

**Oberirdische zylindrische Flachboden-
Tankbauwerke aus metallischen Werkstoffen**
Berechnung

DIN
4119
Teil 2

Above ground cylindrical flat bottom-tanks; constructed of metallic materials structural analysis and design
Réservoirs à fond plat cylindriques en surface construits en matériaux métalliques; calcul

Diese Norm wurde im Fachbereich „Stahlbau“ des NABau ausgearbeitet. Sie ist den obersten Bauaufsichtsbehörden vom Institut für Bautechnik, Berlin, zur bauaufsichtlichen Einführung empfohlen worden.

Entwurf, Berechnung und Ausführung der Stahlbauteile von Tankbauwerken erfordern eine gründliche Kenntnis des Stahl- und Behälterbaues und seiner anerkannten Regeln. Deshalb dürfen nur Unternehmen derartige Arbeiten ausführen, die Fachleute mit dieser Kenntnis haben und eine sorgfältige Ausführung sicherstellen.

DIN 4119 ist gegliedert in

Teil 1 Grundlagen, Ausführung, Prüfungen

Teil 2 Berechnung

Inhalt

	Seite		Seite
1 Geltungsbereich	2	10 Schwimmdächer	9
2 Mitgeltende Normen und Unterlagen	2	11 Schwimmdecken in Festdachtanks	10
3 Einheitliche Bezeichnungen und Formelzeichen	3	12 Tank und Gründung	10
4 Lastannahmen	5	Anhang A	
5 Festigkeits- und Stabilitätsnachweis	5	A.1 Festigkeitskennwerte K_B von Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen für die Beulberechnung	11
6 Mantelbleche	6	A.2 Elastizitätsmodul von ferritischen und austenitischen Stählen	11
7 Boden und Bodenecke	7		
8 Obere Aussteifung des Mantels	8		
9 Feste Dächer	8		

Fortsetzung Seite 2 bis 12

1 Geltungsbereich

Diese Norm gilt für oberirdische, lotrecht stehende, zylindrische Behälter mit voll aufliegendem Boden und mit festem Dach (ohne oder mit Schwimmdecke) oder mit Schwimmdach zur Lagerung von Flüssigkeiten oder von gekühlten Gasen in flüssigem Zustand bei atmosphärischem Druck, bei geringen Überdrücken oder Unterdrücken. Für außergewöhnliche Tankbauwerke dürfen besondere, von dieser Norm abweichende Regelungen getroffen werden; sie bedürfen im Einzelfall der Genehmigung der für die Bauaufsicht zuständigen Stelle.

2 Mitgeltende Normen und Unterlagen

2.1 Mitgeltende Unterlagen

Für besondere Lagergüter und Betriebsweisen geltende Rechtsverordnungen und Rechtsbestimmungen ¹⁾.

2.1.1 Verordnung über die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten (VbF) mit Anhängen und Technischen Regeln (TRbF).

2.1.2 Verordnungen der Länder über das Lagern wassergefährdender Flüssigkeiten ²⁾ (VLwF) bzw. wassergefährdender Stoffe (VLwS) mit Verwaltungsvorschriften (z. B. VVLwF) und Technischen Bestimmungen (z. B. TVLwF).

2.1.3 Richtlinien der Länder über Bau und Betrieb von Behälteranlagen zur Lagerung von Heizöl, wie Öltank-Richtlinien bzw. Heizölbehälter-Richtlinien (HBR).

2.1.4 Berufsgenossenschaftliche Unfallverhütungsvorschriften ³⁾ wie

- a) UVV „Druckbehälter“ (VBG 17) und zugehörige AD-Merkblätter der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter
- b) UVV „Gase“ (VBG 61)
- c) UVV „Sauerstoff“ (VBG 62)
- d) UVV „Leitern und Tritte“ (VBG 74)

2.1.5 Richtlinien für Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle ⁴⁾.

DAST-Ri 010 Anwendung hochfester Schrauben im Stahlbau ⁴⁾.

2.2 Mitgeltende Normen

DIN 1050	Stahl im Hochbau; Berechnung und bauliche Durchbildung
DIN 1055 Teil 4	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten nicht schwingungsanfälliger Bauwerke
DIN 1055 Teil 5	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Schneelasten und Eislasten
DIN 1080	Zeichen für statische Berechnungen im Bauingenieurwesen
DIN 4100	Geschweißte Stahlbauten mit vorwiegend ruhender Belastung; Berechnung und bauliche Durchbildung
DIN 4113 Teil 1	Aluminiumkonstruktionen unter vorwiegend ruhender Belastung; Berechnung und bauliche Durchbildung
DIN 4114 Teil 1	Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung); Berechnungsgrundlagen, Vorschriften
DIN 4114 Teil 2	Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung); Berechnungsgrundlagen, Richtlinien
DIN 4115	Stahlleichtbau und Stahlrohrbau im Hochbau, Richtlinien für die Zulassung, Ausführung, Bemessung

¹⁾ Diese Vorschriften regeln auch die Einschaltung der für bestimmte Prüfungen zuständigen Sachverständigen.

²⁾ Zu beziehen beim Richard Boorberg Verlag, München.

³⁾ Diese Vorschriften behandeln u. a. Behälter mit innerem Überdruck und die Lagerung von Gasen in flüssigem Zustand. Herausgegeben vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V., Carl Heymanns Verlag KG, Köln.

⁴⁾ Herausgegeben vom Deutschen Ausschuss für Stahlbau, Stahlbau-Verlag, Köln.

3 Einheitliche Bezeichnungen und Formelzeichen

Es gelten die im Stahlbau allgemein üblichen Bezeichnungen nach DIN 1080 Teil 1 und Folgeteile und die in DIN 4100 und DIN 4114 Teil 1 und Teil 2 enthaltenen besonderen Bezeichnungen, soweit in den Bildern 1 bis 5 und in den folgenden Abschnitten nichts anderes festgelegt ist.

c_D, c_G, c_j, c_S sind Windbeiwerte und als solche dimensionslos.

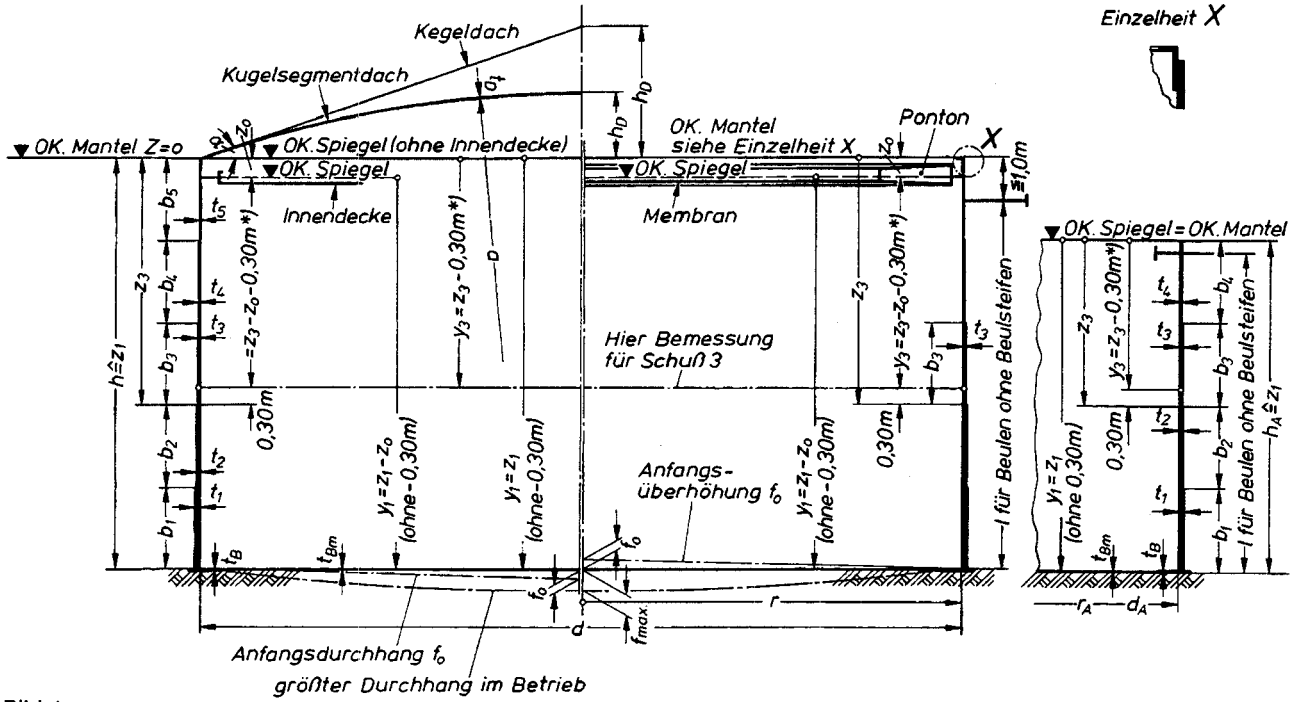


Bild 1.

