen

Teilsicherheitsbeiwerte werden nach Rili FBT Abs. 16 angesetzt.

Die Lastfallkombinationen werden nach Rili FBT Abs. 19.2 und 19.4 gebildet.

8. Schnittgrößen im Mantel

8.1 Eigenlasten

Der Mantel wiegt

$$g = 5 \text{ mm} * 0,08 \text{ kN}/(\text{m}^2 * \text{mm}) = 0,40 \text{ kN}/\text{m}^2$$

Gesamtgewicht Mantel:

$$G = 1,1 * \pi * 10,4 \text{ m} * 11 \text{ m} * 0,40 \text{ k}/\text{m}^2 = 158 \text{ kN}$$

Beanspruchung des Mantels aus EG Mantel

$$n_x = -0,40 \text{ kN}/\text{m}^2 * 11 \text{ m} = -4,4 \text{ kN}/\text{m}$$

$$\sigma_x = -4,4 \text{ N}/\text{mm} / 5 \text{ mm} = -0,9 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Das Dachblech wiegt (näherungsweise Projektionsfläche angesetzt):

$$g = 4 \text{ mm} * 0,08 \text{ kN}/(\text{m}^2 * \text{mm}) = 0,32 \text{ kN}/\text{m}^2$$

$$G = 0,32 \text{ kN}/\text{m}^2 * 88,2 \text{ m}^2 = 28 \text{ kN}$$

Die Rippen wiegen:

$$g = (0,120 \text{ m} + 0,060 \text{ m}) * 5 \text{ mm} * 0,08 \text{ kN}/(\text{m}^2 * \text{mm}) = 0,072 \text{ kN}/\text{m}$$

$$G = 19 * 5,20 \text{ m} * 0,072 \text{ kN}/\text{m} = 7 \text{ kN}$$

Gesamtgewicht einschl. 10% Zuschlag für Domstützen, Geländer usw.

$$G = 1,1 * (28 \text{ kN} + 7 \text{ kN}) = 39 \text{ kN}$$

Flächenlast:

$$g = 39 \text{ kN} / 88,2 \text{ m}^2 = 0,44 \text{ kN}/\text{m}^2$$

Beanspruchung des Mantels aus EG Dach

$$n_x = -39 \text{ kN} / 32,7 \text{ m} = -1,2 \text{ kN}/\text{m}$$

$$\sigma_x = -1,2 \text{ N}/\text{mm} / 5 \text{ mm} = -0,2 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Gesamtgewicht des Tanks über Fußblech:

$$G = 158 \text{ kN} + 39 \text{ kN} = 197 \text{ kN}$$

8.2 Verkehrslasten

Maßgebend für die gleichmäßig verteilte Gesamtlast wird die vom Betreiber vorgegebene Verkehrslast:

Vertikallast aus dem Dachblech:

$$F = 2,0 \text{ kN/m}^2 * 88,2 \text{ m}^2 = 176 \text{ kN}$$

$$n_x = -176 \text{ kN} / 32,7 \text{ m} = -5,4 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_x = -5,4 \text{ N/mm} / 5 \text{ mm} = -1,1 \text{ N/mm}^2$$

8.3 Wind

8.3.1 Horizontale Wirkungen

Nach DIN 1055 Teil 4.

Angesetzte Höhe inkl. dreieckigem Verkehrsband:

$$H = 10,50 \text{ m} + 1,40 \text{ m} + 0,60 \text{ m} = 12,50 \text{ m}$$

Windangriffsfläche:

$$A = 10,4 \text{ m} * 12,5 \text{ m} = 130 \text{ m}^2$$

Hinweis:

Vereinfachend wird als Windangriffsfläche der unverkleidete Behälterdurchmesser zugrunde gelegt, dafür wird stark auf der sicheren Seite liegend über die gesamte Behälterhöhe ein Staudruck von 0,8 kN/m² angesetzt.

Gesamte Horizontallast (stark auf der sicheren Seite):

$$W = 130 \text{ m}^2 * 0,80 \text{ kN/m}^2 = 104 \text{ kN}$$

Schubspannung aus Querkraft:

$$\tau = 104 \text{ kN} * 2 / 1534 \text{ cm}^2 = 1,4 \text{ N/mm}^2$$

Der äquivalente allseitige Außendruck nach DIN 18800 Teil 4 Gl. 47 ist in Anhang D2A ermittelt:

$$q_1 = \delta * q_w = 0,666 * 0,80 \text{ kN/m}^2 = 0,532 \text{ kN/m}^2$$

Die resultierende Umfangsspannung beträgt:

$$\sigma_\varphi = -0,000532 \text{ N/mm}^2 * 5200 \text{ mm} / 5,0 \text{ mm} = -0,553 \text{ N/mm}^2$$

