

DIN EN 14620-2

DIN

ICS 23.020.10

Teilweiser Ersatz für
DIN 4119-1:1979-06 und
DIN 4119-2:1980-02

**Auslegung und Herstellung standortgefertigter, stehender, zylindrischer Flachboden-Stahltanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und -165 °C –
Teil 2: Metallische Bauteile;
Deutsche Fassung EN 14620-2:2006**

Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0 °C and -165 °C –

Part 2: Metallic components;
German version EN 14620-2:2006

Conception et fabrication de réservoirs en acier à fond plat, verticaux, cylindriques, construits sur site, destinés au stockage des gaz réfrigérés, liquéfiés, dont les températures de service sont comprises entre 0 °C et -165 °C –

Partie 2: Constituants métalliques;
Version allemande EN 14620-2:2006

Gesamtumfang 58 Seiten

Normenausschuss Tankanlagen (NATank) im DIN
Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 14620-2:2006) wurde von der Arbeitsgruppe 6 „Tanks für tiefkalt verflüssigte Gase“ des CEN/TC 265 „Standortgefertigte Metalltanks zur Lagerung von Flüssigkeiten“ (Sekretariat: BSI (Vereinigtes Königreich)) erarbeitet.

Als nationales Spiegelgremium im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. war hierfür der NA 104-01-05 AA „Oberirdische Flachboden-Tankbauwerke“ des Normenausschusses Tankanlagen (NATank) an der Erstellung der Norm beteiligt.

Änderungen

Gegenüber DIN 4119-1:1979-06 und DIN 4119-2:1980-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhalt auf Festlegungen für Stahltanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen eingeschränkt.

Frühere Ausgabe

DIN 4119-1: 1961x-10, 1979-06

DIN 4119-2: 1961x-10, 1980-02

Deutsche Fassung

**Auslegung und Herstellung standortgefertigter, stehender,
zylindrischer Flachboden-Stahltanks für die Lagerung von tiefkalt
verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C
und -165 °C —
Teil 2: Metallische Bauteile**

Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical,
flat-bottomed steel tanks for the storage of refrigerated,
liquefied gases with operating temperatures between
0 °C and -165 °C —
Part 2: Metallic components

Conception et fabrication de réservoirs en acier à fond plat,
verticaux, cylindriques, construits sur site, destinés au
stockage des gaz réfrigérés, liquéfiés, dont les
températures de service sont comprises entre
0 °C et - 165 °C —
Partie 2: Constituants métalliques

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 20. Februar 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Nur zum internen Gebrauch

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	7
4 Werkstoffe	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Temperaturen	8
4.3 Primär- und Sekundärbehälter	8
4.4 Behälter zur Aufnahme des Dampfes/Außentank	12
4.5 Sonstige Bauteile	12
5 Auslegung	13
5.1 Auslegungstheorie	13
5.2 Primär- und Sekundärbehälter	16
5.3 Dampfbehälter (Außentank)	29
5.4 Abgehängtes Dach	33
5.5 Stützen	34
5.6 Primär- und Sekundärsicherheitshülle, Bodenanschlüsse	36
5.7 Verbindungen zwischen Behältern	36
5.8 Sonstige Einzelheiten	36
6 Fertigung	37
6.1 Handhabung der Materialien	37
6.2 Vorbereitung der Bleche und zulässige Maßabweichungen	38
6.3 Zulässige Maßabweichungen	39
6.4 Dach	42
6.5 Temporäre Anbauteile	42
7 Schweißverfahren	42
7.1 Allgemeines	42
7.2 Anforderungen an den Bericht über die Anerkennung der Schweißverfahren (WPAR)	42
7.3 Kerbschlagbiegeversuch	43
7.4 9%-Nickel-Stähle	43
7.5 Schweißer und Bediener von Schweißgeräten	43
7.6 Arbeitsproben	44
8 Schweißen	45
8.1 Heft- und temporäre Schweißnähte	45
8.2 Witterungsbedingungen	45
8.3 Vorwärmen	45
8.4 Wärmebehandlung nach dem Schweißen	45
9 Prüfung	47
9.1 Qualifizierung des Personals für die zerstörungsfreie Prüfung	47
9.2 Prüfverfahren	47
9.3 Art der Prüfungen	47
9.4 Sichtprüfung	50
9.5 Eindringprüfung	50
9.6 Magnetpulverprüfung	50
9.7 Unterdruckprüfung mit Saugglocke	50
9.8 Dichtheitsprüfung mit Ammoniak	51
9.9 Blasenprüfung (Nekalprüfung)	51
9.10 Durchstrahlungsprüfung	51
9.11 Ultraschallprüfung	52
9.12 Annahmekriterien	52