festes Dach
mit/ohne Schwimmdecke

Schwimmdach

Auffangmantel
mit Stahlboden

*) Wegfall des Abzuges von 0,30m siehe Abschnitt 6.2.1

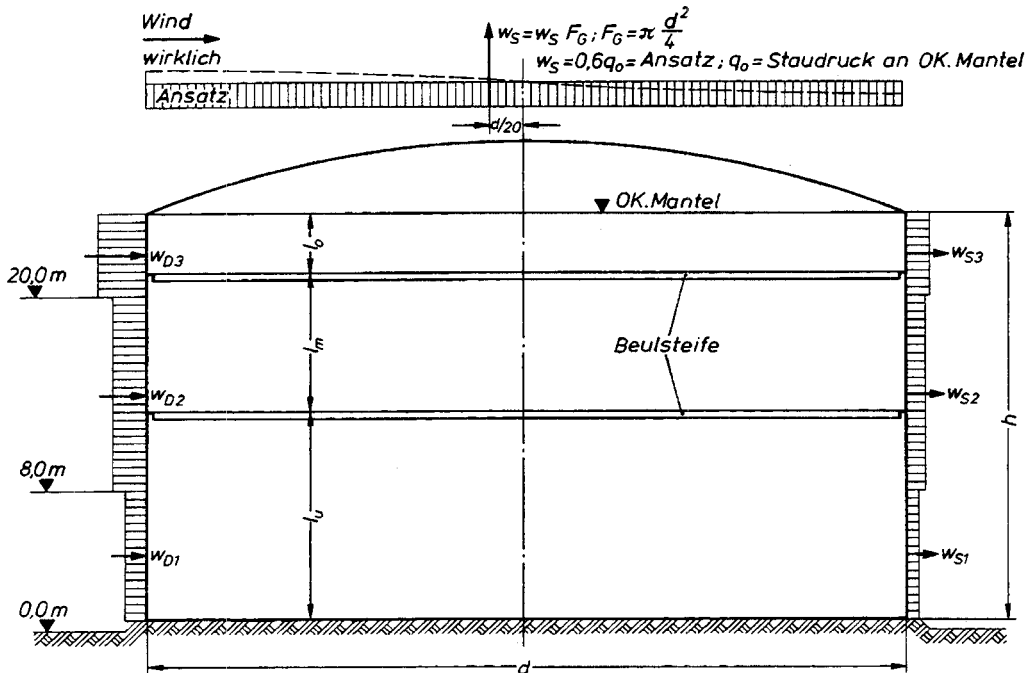


Bild 2. Festdachtank

Druckseite $c_D = 1$
(Luvseite)

Sogseite $c_S = (-) 0,375$
(Leeseite)

Gesamtwind: $h \leq 1,5 d$ $c_G = 0,45$
 $h > 1,5 d$ $c_G = 0,70$

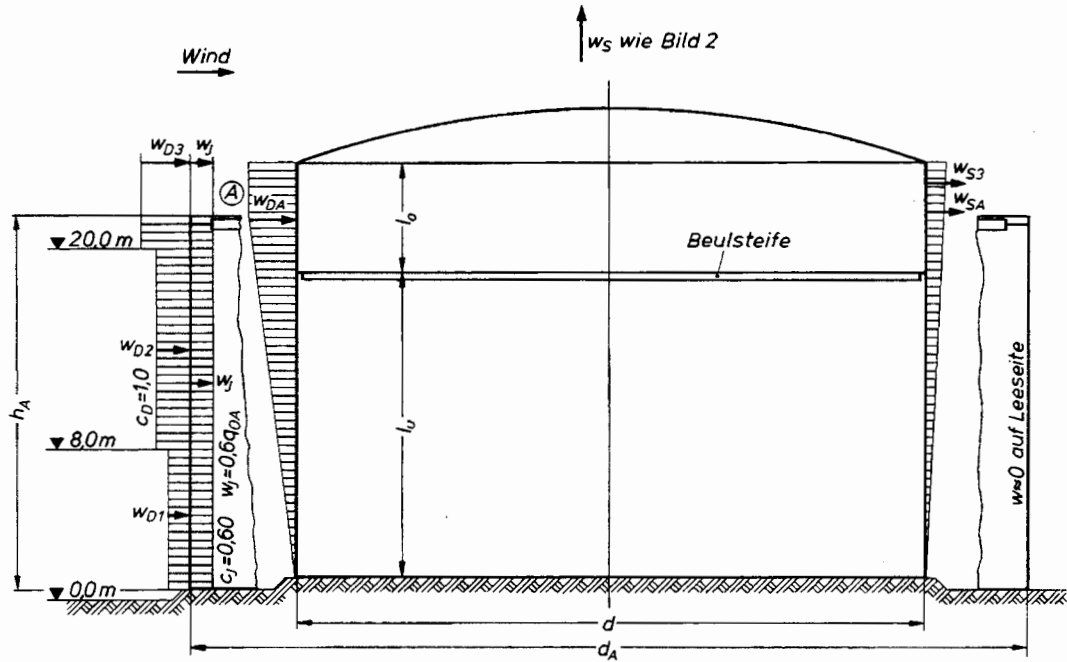


Bild 3. Festdachtank mit Auffangmantel **)

Tankmantel und Dach wie in Bild 2, aber mit linearer Abminderung vom Wert, der in **(A)** auftritt.
 c_D, c_S, c_G wie in Bild 2

Auffangmantel Luvseite $c_D = 1,0; c_j = 0,6$; Gesamtwind $c_G = 0,8$;

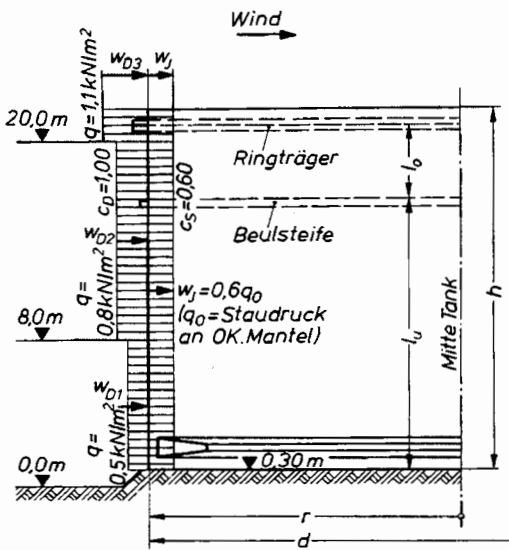


Bild 4. Schwimmdachtank (Luvseite)

$c_D = 1,0; c_j = 0,6$
 Gesamtwind $c_G = 1,2$

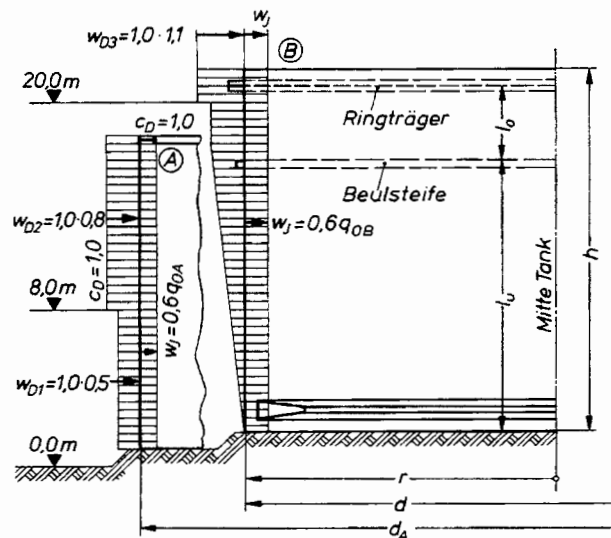


Bild 5. Schwimmdachtank mit Auffangmantel (Luvseite)

Auffangmantel wie Mantel von Bild 4, aber $c_G = 0,80$

Tankmantel oberhalb **(A)** wie Bild 4

unterhalb **(A)**, innen wie Bild 4
 außen mit Abminderung

Gesamtwind $c = 1,20$, wobei Abminderung im Auffangraum erlaubt ist.