8.3.2 Vertikale Wirkungen

Höhe der Resultierenden:

$$h = 12,50 \text{ m} / 2 = 6,25 \text{ m}$$

Kippmoment:

$$M = 104 \text{ kN} * 6,25 \text{ m} = 650 \text{ kNm}$$

Spannung aus Kippmoment:

$$\sigma_x = 650 \text{ kNm} / 425000 \text{ cm}^3 = 1,5 \text{ N/mm}^2$$

Dachsog:

Flächenlast:

$$w_s = 0,6 * 0,80 \text{ kN/m}^2 = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

Vertikallast aus dem Dachblech:

$$F = 0,48 \text{ kN/m}^2 * 88,2 \text{ m}^2 = 42 \text{ kN}$$

$$n_x = +42 \text{ kN} / 32,7 \text{ m} = +1,3 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_x = +1,3 \text{ N/mm} / 5 \text{ mm} = +0,26 \text{ N/mm}^2$$

Moment aus der Exzentrizität des Lastangriffes:

$$M = 42 \text{ kN} * 10,4 \text{ m} / 20 = 22 \text{ kNm}$$

Spannung aus Moment:

$$\sigma_x = 22 \text{ kNm} / 425000 \text{ cm}^3 = 0,052 \text{ N/mm}^2$$

Gesamtspannung aus Wind – globales Kippmoment und exzentrischer Windsog – im Schnitt Behälterfuß:

$$\text{Luvseite: } \sigma_{x,\text{luv}} = +1,5 \text{ N/mm}^2 + 0,26 \text{ N/mm}^2 + 0,052 \text{ N/mm}^2 = +1,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Leeseite: } \sigma_{x,\text{lee}} = -1,5 \text{ N/mm}^2 + 0,26 \text{ N/mm}^2 - 0,052 \text{ N/mm}^2 = -1,3 \text{ N/mm}^2$$

Gesamtspannung für Interaktion mit Umfangsdruck – im Schnitt Dacheckring, Spannungen aus dem globalen Kippmoment werden dort nicht maßgebend :

$$\text{Luvseite: } \sigma_{x,\text{luv}} = +0 \text{ N/mm}^2 + 0,26 \text{ N/mm}^2 + 0,052 \text{ N/mm}^2 = +0,31 \text{ N/mm}^2$$

8.4 Schnee

Vertikallast aus dem Dachblech:

$$F = 0,75 \text{ kN/m}^2 * 88,2 \text{ m}^2 = 66 \text{ kN}$$

$$n_x = -66 \text{ kN} / 32,7 \text{ m} = -2,0 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_x = -2,0 \text{ N/mm} / 5 \text{ mm} = -0,4 \text{ N/mm}^2$$

Hinweis:

Wird gegenüber den Verkehrslasten nicht maßgebend.

8.5 Schiefstellung

Schnittgrößen aus Schiefstellung sind im vorliegenden Fall vernachlässigbar.

8.6 Erdbeben

Die Erdbebenlasten werden in Anhang B4 ermittelt.

Ungünstig wird mit einer Horizontallast von 233 kN weitergerechnet. Als Sicherheitsbeiwert ist 1,0 anzusetzen.

Schwappen der Flüssigkeit wird nicht untersucht.

Der Tankmantel ist durch das Dach ausreichend ausgesteift und daher an der Lee-Seite unempfindlich gegen die Horizontallast. Detaillierte Nachweise sind nicht erforderlich.

Schubspannungen querab:

$$\tau_{,d} = 233 \text{ kN} * 2 / 1534 \text{ cm}^2 = 3,0 / \text{mm}^2$$

Weitere Nachweise sind nicht erforderlich.

Die Horizontallasten werden über das Bodenblech über Reibung in den Untergrund eingeleitet. Die vorhandene Gleitsicherheit beträgt:

$$v = 8500 \text{ kN} * \tan 30^\circ / 233 \text{ kN} = 21$$

8.7 Füllung

Die maximale Beanspruchung in Umfangsrichtung und die Radienaufweitung im Membranzustand wird in Anhang B1 ermittelt.

Der Ausnutzungsgrad im Umfangsrichtung beträgt 72%.

8.8 Innerer Unterdruck

Vertikallast aus dem Dachblech:

$$F = 3,0 \text{ kN/m}^2 * 84,9 \text{ m}^2 = 255 \text{ kN}$$

$$n_x = -255 \text{ kN} / 32,7 \text{ m} = -7,8 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_x = -7,8 \text{ N/mm} / 5 \text{ mm} = -1,6 \text{ N/mm}^2$$

Die Beanspruchung in Umfangsrichtung und die Radiaufweitung im Membranzustand wird in Anhang B3 ermittelt.

8.9 Innerer Überdruck

Vertikallast aus dem Dachblech:

$$F = 20 \text{ kN/m}^2 * 84,9 \text{ m}^2 = 1700 \text{ kN}$$

$$n_x = +1700 \text{ kN} / 32,7 \text{ m} = +52 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_x = +52 \text{ N/mm} / 5 \text{ mm} = +10,4 \text{ N/mm}^2$$

Die Beanspruchung in Umfangsrichtung und die Radiaufweitung im Membranzustand wird in Anhang B2 ermittelt.

9. Festigkeitsnachweise Mantel

Siehe Rili FBT Abs. 19.2.

Der Nachweis für Fülllasten ist in Anhang B1 erbracht.

Unter Ansatz eines Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_F = 1,2$ beträgt der Ausnutzungsgrad der Umfangszugspannungen:

$$\eta = 144 \text{ N/mm}^2 * 1,1 / (218 \text{ N/mm}^2 * 0,85) = 0,855$$

Der Nachweis für inneren Überdruck ist in Anhang B2 erbracht.

Unter Ansatz eines Teilsicherheitsbeiwertes von $\gamma_F = 1,35$ beträgt der Ausnutzungsgrad der Umfangszugspannungen:

$$\eta = 28 \text{ N/mm}^2 * 1,1 / (218 \text{ N/mm}^2 * 0,85) = 0,166$$

Der gesamte Ausnutzungsgrad beträgt:

$$\eta = 0,855 + 0,166 = 1,021$$

Die geringe zahlenmäßige Überschreitung bedeutet keine unzulässige Einschränkung der Tragfähigkeit.

Hinweis:

Der Nachweis der Zugspannungen in Meridianrichtung (nur aus innerem Überdruck) sowie der Nachweis von Vergleichsspannungen ist nach Rili FBT nicht erforderlich.

10. Stabilitätsnachweise Mantel

10.1 Beanspruchung in Axialrichtung

Die Einwirkungskombinationen nach Rili FBT Abs. 19.4.2 lauten:

$$1a: 1,35 * EG + 1,35 * \psi * BU + 1,5 * 0,9 (S/2 + WU - 0,5*WS)$$

$$1b: 1,35 * EG + 1,35 * \psi * BU + 1,5 * 0,9 (S + WU/2 - 0,5*WS/2)$$

$$2a: 1,35 * EG + 1,5 (S/2 + WU - 0,5*WS)$$

$$2b: 1,35 * EG + 1,5 (S + WU/2 - 0,5*WS/2)$$

$$2c: 1,35 * EG + 1,35 * BU$$

Im vorliegenden Fall wirkt der Betriebsunterdruck ständig, ψ ist daher gleich 1 zu setzen.

Die Größe Windunterdruck (WU) entfällt, da der Behälter bei Vorhandensein eines Betriebsunterdruckes nicht mehr belüftet ist.

Mit den oben ermittelten Längs-Spannungen σ_x erhält man (Zahlenwerte in N/mm²):

Hinweis:

Statt "- 0,5*WS" wird die oben ermittelte Spannung für die Leeseite voll angesetzt.

Ebenso wird für die Interaktion zwischen Axial- und Umfangsbeulen an der Luvseite die (dort) entlastende Windwirkung 1,0-fach angesetzt.

$$1a: 1,35 * (-0,2) + 1,35 * 1,0 * (-1,6) + 1,5 * 0,9 ((-1,1)/2 + (-0,0) + (-1,3)) = -4,9$$

$$1b: 1,35 * (-0,2) + 1,35 * 1,0 * (-1,6) + 1,5 * 0,9 ((-1,1) + (-0,0)/2 + (-1,3)/2) = -4,8$$

$$2a: 1,35 * (-0,2) + 1,5 ((-1,1)/2 + (-0,0) + (-1,3)) = -3,0$$

$$2b: 1,35 * (-0,2) + 1,5 ((-1,1) + (-0,0)/2 + (-1,3)/2) = -2,9$$

$$2c: 1,35 * (-0,2) + 1,35 * (-1,6) = -2,4$$

Der Beulnachweis für Axialbeulen ist in Anhang D1 geführt.