**) Für Windlasten ist Werkstoff beliebig

4 Lastannahmen

4.1 Hauptlasten

4.1.1 Ständige Last

Zur ständigen Last gehören Eigenlast einschließlich Isolierung des Behälters und Ausrüstung. Das Gewicht der Isolierung ist vorab anzugeben.

4.1.2 Verkehrslast

4.1.2.1 Lagergut

4.1.2.1.1 Lastannahmen für Mäntel von Tanks und Auffangräumen

Für die Bemessung des Tanks ist vorab festzulegen:

- höchste Lagergut-Temperatur mit zugehöriger Dichte des Lagergutes
- größte Dichte des Lagergutes bei niedrigster Lagerguttemperatur

4.1.2.1.2 Lastannahmen für Schwimmdächer und Schwimmdecken

Für die Bemessung sind die Grenzwerte der Dichte des Lagergutes anzugeben, für die die Funktionsfähigkeit der Schwimmdächer und Schwimmdecken gewährleistet werden muß.

4.1.2.1.3 Zusätzliche Belastung aus einer Schiefstellung des Tanks

Der Einfluß des Lagergutes bei einer Schiefstellung des Tanks auf seine Standsicherheit ist durch eine Mindestneigung von 10‰ in der Berechnung zu berücksichtigen.

4.1.2.2 Innerer Unter- und Überdruck über dem Lagergut oder bei leerem Tank

Für die Bemessung sind die Größtwerte der Unter- und Überdrücke ($p_u, p_{\bar{u}}$) anzugeben.

4.1.2.3 Schneelast

4.1.2.3.1 Die Belastung aus Schnee ist nach DIN 1055 Teil 5 anzunehmen.

4.1.2.3.2 Bei Tanks mit isoliertem Dach ist die Schneelast auch bei höchster Lagergut-Temperatur zu berücksichtigen.

4.1.2.3.3 Für Tanks mit nicht isoliertem Dach und einer Betriebstemperatur $> 50^\circ\text{C}$ muß die Standsicherheit des Daches mit dem maßgebenden Festigkeitskennwert sowohl für Schneelast im kalten Zustand als auch ohne Schneelast bei Betriebstemperatur nachgewiesen werden.

4.1.2.4 Wandernde Einzellast und Geländer-Holmkraft

4.1.2.4.1 Bei Stäben und Gespärren, welche die Dachhaut stützen, ist eine Einzellast $P = 1\text{ kN}$ anstelle der Schneelast P_s anzusetzen, wenn das Biegemoment aus der Einzellast P größer als das aus der Schneelast P_s wird. Für die Dachhaut ist ein Nachweis unter örtlichen Belastungen nicht erforderlich, wenn Abschnitt 9.2.2, 1. Absatz, erfüllt wird.

4.1.2.4.2 Für Laufstege und Rolleatern ist eine Einzellast $P = 3\text{ kN}$ an ungünstigster Stelle anzusetzen. Dabei darf bis 600 mm Steg- bzw. Leiterbreite $\frac{1}{2} P$ und von 600 bis 800 mm Breite $\frac{2}{3} P$ als Belastung eines unterstützenden Bauteils angenommen werden.

Als Belastung für Treppenstufen ist anzunehmen:

- Bei Zweiwagentreppen: $P = 1\text{ kN}$ in Stufenmitte,
- bei Kragstufen: $P = 1\text{ kN}$ in einem Abstand von $\frac{2}{3}$ Treppenbreite von der Einspannstelle entfernt.

4.1.2.4.3 Für Podeste ist die Last $P = 3\text{ kN}$ an ungünstigster Stelle anzusetzen.

4.1.2.4.4 Für Geländerholme und -pfosten ist eine waagerechte Einzellast $P = 0,3\text{ kN}$ an ungünstigster Stelle anzusetzen.

4.2 Zusatzlasten

4.2.1 Halbseitige Ersatzlast in der Größe der halben Schneelast nach Abschnitt 4.1.2.3, bezogen auf die Grundfläche, zur Berücksichtigung einer ungleichmäßigen Schnee-Verteilung.

4.2.2 Temperatureinfluß

4.2.2.1 Für die Bemessung der Tanks braucht eine Änderung der Außentemperatur nicht berücksichtigt zu werden.

4.2.2.2 Thermische Zwängungskräfte können im allgemeinen unberücksichtigt bleiben.

4.2.3 Windlasten

4.2.3.1 Windlasten sind nach DIN 1055 Teil 4 mit folgenden Sonderregelungen anzunehmen:

Für die Winddruckverteilung längs des Mantelumfangs ist allgemein der Mittelwert der Kurven a) und b) nach DIN 1055 Teil 4 anzunehmen. Hieraus folgen für den Tankmantel ohne Auffangmantel $c_D = 1$ (Druck im Staupunkt) und $c_S = -0,375$ (Sog).

Die für die örtlichen Windbelastungen maßgebenden Beiwerte c_D, c_S bzw. c_j (Innenseite der luvseitigen Wand) und c_G (Beiwert für Gesamtwind) können abhängig von der Ausbildung des Tanks und der Auffangtasse den Bildern 2 bis 5 entnommen werden.

4.2.3.2 Die waagerechte Windlastkomponente auf Festdächer darf bei Dachneigungen $\alpha \leq 25^\circ$ und für übliche Ausrüstungsteile (z. B. Stützen und Ventile) am Mantel und auch im Bereich des Daches unberücksichtigt bleiben.

4.2.3.3 Die Sogwirkung am Dach darf nach Bild 2 angenommen werden.

4.2.3.4 Gleichmäßiger innerer Unterdruck p_{us} infolge Sogwirkung bei belüfteten Festdach tanks.

Gleichzeitig mit dem Windsog am Dach von $w_{S1} = (-) 0,6 q_0$ nach Abschnitt 4.2.3.3 kann ein innerer Unterdruck $p_{us} = 0,4 q_0$ auftreten (hierbei ist q_0 der Staudruck an Oberkante Mantel). Es ist jeweils die ungünstigere Lastkonstellation anzusetzen. Das gilt auch für den Stabilitätsnachweis des Mantels.

4.3 Wasserprobefüllung

4.3.1 Bei Tanks, die dem Geltungsbereich der VbF und VLwF unterliegen, darf als maximale Füllhöhe der Wasserprobefüllung 100 mm über Oberkante Dacheckring angenommen werden.

4.3.2 Bei Tanks außerhalb des Geltungsbereichs der VbF und VLwF darf die maximale Füllhöhe der Wasserprobefüllung unterhalb der maximalen Füllhöhe der Lagergut-füllung festgelegt werden, wenn die darüberliegenden Schweißnähte einer besonderen Dichtheitsprüfung unterzogen werden.

4.3.3 Eine Wasserprobefüllung des Auffangraumes ist nicht erforderlich.

5 Festigkeits- und Stabilitätsnachweis, Grundlagen

Für Bauteile des Tanks einschließlich Ausrüstung (ohne Rohrleitungen und ohne Armaturen) ist der Festigkeits- und Stabilitätsnachweis nach DIN 1050, DIN 4100 und DIN 4114 Teil 1 und Teil 2 (gegebenenfalls nach DIN 4115 bzw. für Al nach DIN 4113 Teil 1) zu führen, soweit in den nachfolgenden Festlegungen nicht darauf verzichtet oder ein anderer Nachweis gefordert wird.

Bei ungünstigen Bauzuständen ist die Festigkeit und Stabilität (z. B. des Tankmantels gegen Beulen infolge Wind) gegebenenfalls durch geeignete Aussteifungen oder Abstützungen zu gewährleisten.

Bei Lagergut-Temperaturen $> 50^\circ\text{C}$ ist der Temperatureinfluß auf die Werkstoffkennwerte entsprechend zu berücksichtigen.

Für alle Nachweise (der Spannungen, der Stabilität und des Abhebens der Bodenecke) ist für den Fall, daß ein Korrosionszuschlag vereinbart wird, die statische Dicke (Nennstärke nach Abzug des Korrosionszuschlages) maßgebend. Bei innenliegenden Bauteilen ist der Korrosionszuschlag zu verdoppeln.

5.1 Sicherheitsbeiwerte

Tabelle 1. Sicherheitsbeiwerte v

Zeile	Art der Beanspruchung	Lastfall	
		H	HZ
1	Druck und Biegedruck Knicken, Kippen und Beulen von Schalen	1,71	1,50
2	Zug und Biegezug Biegedruck, wenn kein Ausweichen der Druckgurte möglich ist	1,50	1,33
3	Bauzustände ⁵⁾ mit Wind	1,25	
4	Wasserprobefüllung	1,1	
5	Mäntel von Auffangräumen nach Abschnitt 4.1.2.1.1	1,1	

5.2 Festigkeitskennwerte K und K_B

5.2.1 Der zeit-, dicken- und temperaturabhängige Festigkeitskennwert $K^6)$ dient als Basis für die Ermittlung der zulässigen Spannungen einschließlich der Stabilitätsnachweise (siehe Anhang).

Als Festigkeitskennwert K ist der niedrigste der unter a) und b) genannten Werte einzusetzen. Außerdem muß noch eine mindestens 1,0fache Sicherheit gegenüber den unter c) und d) genannten Werten vorhanden sein:

- Die Streckgrenze, 0,2 Grenze ($\sigma_{0,2}$) oder 1% Dehngrenze ($\sigma_{1,0}$) (Mindestwerte) bei der Berechnungstemperatur ⁷⁾;
- Die Zeitstandfestigkeit für 100 000 Stunden ($\sigma_{B/100\,000}$; Mittelwert) bei der Berechnungstemperatur ⁸⁾ ⁹⁾;
- die 1%-Zeitdehngrenze für 100 000 Stunden ($\sigma_{1\%/100\,000}$; Mittelwert) bei der Berechnungstemperatur ⁸⁾ ⁹⁾;
- die Zeitstandfestigkeit für 100 000 Stunden ($\sigma_{B/100\,000}$) bei einer um 15°C über der Berechnungstemperatur liegenden Temperatur ⁸⁾ ⁹⁾.

5.2.2 Bei Werkstoffen, die (wie z. B. Aluminium und Al-Knetlegierung) in mehreren Härtegraden (z. B. weich, halbhart und hart) geliefert werden, ist zu beachten, daß die Erwärmung beim Schweißen die Festigkeit der kaltverfestigten Werkstoffe verringert. Daher muß bei diesen Werkstoffen für die Berechnung der Wanddicke im Bereich der Schweißnähte der Festigkeitskennwert des Werkstoffes im weichgeglühten Zustand auch dann zugrunde gelegt werden, wenn für die Bleche im Anlieferungszustand eine höhere Härtestufe nachgewiesen wurde. Auch ein Hämmern der Schweißnaht berechtigt nicht zur Anwendung des höheren Festigkeitskennwertes.

5.2.3 Bei Aluminium- und Al-Knetlegierungen dient, anstelle des Elastizitätsmodul, der Festigkeitskennwert K_B ¹⁰⁾ zur Berechnung der praktischen Beulspannungen (siehe Anhang).

5.3 Zulässige Spannungen

5.3.1 Normalspannungen in Blechen (auch z. B. Bodenecken, Dacheckenkonstruktionen und Sparren, sofern sie aus Blechen hergestellt sind).

Mit Abschnitt 5.1 und Abschnitt 5.2 gilt

$$\text{zul } \sigma = \frac{K}{v} \quad (1a)$$

5.3.2 Normalspannungen in Stumpfschweißnähten für Bauteile nach Abschnitt 5.3.1

Die zulässige Beanspruchung der Schweißnähte $\text{zul } \sigma_w$ ist nach folgender Formel zu bestimmen:

$$\text{zul } \sigma_w = \frac{K}{v} \cdot v \quad (1b)$$

Das Beanspruchungsverhältnis v für Zug richtet sich nach den in DIN 4119 Teil 1, Ausgabe Juni 1979, Abschnitt 7, festgelegten Prüfungen (siehe auch AD-Merkblätter der Reihe Herstellung und Prüfung).

Für Druck ist das Beanspruchungsverhältnis $v=1$ zu setzen.

5.3.3 Sonstige Schweißnähte und Schweißnahtbeanspruchung für Bauteile nach Abschnitt 5.3.1

Für Stahl gilt DIN 4100, gegebenenfalls unter Umrechnung im Verhältnis der Streckengrenzen, wobei von St 52 auszugehen ist.

Für Al gilt DIN 4113 Teil 1.

Bei Temperaturen $> 50^\circ\text{C}$ ist eine Abminderung von $\text{zul } \sigma$ im Verhältnis des Festigkeitskennwertes K bei Lagergut-Temperaturen zum Festigkeitskennwert bei Raumtemperaturen vorzunehmen (siehe Anhang).

5.3.4 Profile, sonstige Bauteile, Schrauben, Bolzen und HV-Schrauben

Es gelten DIN 1050, DIN 4100, DIN 4113 Teil 1 und die DAST-Ri 010 ⁴⁾, und für Temperaturen $> 50^\circ\text{C}$ gilt sinngemäß Abschnitt 5.3.3.

6 Mantelbleche

6.1 Minstdicken, Minustoleranzen und Korrosionszuschläge

6.1.1 Für ferritisch-perlitische Stähle sind die Minstdicken der Mantelbleche nach Tabelle 2 einzuhalten, falls nicht besondere Maßnahmen getroffen werden, um eine ausreichende Formgenauigkeit zu erzielen.

6.1.2 Die Minstdicken für die anderen Werkstoffe sind konstruktiv zu wählen (für Aluminium unter Beachtung von DIN 4113 Teil 1).

6.1.3 Für die Nachweise der Spannungen, der Stabilität und des Abhebens der Bodenecke ist die nach den Abschnitten 6.2 und 6.3 statisch erforderliche Dicke t maßgebend, die um einen Betrag $c = c_1 + c_2$ kleiner sein kann als die Nennstärke t_N , so daß $t = t_N - c$ gilt.

Für den Abzug c in mm von der Nennstärke t_N gilt:

- $c_1 = 0$ für übliche Minustoleranzen von Grobblechen (z. B. nach DIN 1543).
- $c_1 =$ Toleranzunterschied in mm, wenn Bleche mit Übergrößen nicht mit den Minustoleranzen von Grobblechen bestellt werden.

⁴⁾ Siehe Seite 2

⁵⁾ Gilt auch für das Mantelbeulen fertiger Tanks, wenn ein vorgesehener Auffangmantel noch nicht errichtet ist.

⁶⁾ Siehe Schrifttum [5]

⁷⁾ Siehe Anhang

⁸⁾ Nur bei Al und Al-Knetlegierungen zu berücksichtigen.

⁹⁾ Im Einzelfall können anstelle der Hunderttausend-Zeitstandwerte auch solche für andere Zeitdehngrenzen vereinbart werden.

¹⁰⁾ Siehe Schrifttum [10]

3. c_2 = Korrosionszuschlag in mm (zur statischen Dicke), der vom Bauherrn für erhöhte Korrosionsgefahr an der Innenseite festgelegt wurde (siehe DIN 4119 Teil 1, Ausgabe Juni 1979, Abschnitt 4.2).

Tabelle 2.

Aus Montagegründen werden folgende Mindestdicken der Mantelbleche für Tanks und Auffangtassen aus ferritisch-perlitischen Stählen einschließlich eventuell geforderter Korrosionszuschläge festgelegt.

	1	2
Zeile	Tankdurchmesser in m	Mindestdicke in mm
1	≤ 15	5
2	$> 15 \leq 30$	6
3	$> 30 \leq 45$	7
4	$> 45 \leq 60$	8
5	$> 60 \leq 75$	9
6	$> 75 \leq 90$	10
7	$> 90 \leq 105$	11

6.2 Spannungsnachweise

6.2.1 Mantelbleche

Mantelbleche und Senkrechnähte sind für die Radialdrücke p_R nach den Formeln (2), (3a) und (3b) zu bemessen¹¹⁾, wobei unter Vernachlässigung von Biegespannungen nur die Ringzugspannungen unter Annahme eines ungestörten Membranspannungszustandes berücksichtigt zu werden brauchen.