Der Ausnutzungsgrad beträgt:

$$1a: \eta = 4,9 \text{ N/mm}^2 / 15,5 \text{ N/mm}^2 = 0,316$$

Auswertung für die Interaktionsbedingung mit den Meridianspannungen an der Luvseite.

$$1a: 1,35 * (-0,2) + 1,35 * 1,0 * (-1,6) + 1,5 * 0,9 ((-1,1)/2 + (-0,0) + (+0,31)) = -2,8$$

$$1b: 1,35 * (-0,2) + 1,35 * 1,0 * (-1,6) + 1,5 * 0,9 ((-1,1) + (-0,0)/2 + (+0,31)/2) = -3,7$$

Die Ausnutzungsgrade für die Interaktion betragen:

Dokument und Anhänge unterliegen dem Urheberrecht / Intellectual property rights reserved for this document and annexes

$$1a: \quad \eta = 2,8 \text{ N/mm}^2 / 15,5 \text{ N/mm}^2 = 0,181$$

$$1b: \quad \eta = 3,7 \text{ N/mm}^2 / 15,5 \text{ N/mm}^2 = 0,239$$

10.2 Beanspruchung in Umfangsrichtung

Die Einwirkungskombinationen nach Rili FBT Abs. 19.4.2 lauten:

$$1a: \quad 1,35 * \psi * BU + 1,5 * 0,9 (WA + WU)$$

$$1b: \quad 1,35 * \psi * BU + 1,5 * 0,9 (WA/2 + WU/2)$$

$$2a: \quad 1,5 (WA + WU)$$

$$2b: \quad 1,5 (WA/2 + WU/2)$$

$$2c: \quad 1,35 * BU$$

Im vorliegenden Fall wirkt der Betriebsunterdruck ständig, ψ ist daher gleich 1 zu setzen.

Die Größe Windunterdruck (WU) entfällt, da der Behälter bei Vorhandensein eines Betriebsunterdruckes nicht mehr belüftet ist.

Mit den oben ermittelten Umfangs-Spannungen σ_{ϕ} erhält man (Zahlenwerte in N/mm²):

$$1a: \quad 1,35 * 1,0 * (-3,1) + 1,5 * 0,9 ((-0,553) + 0,0) = -4,9$$

$$1b: \quad 1,35 * 1,0 * (-3,1) + 1,5 * 0,9 ((-0,553)/2 + 0,0/2) = -4,6$$

$$2a: \quad 1,5 ((-0,553) + 0,0) = -0,83$$

$$2b: \quad 1,5 ((-0,553)/2 + 0,0/2) = -0,42$$

$$2c: \quad 1,35 * (-3,1) = -4,2$$

Der Beulnachweis für Umfangsbeulen ohne Verstärkungsmaßnahmen ist in Anhang D2A geführt.

Der Ausnutzungsgrad beträgt:

$$1a: \quad \eta = 4,94 \text{ N/mm}^2 / 1,33 \text{ N/mm}^2 = 3,71$$

Der Beulnachweis für Umfangsbeulen mit zusätzlichen Ringsteifen im Abstand von 2,70 m ist in Anhang D2B geführt.

Die Ausnutzungsgrade betragen:

$$1a: \quad \eta = 5,14 \text{ N/mm}^2 / 5,46 \text{ N/mm}^2 = 0,941$$

$$1b: \quad \eta = 4,67 \text{ N/mm}^2 / 5,46 \text{ N/mm}^2 = 0,855$$

Hinweis:

Hier treten höhere Spannungen auf, da der allseitige Ersatzdruck für die Windlast mit kleinerem L/R steigt.

10.3 Interaktion

Interaktion nach DIN 18800 Teil 4 Gl. 50:

$$1a: \quad \eta = 0,181^{1,25} + 0,941^{1,25} = 1,045$$

$$1b: \quad \eta = 0,239^{1,25} + 0,855^{1,25} = 0,989$$

Die zahlenmäßige Überschreitung wird als unbedenklich angesehen:

Setzt man als Ringsteifenabstand

$$a = 10500 \text{ mm} / 4 = 2625 \text{ mm}$$

so erhält man (siehe Anhang D2C)

$$1a: \quad \eta = 0,181^{1,25} + 0,913^{1,25} = 1,011$$

Hinweis:

Die Ergebnisse enthalten noch Reserven, da bei derart niedrigen Spannungen der Ansatz von $2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ auch für den E-Modul von austenitischen Stählen vertretbar wäre.