Als Radialdruck ist zu setzen:

$$p_R = \gamma \cdot y_n + p_{\bar{u}} \quad (2)$$

Hierin ist die statische Füllhöhe für den untersten Schuß

$$y_1 = z_1 - z_0 \quad (3a)$$

Für alle anderen Schüsse

$$y_n = z_n - z_0 - 0,3 \text{ m} \quad (3b)$$

Steht die Unterkante des Mantels auf einer geneigten Ebene, deren Neigung höchstens 1% beträgt, so genügt die Bemessung nach den Formeln (2) und (3a) für den Größtwert von y_1 .

6.2.1.1 Als zulässige Füllhöhe ist die Höhe anzusetzen, die durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden kann. Sie liegt im allgemeinen um das Maß z_0 unter Manteloberkante. Sind solche Maßnahmen nicht vorgesehen, so ist bei Festdachtanks ohne Schwimmdecken z_0 gleich 0 zu setzen. Als Oberkante Mantel gilt nach Bild 1 die Oberkante eines Randwinkels, wenn dieser über die Oberkante des Mantelbleches hinaussteht.

6.2.2 Verstärkung von Ausschnitten

6.2.2.1 Kreisförmige Mannlöcher und Rohrstutzen über dem Boden

Werden kreisförmige Mannlöcher und Rohrstutzen über dem Boden angeordnet, so kann auf einen Spannungsnachweis verzichtet werden, wenn die ausgefallene Fläche (A_A) durch eine Ersatzfläche (A_E) ersetzt wird, die aus Teilen mit gleichen (oder höheren) Festigkeitskennwerten besteht. Teile mit niedrigeren Festigkeitskennwerten sind statisch als nicht vorhanden zu betrachten.

6.2.2.2 Bodengleiche Ausschnitte¹²⁾

Für bodengleiche Ausschnitte ist ein gesonderter Nachweis zu führen.

6.3 Stabilitätsnachweis für den Mantel¹³⁾

6.3.1 Für den unversteiften oder versteiften Mantel ist bei leerem Tank für die Lastfälle H und HZ unter den ungünstigsten Kombinationen von Radialdruck p_R und Axialspannungen σ_A der Nachweis zu führen, daß die nach Tabelle 1, Zeile 1, geforderten Sicherheitsbeiwerte vorhanden sind, und zwar gegenüber der praktischen Beullast für die Teilfelder l_B und gegenüber der Traglast für die Steifen, wobei seitliches Ausweichen mit zu beachten ist. Die Einleitung großer Einzellasten ist zu berücksichtigen.

6.3.2 Als praktische Beullast (ausgedrückt auch durch Beulspannung oder Beuldruck) gilt die an der unteren Grenze der Ergebnisse durchgeführter praktischer Versuche orientierte Traglast unter Berücksichtigung wirklichkeitsnaher Imperfektionen. Ein theoretischer Nachweis der praktischen Beullast ist zulässig und im einzelnen an Hand von wirklichkeitsnahen Versuchen zu bestätigen.

7 Boden und Bodenecke¹⁴⁾

7.1 Bodenmittenbleche

Die Dicke t_{Bm} wird nach konstruktiven Erfordernissen bestimmt. Bei ferritisch-perlitischen Stählen sind folgende Mindestdicken einzuhalten:

für Stumpfschweißung: $t_{Bm} = 5 \text{ mm}$,

für Überlappschweißung: $t_{Bm} = 6,5 \text{ mm}$

7.2 Bodenecke (Bodenrandblech-Mantelblech)

7.2.1 Biegespannungen

7.2.1.1 Nachweis der Biegespannungen

Die Biegespannungen (nicht die Vergleichsspannung) aus dem Traglastmoment für die im Betrieb auftretenden Grenzfälle aus Lagergut und Mantellast sind nachzuweisen, wobei Tabelle 1, Zeilen 2, 4 und 5, für die Sicherheitsbeiwerte gilt.

7.2.1.2 Der Nachweis kann bei bestimmten Tanks entfallen, und zwar:

- bei nicht verankerten und verankerten Mänteln mit unterem Mantelblech $t_1 \leq 6,5 \text{ mm}$
- bei nicht verankerten Mänteln mit $t_1 \geq 6,5 \text{ mm}$ und Mantelhöhen $h \leq 25 \text{ m}$ bei größter Schiefstellung $\vartheta = 10^\circ/\infty$, wenn außerdem für die zulässigen Innendrucke $\max p_{\bar{u}} = 20 \text{ mbar}$ und $\max p_u = 10 \text{ mbar}$ gilt. Hierunter fallen auch belüftete Tanks, Schwimmdachtanks und Auffangmäntel.
- bei verankerten Mänteln mit $t_1 > 6,5 \text{ mm}$, unabhängig von h , ϑ , $p_{\bar{u}}$ und p_u .

7.2.1.3 Mindestdicken t_B des Bodenrandbleches

a) Für $t_1 \leq 6,5 \text{ mm}$:

$$t_B \geq t_1 \quad (4a)$$

b) Für Mantelblech $t_1 > 6,5 \text{ mm}$:

$$t_B \geq 0,7 t_1 \frac{K_{(1)}}{K_{(B)}} \geq 6,5 \text{ mm} \quad (4b)$$

¹¹⁾ Siehe Schrifttum [6], [15]

¹²⁾ Siehe Schrifttum [6, 13, 14]

¹³⁾ Siehe Schrifttum [7, 8, 9, 10, 11]; es ist beabsichtigt, den Stabilitätsnachweis an die Neuregelung von DIN 4114 Teil 1 und Teil 2 anzupassen.

¹⁴⁾ Siehe Schrifttum [15]

Außerdem gilt $t_B \leq t_1$.

Hier sind $K_{(1)}$ und $K_{(B)}$ die Festigkeitskennwerte der Bleche t_1 und t_B .

Abschnitt 12.4 ist zu beachten.

- c) Im Sonderfall eines gemeinsamen Bodenrandbleches t_B für Auffang- und Tankmantel ist wie folgt vorzugehen:

Aus Gleichung (4 b) sind die zugehörigen Dicken $t_{B(A)}$ und $t_{B(T)}$ für Auffang- und Tankmantel zu bestimmen, als ob zwei Bodenrandbleche $t_{B(A)}$ und $t_{B(T)}$ gewählt würden.

Für das gemeinsame Bodenrandblech der Dicke t_B gilt:

$$\begin{aligned} t_B &\geq t_{B(A)} \\ t_B &\geq 0,7 t_{B(T)} \end{aligned} \quad (4 c)$$

7.2.2 Zulässiger größter Durchhang $\max f$

Der Nachweis der Ringspannungen der Bodenecke wird ersetzt durch eine Begrenzung des größten Durchhanges $\max f$ gegenüber der durch die Mantelunterkante festgelegten Bodenebene. Der zulässige größte Durchhang f ist nach (5) zu errechnen und in die Bauunterlagen einzutragen. Der bei der Montage des Bodens vorzusehende Anfangsdurchhang f_0 (positiv, null oder negativ) ist vom Bauherrn verbindlich anzugeben.

$$\max \left(\frac{100f}{d} \right) = \sqrt{\left(\frac{100f_0}{d} \right)^2 + 3280 \frac{K}{E}} \quad (5)$$

Sind für das Bodenrandblech und das untere Mantelblech unterschiedliche Werkstoffe vorgesehen, ist als Festigkeitskennwert K der kleinere Wert vom Boden oder 1. Mantelring einzusetzen.

7.2.3 Verankerung der Bodenecken bei innerem Überdruck

Eine Verankerung (z. B. an einem Ringfundament) ist für die volle Zugkraft am Mantel erforderlich, wenn diese größer ist als eine Gegenlast auf einem 0,5 m breiten Randstreifen des Bodenbleches. Eine größere Breite darf in Ansatz gebracht werden, wenn ein gesonderter Nachweis geführt wird.

Ist eine Verankerung nicht erforderlich, weil die Gegenlast größer ist als eine vertikale Mantelzugkraft, so bedeutet dies ein begrenztes (zulässiges) Abheben der Bodenecke.

Für leeren Tank sind folgende Fälle zu untersuchen:

- Innerer Überdruck $p_{\text{ü}}$ allein;
- Wind allein (ohne p_{us} nach Abschnitt 4.2.3.4);
- Fall a) und $\frac{1}{2}$ Fall b).