11. Zusätzliche Ringsteifen

Aus den zuvor geführten Beulsicherheitsnachweisen ergibt sich die Forderung nach zusätzlichen Ringsteifen. Die Beulnachweise sind gerade erfüllt, wenn die Mantelhöhe in 4 Teilfelder unterteilt wird. Der Abstand der Ringsteifen beträgt:

$$a = 10500 \text{ mm} / 4 = 2625 \text{ mm}$$

Dieser Wert ist identisch mit der Lasteinzugsbreite – im weiteren wird gerechnet mit

$$a = 2,70 \text{ m} .$$

Lasten wie oben beschrieben:

Aus innerem Unterdruck:

$$p_u = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Aus Wind (siehe Anhang D2B Seite 5)

$$q = 0,80 \text{ kN/m}^2 * 0,823 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

Maßgebende Kombination für den Bemessungswert des Druckes (siehe Stabilitätsnachweis für den Mantel):

$$q_{,d} = 1,35 * 3,0 \text{ kN/m}^2 + 1,35 * 0,66 \text{ kN/m}^2 = 4,94 \text{ kN/m}^2$$

Linienlast:

$$q_{,d} = 4,94 \text{ kN/m}^2 * 2,70 \text{ m} = 13,3 \text{ kN/m}$$

Normalkraft in der Ringsteife (Schwerpunktsradius geschätzt)

$$N_{,d} = 13,3 \text{ kN/m} * (5200 \text{ mm} + 100 \text{ mm}) = 71 \text{ kN}$$

Als Querschnitt wird gewählt:

$$L 150 \times 100 \times 8 - 1.4571$$

Die Querschnittswerte sind in Anhang R1A ermittelt.

Die mitttragende Breite des Mantels beträgt je Seite (Rili FBT Gl. 19-22)

$$b_{mM} = 0,78 * \sqrt{(5200 \text{ mm} * 5 \text{ mm})} = 126 \text{ mm}$$

Normalspannung in der Ringsteife:

$$\sigma_{\phi} = 71 \text{ kN} / 32 \text{ cm}^2 = 22 \text{ N/mm}^2$$

Stabilitätsnachweise gegen örtliches Beulen sind nicht aufgrund der niedrigen vorhandenen Spannungen nicht erforderlich, da ein B/T von 19 im beidseitig gehaltenen Schenkel und 13 im einseitig gehaltenen Schenkel eingehalten wird.

Der Knicknachweis für die Ringsteife ist in Anhang R1B geführt.

Die Knicklänge wird nach Rili FBT Gl. 19-17 angesetzt.

Der Ausnutzungsgrad beträgt:

$$\eta = 0,662$$

Der Nachweis gegen Biegedrillknicken kann entfallen, da beim Knicknachweis der Ringsteife ungünstig das kleinere der beiden Trägheitsmomente angesetzt wurde.

Schweißnaht konstruktiv gewählt:

Doppelkehlnaht (umlaufend) a = 2 x 2 mm

$$A_w = 4 \text{ mm}$$

$$\sigma_{w,d} = 13,3 \text{ N/mm} / 4 \text{ mm} = 3,3 \text{ N/mm}^2$$

Selbst unter Berücksichtigung der in der Schweißnaht vorhandenen Biegebeanspruchung wäre die Naht ausreichend dimensioniert. Daher können z.B. in regelmäßigen Abständen Ausklinkungen angeordnet werden, die dann dicht zu umschweißen sind.

Ringsteife gewählt:

L 150 (horizontaler Schenkel) x 100 (vertikaler Schenkel) x 8,0 – 1.4571

Schweißnaht:

Doppelkehlnaht 2 x 2,0 mm oder konstruktiv gewählt.

12. Dach

12.1 Lastkombinationen

Die Einwirkungskombinationen nach Rili FBT Abs. 21.2 lauten:

- 1a: $1,35 * EG + 1,35 * \psi * BU + 1,5 * 0,9 (S/2 + WU - 0,5*WS)$
- 1b: $1,35 * EG + 1,35 * \psi * BU + 1,5 * 0,9 (S + WU/2 - 0,5*WS/2)$
- 1c: $1,00 * EG - 1,35 * \psi * BÜ - 1,5 * 0,9 * WS$
- 2a: $1,35 * EG + 1,5 (S/2 + WU - 0,5*WS)$
- 2b: $1,35 * EG + 1,5 (S + WU/2 - 0,5*WS/2)$
- 2c: $1,35 * EG + 1,35 * BU$
- 2d: $1,00 * EG - 1,35 * BÜ$
- 2e: $1,00 * EG - 1,50 * WS$

Im vorliegenden Fall wirkt der Betriebsunterdruck ständig, ψ ist daher gleich 1 zu setzen. Für den Betriebsüberdruck wird $\psi = 0,9$ gesetzt.

Die Größe Windunterdruck (WU) entfällt, da der Behälter bei Vorhandensein eines Betriebsunterdruckes nicht mehr belüftet ist.

Mit den oben ermittelten Flächenlasten erhält man folgende Bemessungslasten für das Dach (Zahlenwerte in kN/m², positive Größen wirken nach unten):

- 1a: $1,35 * 0,44 + 1,35 * 1,0 * 3,0 + 1,5 * 0,9 (2,0/2 + 0,0 - 0,5*0,48) = 5,67$
- 1b: $1,35 * 0,44 + 1,35 * 1,0 * 3,0 + 1,5 * 0,9 (2,0 + 0,0/2 - 0,5*0,48/2) = 7,18$
- 1c: $1,00 * 0,44 - 1,35 * 0,9 * 20 - 1,5 * 0,9 * 0,48 = -24,5$
- 2a: $1,35 * 0,44 + 1,5 (2,0/2 + 0,0 - 0,5*0,48) = 1,73$
- 2b: $1,35 * 0,44 + 1,5 (2,0 + 0,0/2 - 0,5*0,48/2) = 3,41$
- 2c: $1,35 * 0,44 + 1,35 * 3,0 = 4,64$
- 2d: $1,00 * 0,44 - 1,35 * 20 = -26,6$
- 2e: $1,00 * 0,44 - 1,50 * 0,48 = -0,28$

12.2 Nachweise für Auflast

Der Bemessungswert der Auflast beträgt 7,18 kN/m² .

Ohne den Anteil des Betriebsunterdruckes beträgt der Wert

$$q_{d} = 7,18 \text{ kN/m}^2 - 1,35 * 1,0 * 3,0 \text{ kN/m}^2 = 3,13 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k} = 2,32 \text{ kN/m}^2$$

Die Kegelschale ohne Ansatz des Gespärres ist für diese Auflast in Anhang DA1A nachgewiesen.

Der Ausnutzungsgrad beträgt $\eta = 0,112$

Die Kegelschale ohne Ansatz des Gespärres ist für den Betrieblichen Unterdruck in Anhang DA1B nachgewiesen.

Der Ausnutzungsgrad beträgt $\eta = 0,142$

Der gesamte Ausnutzungsgrad der Kegelschale in der Festigkeitsrechnung beträgt für Auflast

$$\eta = 0,112 + 0,142 = 0,254$$

Der Stabilitätsnachweis für die unversteifte Kegelschale wird nach Rili FBT Gl. 21-9 geführt. Die erforderliche Wanddicke beträgt:

$$t_D = 5200 \text{ mm} / \sin 15^\circ * \sqrt{(0,00718 \text{ N/mm}^2 * 1,1 / 1,64 * 10^5 \text{ N/mm}^2)} = 4,41 \text{ mm}$$

Die vorhandene Wanddicke des Kegeldaches beträgt 4,0 mm, das Dach ist jedoch durch 19 Sparren L 120 x 60 x 5 ausgesteift (siehe Pos. 14 in der o.g. Zeichnung).

Der Umfangswinkel zwischen den Sparren beträgt

$$\alpha = 360^\circ / 19 = \text{ca. } 19^\circ \text{ ,}$$

der größte Sparrenabstand am Rand des Daches beträgt

$$b = 32673 \text{ mm} / 19 = 1720 \text{ mm} .$$

Detaillierte Nachweise gegen das Durchschlagen des Kegeldaches können daher entfallen.

12.3 Nachweise für abhebende Last

Der Bemessungswert der abhebenden Last beträgt –26,6 kN/m² .

Die Kegelschale ohne Ansatz des Gespärres ist für diese abhebende Last in Anhang DA1C nachgewiesen.

Der Ausnutzungsgrad beträgt $\eta = 0,805$

Hinweis:

Das Dachblech wird bei Innendruck zwischen den Sparren nach oben gewölbt. Hierbei werden an der Verbindung mit den Sparren plastische Verformungen auftreten. Da innerhalb der planmäßigen Lebensdauer nur ca. 50 Zyklen auftreten, ist dies im Hinblick auf die Tragsicherheit unbedenklich.