8 Obere Aussteifung des Mantels

8.1 Schwimmdach- und offene Tanks sowie Auffangmäntel

Schwimmdach-, offene Tanks und Auffangmäntel sind in der Nähe der Manteloberkante durch ausreichend steife Ringträger auszusteiern. Ist der Abstand der Aussteifung von der Manteloberkante größer als 30 cm, so ist die Manteloberkante zusätzlich konstruktiv zu verstärken.

8.2 Festdach tanks mit Rippen- und Rippenrost-gespärren oder mit unversteiften Schalen

8.2.1 Nachweis des Dacheckringes

Der Dacheckring ist für die größte positive und negative Dachlast nachzuweisen, wobei die verschiedene Höhenlage des Angriffspunktes der Teillasten (aus Haut und Gespärre) sowie die Momentenbelastungen des Ringträgers infolge der lotrechten und der horizontalen Einzelschnittkräfte der Rippen zu beachten sind.

Lotrechte Einzellasten können auch direkt in den Mantel eingeleitet werden unter Beachtung der Beulsicherheit (siehe Abschnitt 6.3.1).

Dabei ist der Unterschied zwischen nicht drehbehinderten (Krempelung) und drehbehinderten Dacheckringen zu beachten. Bei nicht drehbehinderten Ringen sind Exzentrizitäten zu vermeiden, soweit sie nicht entlastend wirken.

Eine mittragende Breite b_D der Dachhaut darf nur dann in Ansatz gebracht werden, wenn die Stöße der Haut auf einer Breite von $2 b_D$ (radial gemessen) wie folgt ausgeführt sind:

- Stumpfstöße im Blech
- Doppelt geschweißte Überlappstöße bei Zugspannungen.

8.2.2 Sollbruchstelle am Dacheckring

Bei Tanks mit festem Dach ist eine Sollbruchstelle am Dacheckring vorzusehen, die bei einem betriebsmäßig nicht vorgesehenen inneren Überdruck ein möglichst frühzeitiges Ablösen der Dachhaut bzw. des gesamten Daches (bei verbundenem Gespärre) ermöglichen kann.

Es sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- die Anschlußnaht der Dachhaut an dem Dacheckring ist als „Reißnaht“ mit maximal $a = 3$ mm auszuführen, soweit aus statischen Gründen an begrenzten Stellen (Rippenanschlüsse) keine größere Nahtdicke erforderlich ist,
- kein Teil einer unversteiften Schale oder eines Daches mit verbundenem Gespärre darf unter den Dacheckring greifen,
- die Rippen verbundener Gespärre dürfen nicht fest mit dem Dacheckring verbunden sein. Die Übertragung der Rippenkräfte erfolgt über Kontakt oder die Anschlußnaht der Dachhaut, die auf eine Länge $b'_D \leq 100 t_D$ als mittragend eingesetzt werden darf, wo b'_D die für den Rippenobergurt geltende mittragende Breite der Dachhaut ist.

Der Anschlußbereich der Rippen bis zum Erreichen des vollen Rippenquerschnittes ist nachzuweisen.

8.2.3 Dacheckring ohne Sollbruchstelle

Abweichend von Abschnitt 8.2.2 kann bei Tanks, bei denen ein betriebsmäßig nicht vorgesehener innerer Überdruck nicht zu erwarten ist oder bei denen betriebsmäßig nicht vorgesehene innere Überdrücke durch andere geeignete Maßnahmen sicher verhindert werden, auf eine Sollbruchstelle verzichtet werden.

9 Feste Dächer

Von den möglichen Dachkonstruktionen werden hier nur freitragende Dächer behandelt, und zwar

- unversteifte Schalen und
- Dächer mit Gespärren in der Dachfläche.

Anmerkung: Zu b) gehören Dächer mit Rippengespärren, Rippenrostgespärren und anders gearteten Gespärren.

9.1 Unversteifte Schalen (Kugel- oder Kegelformen)

Die Sicherheit der Schalen gegen Durchschlagen ist nachzuweisen. Hierbei ist die Durchschlagslast gleich der praktischen Beullast anzunehmen.

Zur Bestätigung der Berechnung **nicht formgerechter Dächer** (siehe DIN 4119 Teil 1, Ausgabe Juni 1979, Abschnitt 6.2.4) ist ein Belastungsversuch mit der 1,3fachen Vollast vorzunehmen, der zweckmäßig durch Unterdruck in Verbindung mit der Wasserprobe erfolgt, wobei die Beulsicherheit des Mantels zu beachten ist.

Für ferritisch-perlitische Stähle wird eine statisch wirksame Mindestdicke der Schale von $\min t_D = 4$ mm festgelegt. Diese Mindestdicke gilt auch für die Dachhaut von Dächern mit Gespärren.

9.2 Dächer mit Gespärren in der Dachfläche

Für die gesamte Dachkonstruktion kann ein Tragsicherheitsnachweis nach DIN 4114 Teil 2, Ausgabe Februar 1953x, Richtlinien 10.2, unter Ansatz antimetrischer baulicher Abweichungen von der theoretischen Rippenform für Vollast und für ungünstigste einseitige Last mit halbseitiger Ersatzlast nach Abschnitt 4.2.1 geführt werden. Durch diesen Nachweis wird der Nachweis für Sicherheit gegen „Durchschlagen“ abgedeckt.

Hierbei darf das Mitwirken der als gebault vorausgesetzten Dachhaut berücksichtigt werden durch:

- Abtragung eines (symmetrischen) Lastanteils¹⁵⁾
- Verhinderung negativer Durchbiegungen (einseitige Lasten)¹⁶⁾
- Mitwirkung eines Streifens der Dachhaut bei verbundenen Gespärren als Ober- bzw. Untergurt von Gespärrestäben¹⁷⁾

9.2.1 Rippen- und Rippenrostgespärre

Statt eines Tragsicherheitsnachweises für die gesamte Dachkonstruktion darf ein Tragsicherheitsnachweis des Gespärres allein unter Ansatz reduzierter Rippenbelastungen geführt werden¹⁷⁾.

Bei Rippen- und Rippenrostgespärren genügt der Nachweis für Vollast (ohne den Ansatz baupraktisch unvermeidbarer Abweichungen von der theoretischen Rippenform), wenn zusätzlich folgende Bedingungen erfüllt werden:

$$a) \text{ Rippenbelastung } p_R \geq p_s \quad (6)$$

(volle Schneelast nach Abschnitt 4.1.2.3.1)

$$b) I_x \geq \frac{\beta}{\eta} \cdot \frac{v \cdot N}{20,7} \cdot \left(\frac{r}{100} \right)^2 \quad (7)$$

Hierin ist:

N die größte Normalkraft in den Rippen in kN

r der Mantelhalbmesser in cm

I_x das Trägheitsmoment des Rippenprofils in cm⁴ (bei leicht veränderlichem Trägheitsmoment infolge Mitwirkens einer verbundenen Dachhaut in 0,5 r genommen)

$\beta = 1,0$ für Rippengespärre und unverbundene Rippenrostgespärre und 0,83 für verbundene Rippenrostgespärre

$$\eta = \frac{E}{E_{\text{Stahl}}}$$

9.2.2 Dachhaut und Abstand der stützenden Stäbe

Mit Rücksicht auf ein Begehen des Daches ist die Dachhaut so zu unterstützen, daß der Beuldruck p_B der gestützten Dachhaut mindestens $\frac{2}{3}$ der Eigenlast der Dachhaut (einschließlich Isolierung) beträgt. Dies kann durch geeignete Anordnung in der Dachform gebogener Polygonringstäbe erreicht werden.

Wird die Formhaltigkeit durch die oben genannten Polygonringstäbe oder andere Maßnahmen sichergestellt, so darf der Beuldruck einer gestützten Kugel- oder Kegelschale beim Nachweis des Gespärres (siehe Abschnitt 9.2.1) in Ansatz gebracht werden.

Die Spannungen in der Dachhaut und ihren Schweißnähten sind nachzuweisen:

- bei innerem Überdruck > 20 mbar
- bei verbundenem Gespärre, bei dem eine Übertragung des Rippendruckes durch die Dachhaut beabsichtigt ist.