12.4 Dacheckring – Festigkeitsnachweis

Mittragende Querschnittsteile des Dacheckringes

Pos. 12: Boden Regenrinne, 100 x 10 $A_{12} = 10 \text{ cm}^2$
(B/T = 10 – voll mittragend)

Pos. 13: Regenrinne Wand, 100 x 5 $A_{13} = 5 \text{ cm}^2$
(voll mittragend, siehe mittragende Breite des Mantel)

Mantel:

$$b_{mM} = 0,78 * \sqrt{(5200 \text{ mm} * 5 \text{ mm})} = 126 \text{ mm}$$

$$A_M = 126 \text{ mm} * 5 \text{ mm} = 6,3 \text{ cm}^2$$

Dachhaut:

$$R = 5200 \text{ mm} / \sin 15^\circ = 20100 \text{ mm}$$

$$b_{mD} = 0,78 * \sqrt{(20100 \text{ mm} * 4 \text{ mm})} = 221 \text{ mm}$$

$$A_D = 221 \text{ mm} * 4 \text{ mm} = 8,8 \text{ cm}^2$$

Fläche gesamt:

$$A = 10 + 5 + 6,3 + 8,8 = 30,1 \text{ cm}^2$$

Ringkraft aus Auflast nach Rili FBT Gl. 21-75:

$$N_{,d} = 7,18 \text{ kN/m}^2 * (10,4 \text{ m} + 0,10 \text{ m})^2 \text{ m}^2 / (8 * \tan 15^\circ) = 370 \text{ kN}$$

Zugspannungen im Dacheckring:

$$\sigma_\varphi = 370 \text{ kN} / 30,1 \text{ cm}^2 = 123 \text{ N/mm}^2$$

Ausnutzungsgrad:

$$\eta = 123 \text{ N/mm}^2 / (218 \text{ N/mm}^2 * 0,85) = 0,664$$

12.5 Dacheckring – Stabilitätsnachweis

Ringkraft aus abhebender Last nach Rili FBT Gl. 21-75:

$$N_{,d} = -26,6 \text{ kN/m}^2 * (10,4 \text{ m} + 0,10 \text{ m})^2 \text{ m}^2 / (8 * \tan 15^\circ) = -1368 \text{ kN}$$

Druckspannungen im Dacheckring:

$$\sigma_{\varphi} = -1368 \text{ kN} / 30,1 \text{ cm}^2 = -455 \text{ N/mm}^2$$

Ausnutzungsgrad:

$$\eta = 455 \text{ N/mm}^2 / 185 \text{ N/mm}^2 = 2,46$$

Die Querschnittswerte für den vorhandenen Dacheckring sind in Anhang R2A ermittelt.

Der Knicknachweis für den vorhandenen Dacheckring ist in Anhang R2B geführt. Durch Probieren wurde die ertragbare Normalkraft im Dacheckring ermittelt.

Diese beträgt

$$N_{,d} = 220 \text{ kN}$$

Der ertragbare innere Überdruck ohne Verstärkungsmaßnahmen am Dacheckring beträgt daher ca.

$$p_{\text{ü}} = 20 \text{ kN/m}^2 * 220 \text{ kN} / 1368 \text{ kN} = 3,2 \text{ kN/m}^2$$

Der Dacheckring kann z.B. durch ein geschweißtes L-Profil verstärkt werden, welches unter das Rinnenblech gesetzt wird.

Die mittragende Breite des äußeren Schenkels beträgt:

$$b_m = 0,78 * \sqrt{(5450 \text{ mm} * 20 \text{ mm})} = 258 \text{ mm}$$

Die Querschnittswerte sind in Anhang R3A ermittelt.

Der Knicknachweis ist in Anhang R3B geführt.

Der Ausnutzungsgrad beträgt

$$\eta = 1368 \text{ kN} / 1472 \text{ kN} = 0,929$$

Verstärkung Dacheckring gewählt:

L-Profil als Ring:

horizontaler Schenkel BL 300 x 20 – 1.4571 umlaufend

vertikaler Schenkel BL 200 x 20 – 1.4571

Schweißnähte konstruktiv

Dokument und Anhänge unterliegen dem Urheberrecht / Intellectual property rights reserved for this document and annexes

12.6 Schweißnaht zum Behälter

Gemäß der vorliegenden Zeichnung ist das Dachblech zum einen an die Oberkante Mantel angeschlossen und zum anderen an die Oberkante Dacheckring. Nahtdicken sind nicht angegeben, jedoch ist von einer Ausführung mit mindestens $a = 3 \text{ mm}$ auszugehen.

Für den Betriebs-Überdruck wurde oben eine auf den Mantelrand abzusetzende Last von 52 kN/m ermittelt.

Die Spannung in der Schweißnaht beträgt damit:

$$\sigma_w = 1,35 * 52 \text{ N/mm} / (2 * 3 \text{ mm}) = 12 \text{ N/mm}^2$$

Weitere Nachweise sind nicht erforderlich.

13. Boden

Bei betriebsmäßiger Entleerung des Behälters über den Stutzen N3 wird bei einem Füllstand von ca. 170 mm "Luft gezogen" (siehe o.g. Zeichnung).

Planmäßige Überhöhung oder planmäßiger Durchhang des Bodens ist in der Zeichnung nicht angegeben. Im weiteren wird von einem verbleibenden Flüssigkeitspegel von 150 mm ausgegangen.

Da zwischen den beiden Bodenblechen ein kontrollierter Unterdruck herrscht, werden bei möglichem Abheben der Bodenmembran beide Bleche aktiviert.

Gewicht der Bleche:

$$g = 2 * 4 \text{ mm} * 0,0785 \text{ kN}/(\text{m}^2 * \text{mm}) = 0,63 \text{ kN}/\text{m}^2$$

(zwischenliegendes Wellengitter nicht angesetzt)

Maßgebende Kombination für Abheben der Bodenbleche:

$$p_{,d} = 1,00 * EG + 1,00 * F - 1,35 * BU$$

$$p_{,d} = 1,00 * 0,63 \text{ kN}/\text{m}^2 + 1,00 * 1,5 \text{ kN}/\text{m}^2 - 1,35 * 3,0 \text{ kN}/\text{m}^2 = -1,92 \text{ kN}/\text{m}^2$$

--> Bodenblech hebt ab

Wenn das Bodenblech abhebt, dann steht der Flüssigkeitspegel nur noch im Bereich der Bodenecke. Als Bemessungsdruck ist daher anzusetzen:

$$p_{,d} = 1,00 * 0,63 \text{ kN}/\text{m}^2 - 1,35 * 3,0 \text{ kN}/\text{m}^2 = -3,42 \text{ kN}/\text{m}^2$$

Es wird angenommen, daß das abhebende Bodenblech die Geometrie eines Kugelsegmentes annimmt. Als zulässiger Stich wird die Durchhangsbegrenzung nach Rili FBT Gl. 20-11 angesetzt.

$$f_{,max} = 10400 \text{ mm} / 100 * \sqrt{(3280 * 218 \text{ N}/\text{mm}^2 / 1,94 * 10^5 \text{ N}/\text{mm}^2)} = 200 \text{ mm}$$

Bei 200 mm Stich beträgt der Krümmungsradius des Kugelsegmentes:

$$R = (r^2 + f^2) / 2f$$

$$R = (5200^2 \text{ mm}^2 + 200^2 \text{ mm}^2) / (2 * 200 \text{ mm}) = 67700 \text{ mm}$$

Die Spannungen im Bodenblech betragen im abgehobenen Zustand:

$$\sigma_x = \sigma_\varphi = 0,00342 \text{ N}/\text{mm}^2 * 67700 \text{ mm} / (2 * 8 \text{ mm}) = 14 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Aufgrund der niedrigen Spannungsauslastung sind weitere Nachweise nicht erforderlich.

Dies gilt auch für die Stabilität der Bodenecke, die konstruktiv mit Pratzen verankert ist.

Dem Betreiber wird empfohlen, die Betriebsabläufe so zu regeln, daß der Behälter planmäßig nicht unter eine Pegelhöhe von 50 cm gefahren wird.

14. Verankerung

Aus dem inneren Überdruck entsteht eine charakteristische Dachlast von 1700 kN.

Auf eine Pratte entfallen

$$F_{,k} = 1700 \text{ kN} / 8 = 212 \text{ kN}$$

$$F_{,d} = 1,35 * 212 \text{ kN} = 287 \text{ kN}$$

Vorhanden:

Gewindestange M24 – 1.4571

Bei der Ermittlung der Tragkraft wird Temperatur nicht berücksichtigt, dies liegt etwas auf der unsicheren Seite.

$$F_{,R,d} = 353 \text{ mm}^2 * 240 \text{ N/mm}^2 / 1,1 = 77 \text{ kN}$$

Ausnutzungsgrad:

$$\eta = 287 \text{ kN} / 77 \text{ kN} = 3,73$$

Insgesamt beträgt die zu verankernde Last entlang des Umfanges 52 kN/m.

Es ist die vierfache Menge an Ankerpratzen erforderlich, d.h. zwischen je 2 vorhandenen Pratzen müssen 3 zusätzliche (baugleich) eingebaut werden.

Möglicherweise sind die Kopfbleche der Pratzen Pos. 22 mit einem durchgehenden Ring zu verbinden.

Die Ausführung wird in Abstimmung mit dem Betreiber festgelegt. Gegebenenfalls werden neue statische Nachweise erbracht.

15. Anhänge

Siehe Verzeichnis der Anhänge auf Seite 4 nach dem Inhaltsverzeichnis.