¹⁵⁾ Siehe Schrifttum [16, 17, 18, 19, 20, 21]

¹⁶⁾ Siehe Schrifttum [20, 21]

¹⁷⁾ Siehe Schrifttum [20, 21]

10 Schwimmdächer

10.1 Ausführungsarten

Es werden folgende Ausführungen unterschieden:

- Ringponton mit Innendeck (Membran) ohne Mittelponton,
- Ringponton mit Innendeck (Membran) mit Mittelponton,
- Sonderausführungen (z. B. Doppeldeckschwimmdächer und Ringpontons mit radial-versteiftem Innendeck).

10.2 Ringponton mit Innendeck (Membran) mit und ohne Mittelponton

10.2.1 Lastfälle

Für die Bemessung des Daches sind folgende Lastfälle zu berücksichtigen:

- Lastfall H: Betriebszustand des Daches (schwimmend) mit Berücksichtigung von Schnee,
- Lastfall HZ: Abgesetztes Dach mit Berücksichtigung von Schnee.

Besondere Lastfälle:

- Lastfall „Leckage“: Annahme einer Leckage von Innendeck und zwei benachbarten „Pontonabteilungen“,
- Lastfall „Regenwasser“: Annahme von Regenwasser auf Innendeck mit einseitigem Schnee auf dem Ringponton (siehe Abschnitt 10.2.2.2).

10.2.2 Statische Nachweise

10.2.2.1 Lastfall H und HZ

10.2.2.1.1 Folgende Spannungs- und Stabilitätsnachweise sind erforderlich für

Lastfall H: Biegung der Sparren der Pontondecke und gegebenenfalls zusätzlicher Ringaussteifungen,

Lastfall HZ: Längsbiegung des Ringpontons; die Spannung darf hierbei 0,5 σ nicht überschreiten;

Biegung der Radialschotte mit Stützen;

Knicken der Dachstützen;

Beanspruchung der Verstärkungsbleche t_v unter dem Stützenfuß einschließlich der Schweißnähte auf dem Bodenblech t_{Bm} .

Ein statischer Nachweis des Innendecks kann entfallen, wenn der Abstand zweier Stützen bzw. zweier Tragstreifen weniger als das 1000fache der Innendeckblechdicke ist und der Anschluß der Führungsrohre für die Stützen an das Innendeck über Verstärkungsbleche erfolgt.

10.2.2.1.2 Des weiteren ist der Nachweis der Eintauchtiefe im Betriebszustand zu führen. Der Nachweis erfolgt ohne Berücksichtigung der Schneelast.

10.2.2.2 Besondere Lastfälle

Anstelle eines Nachweises kann für die Ausführungsarten a) und b) nach Abschnitt 10.1 für den Lastfall „Leckage“ ein Belastungsversuch durch Einbringen von Wasser bis zur Oberkante Ringponton während der Wasserprobefüllung beim Aufschwimmen des Daches durchgeführt werden. Zur Abdeckung des ungünstigsten Lastfalles soll zusätzlich zum Innendeck abwechselnd nur der Außen- oder ein gegebenenfalls vorhandener Mittelponton in zwei benachbarten Pontonabteilungen bis zur Höhe des Wasserspiegels im Innendeck geflutet werden.

Die Funktionsfähigkeit soll ohne wesentliche bleibende Verformungen des Schwimmdaches nach 24stündiger Belastung voll erhalten bleiben. Hierdurch wird auch der Lastfall „Regenwasser“ nach Abschnitt 10.2.1 abgedeckt.

Für die Ausführungsart c) nach Abschnitt 10.1 (Sonderausführung) ist von Fall zu Fall ein Belastungsversuch sinngemäß zu vereinbaren.

11 Schwimmdecken in Festdachtanks

11.1 Statische Nachweise

Abschnitt 10.2.2.1.1, Lastfall HZ, gilt sinngemäß. Für den Stützenabstand ist das 1250fache der Schwimmdeckenstärke anstelle des 1000fachen der Innendeckblechdicke zu setzen.

11.2 Nachweis der Eintauchtiefe im Betriebszustand

Der Nachweis erfolgt wie in Abschnitt 10.2.2.1.2.

12 Tank und Gründung

12.1 Die auftretenden Fundamentkräfte (Lastenplan) sind zu ermitteln.

12.2 Je nach Beschaffenheit des Baugrundes ist rechtzeitig zu entscheiden, ob die Auflage der Bodenbleche auf einem Sand- oder Kiesbett oder einer ähnlichen Zwischenlage genügt oder besondere Gründungsmaßnahmen (z. B. Ringbalken, Platten mit oder ohne Pfahlgründung) erforderlich sind.

12.3 Der Ringbalken ist so zu bemessen, daß seine erwartete Setzung mit der des benachbarten Baugrundes unter dem Tankboden möglichst übereinstimmt.

12.4 Die Bodenecke ist wie folgt aufzulagern:

- a) entweder auf einem Betonfundament mit einer mindestens 2 cm dicken Zwischenlage (z. B. Bitumensand), die sich vom Mantel mindestens 30 cm nach innen oder bis zur Innenkante eines Ringfundamentes erstrecken soll,

- b) oder auf einem Kiespolster unter der Bodenecke von 1,5 m Breite und 0,75 m Dicke, das 30 cm über das Bodenrandblech herausragt.

Der Kiessand muß eine Ungleichförmigkeit ≥ 5 haben und mit einem Platten-Rüttelgerät in mehreren Schichten verdichtet werden. Die Verdichtung muß eine Proctor-Dichte¹⁸⁾ $\geq 100\%$ haben.

12.5 Bei setzungsempfindlichem Baugrund empfiehlt sich eine Überhöhung $-f_0$ der Gründung; sie darf aber mit Rücksicht auf Stauchungen des Bodenbleches während des Durchschlagens durch die Horizontalebene 1% des Tankdurchmessers nicht überschreiten.

12.6 Überwachung der Gründung und Neugründung

Das Einhalten des zulässigen größten Durchhanges $\max f$ nach Abschnitt 7.2.2 macht eine entsprechende Überwachung während des Betriebs notwendig. Eine Korrektur der Gründung und der Schiefstellung des Tanks kann erforderlich werden, wenn die in der statischen Berechnung festgelegten bzw. errechneten Werte überschritten werden:

- a) $\max \delta$ für Schiefstellung der Tankachse (siehe Abschnitt 4.1.2.1.3)
- b) zulässiger größter Durchhang des Tankbodens $\max f$ (siehe Abschnitt 7.2.2)

Eine Korrektur der Gründung kann außerdem erforderlich werden, wenn sich die Bodenecke ungleichmäßig setzt, so daß ein Schwimmdach klemmt oder der Mantel eines Festdachtanks große Beulen erhält (siehe DIN 4119 Teil 1).

¹⁸⁾ Siehe Grundbau-Taschenbuch

Schrifttum

- [1] Normen SIA: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
160 – Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten (1970),
161 – Normen für die Berechnung und die Ausführung von Stahlbauten (1956)
- [2] Ackerett: Windkanalversuch mit Druckmessungen an einem Gasbehälter, Göttinger Bericht, Teil III, Nr 18, S. 144
- [3] Milbourne: Stresses in Spiral Guided Gasholders, London 1937
- [4] Herzog, H.: Die erforderliche Größe des Sicherheitskoeffizienten, Die Bautechnik 4 (1970), S. 135/137
- [5] Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter: AD-Merkblatt BO-Berechnung von Druckbehältern, Ausgabe Januar 1969
- [6] American Petroleum Institute: API Standard 650 – Welded Steel Tanks for Oil Storage, Fourth Edition June 1970
- [7] Ebner, H.: Theoretische und experimentelle Untersuchung über das Einbeulen zylindrischer Tanks durch Unterdruck. Der Stahlbau 9 (1952), S. 153/159
- [8] Ebner, H. und Schnell, W.: Einbeulen von Kreiszylinderschalen mit abgestufter Wandstärke unter Außendruck, Z. Flugwiss. 9 (1961), H. 4/5, S. 143/150
- [9] Gerard und Becker: Buckling of Curved Plates and Shells, Handbook of Structural Stability, NACA, Washington National Advisory Committee for Aeronautics, Technical Note 3783
- [10] Herber, K.-H.: Vorschlag von Berechnungsgrundlagen für Beul- und Traglasten von Schalen. Der Stahlbau 5 (1966), S. 142/155
- [11] Eggert, H.: Ein Beitrag zum Problem der Mindeststeifigkeit bei Schalen, Der Stahlbau 12 (1965), S. 353/358
- [12] Roos, E.: Berechnung vorgebeulter Kugelschalen unter gleichmäßigem Außendruck, Der Stahlbau 2 (1971), S. 33/44
- [13] Fairlam, F.-R. und Walters, C.-J.: Versuche über die Elastizität von Tankmänteln, Erdöl und Kohle, Erdgas Petrochemie 22. Jahrgang 3 (1969), S. 143/146
- [14] American Petroleum Institute: API Standard 620 – Recommended Rules for Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks, New York 1970
- [15] Herber, K.-H.: Eckverbindungen von Tanks und Behältern, Der Stahlbau 10 (1955), S. 225/228, und 11 (1955), S. 252/257
- [16] Ebner, H.: Theorie und Versuche zur Festigkeit von Schalenrümpfen, Luftfahrtforschung, März 1937
- [17] Ebner, H. und Herber, K.-H.: Versuch mit einem Tankmodell von 7,0 m Durchmesser, Techn. Mitt. d. GWK-Verbandes, Düsseldorf, März 1952
- [18] Ebner, H. und Herber, K.-H.: Versuch mit einem Tank von 18 m Durchmesser, Mitt. d. GWK-Verbandes, Düsseldorf, März 1954
- [19] Ebner, H.: Angenäherte Bestimmung der Tragfähigkeit radial versteifter Kugelschalen unter Druckbelastung, International Union of Theor. and Appl. Mech. IUTAM. Proc. of the theory of thin elastic shells, Delf, Aug. 1959, S. 95/111, Publishing Comp. 1960
- [20] Herber, K.-H.: Bemessung von Rippenkuppeln und Rippenschalen für Tankdächer, Der Stahlbau 9 (1956), S. 216/225
- [21] Herber, K.-H.: Bemessung von Tankdächern mit Rippenrostgespärren, Der Stahlbau 9 (1958), S. 237/246 und 11 (1959), S. 315/316
- [22] Herber, K.-H.: Membranartige Flachbleche, Die Bautechnik 6 (1962), S. 197/202

Anhang A

A.1 Festigkeitskennwerte K_B von Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen für die Beulberechnung

Die Festigkeitseigenschaften von Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen sind in DIN 1745 Teil 1 festgelegt. Für die im Tankbau gebräuchlichen Aluminium-Werkstoffe sind die Kennwerte K_B in Tabelle A.1 zusammengestellt.

Tabelle A.1 Festigkeitskennwerte K_B von Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen für die Beulberechnung

Werkstoff	0,2-Grenze in N/mm ² bei 20°C 1)
AlMg2Mn 0,8 F20	120
AlMg2Mn 0,8 F21	140
AlMg2Mn 0,8 F24	190
AlMg2Mn 0,8 F27	215
AlMg 3 F20	120
AlMg 3 F21	140
AlMg 3 F24	190
AlMg 3 F27	215
AlMg4,5Mn G31	205
AlMg4,5Mn G35	270
Al 99,8 F8	50
Al 99,8 F10	80
Al 99,5 F9	60
Al 99,5 F11	90
Al 99,5 F13	110

1) Die für 20°C angegebenen Werte gelten bis zu 50°C.

A.2 Elastizitätsmodul von ferritischen und austenitischen Stählen für die Beulberechnung

Wird der Elastizitätsmodul E durch ein Polynom 2. Grades dargestellt, so ist

$$E = b_{21} + b_{22} \cdot \vartheta + b_{23} \cdot \vartheta^2$$

Die Polynomkoeffizienten sind Tabelle A.2 zu entnehmen, die Temperatur ϑ ist in Kelvin einzusetzen ($273,15\text{K} \pm 0^\circ\text{C}$).

Tabelle A.2 Polynomkoeffizient für E

Koeffizienten	Einheiten	ferritische Stähle	austenitische Stähle
b_{21}	kN/mm ²	213,29	198,62
b_{22}	kN/mm ² · K	$-0,638 \cdot 10^{-1}$	$-0,81 \cdot 10^{-1}$
b_{23}	kN/mm ² · K ²	$-0,3 \cdot 10^{-4}$	0

Der Elastizitätsmodul kann auch Bild A.2 entnommen werden.

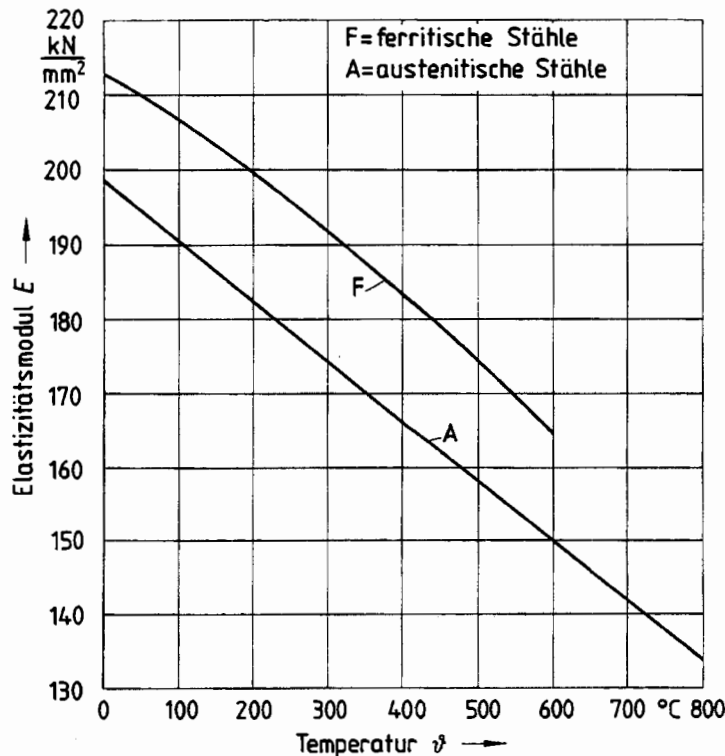


Bild A.2. Elastizitätsmodul für ferritische (F) und austenitische (A) Stähle

Weitere Normen

- DIN 1000 Stahlbauten; Ausführung
- DIN 1045 Beton- und Stahlbetonbau, Bemessung und Ausführung
- DIN 1054 Baugrund, zulässige Belastung des Baugrunds
- DIN 1543 Flußstahl, gewalzt; Stahlbleche über 4,75mm (Grobbleche), Maß- und Gewichtsabweichungen
- DIN 1605 Teil 1 Werkstoffprüfung; Mechanische Prüfung der Metalle; Allgemeines und Abnahme
- DIN 1745 Teil 1 Bleche und Bänder aus Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen mit Dicken über 0,35mm; Festigkeitseigenschaften
- DIN 6914 Sechskantschrauben mit großen Schlüsselweiten für HV-Verbindungen in Stahlkonstruktionen, M 12 bis M 27
- DIN 6918 Scheiben, vierkant, für HV-Verbindungen an U-Profilen in Stahlkonstruktionen
- DIN 8560 Prüfung von Stahlschweißern
- DIN 8561 Prüfung von NE-Metallschweißern
- DIN 17 100 Allgemeine Baustähle; Gütevorschriften
- DIN 17 155 Teil 1 Kesselbleche; Technische Lieferbedingungen
- DIN 17 440 Nichtrostende Stähle; Gütevorschriften
- DIN 18 800 Teil 1 (z. Z. noch Entwurf) Stahlbauten; Berechnung und Konstruktion
- DIN 50 049 Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen
- DIN 55 928 Teil 1 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Allgemeines
- DIN 55 928 Teil 2 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Korrosionsschutzgerechte Gestaltung
- DIN 55 928 Teil 3 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Planung der Korrosionsschutzarbeiten
- DIN 55 928 Teil 4 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Vorbereitung und Prüfung der Oberflächen
- DIN 55 928 Teil 5 (z. Z. noch Entwurf) Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Beschichtungsstoffe und Schutzsysteme
- DIN 55 928 Teil 6 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Ausführung und Überwachung der Korrosionsschutzarbeiten
- DIN 55 928 Teil 7 (z. Z. noch Entwurf) Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Technische Regeln für Kontrollflächen
- DIN 55 928 Teil 8 (z. Z. noch Entwurf) Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungen und Überzüge; Korrosionsschutz von tragenden dünnwandigen Bauteilen (Stahlleichtbau)