9.13	Unzulässige Fehler in waagerechten Schweißnähten	52
9.14	Zulässige Unterschreitung der Wanddicke nach dem Schleifen	53
Anhang A (informativ) Einwirkungen auf die Membran		54
Anhang B (informativ) Bestimmung der Last- und Ermüdungskurven für Membranen.....		55
Literaturhinweise		56

Tabellen

Tabelle 1	— Lagergut und Stahlsorte	9
Tabelle 2	— Mindestkerbschlagarbeit beim Charpy-Kerbschlagbiegeversuch.....	11
Tabelle 3	— Stahl für den Dampfbehälter/Außentank	12
Tabelle 4	— Bestimmung der maximal zulässigen Auslegungsspannung	14
Tabelle 5	— Teilsicherheitsbeiwerte für die Stahlsorten I, II, III und IV	16
Tabelle 6	— Mindestdicke des Mantelblechs.....	19
Tabelle 7	— k -Faktoren für die Wöhler-Linien (Normalverteilung vorausgesetzt).....	28
Tabelle 8	— Mindestmaß des Dacheckrings.....	33
Tabelle 9	— Grenzabweichungen des Radius.....	39
Tabelle 10	— Maximale Abweichungen zwischen dem Auslegungsprofil und dem Profil des fertigen Tanks	40
Tabelle 11	— Grenzabweichungen für örtliche Verformungen in Schweißnähten.....	40
Tabelle 12	— Kantenversatz an senkrechten Verbindungen	41
Tabelle 13	— Haltezeiten bei niedrigeren Temperaturen	46
Tabelle 14	— Schweißnahtprüfungen für Primär- und Sekundärbehälter.....	48
Tabelle 15	— Umfang der Durchstrahlungs-/Ultraschallprüfungen von Schweißnähten am Mantel des Primär- und Sekundärbehälters.....	48
Tabelle 16	— Schweißnahtprüfungen für Primär- und Sekundärbehälter.....	49
Tabelle 17	— Umfang der Durchstrahlungs-/Ultraschallprüfungen von Schweißnähten am Mantelblech von Dampfbehältern.....	50
Tabelle A.1	— Statische Einwirkungen	54
Tabelle A.2	— Einwirkungen durch Wechselbeanspruchung	54
Tabelle A.3	— Außergewöhnliche Einwirkungen	54

Bilder

Bild 1	— Typische Bodenanordnung	18
Bild 2	— Flussdiagramm für die Auslegung der Membran	23
Bild 3	— Typische druckbeanspruchte Flächen an Mantel-Dach-Verbindungen	32
Bild 4	— Typischer Dachstützen mit thermischer Isolierung	35
Bild 5	— Bildung von Vorbeultiefen nach außen und nach innen	41
Bild 6	— Lehre zum Messen der Vorbeultiefen	41
Bild B.1	— Flussdiagramm für Membranen.....	55

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14620-2:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 265 „Standortgefertigte Metalltanks zur Lagerung von Flüssigkeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2007, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2007 zurückgezogen werden.

EN 14620, *Auslegung und Herstellung standortgefertigter, stehender, zylindrischer Flachboden-Stahl tanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und -165 °C* besteht aus folgenden Teilen:

- Teil 1: *Allgemeines*
- Teil 2: *Metallische Bauteile*
- Teil 3: *Bauteile aus Beton*
- Teil 4: *Dämmung*
- Teil 5: *Prüfen, Trocknen, Inertisieren und Kaltfahren*

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt allgemeine Anforderungen an Werkstoffe, Auslegung, Bau und Einbau von metallischen Bauteilen für Tanks zur Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen fest.

Diese Europäische Norm behandelt die Auslegung und Herstellung standortgefertigter, stehender, zylindrischer Flachboden-Stahl tanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und -165 °C.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich Änderungen).

EN 287-1, *Prüfung von Schweißern — Schmelzschweißen - Teil 1: Stähle*

EN 462-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 1: Bildgüteprüfkörper (Drahtsteg) — Ermittlung der Bildgütezahl*

EN 462-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Bildgüte von Durchstrahlungsaufnahmen — Teil 2: Bildgüteprüfkörper (Stufe/Loch-Typ) — Ermittlung der Bildgütezahl*

EN 473, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal für die zerstörungsfreie Prüfung — Allgemeine Grundlagen*

EN 571-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Eindringprüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

EN 584-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Filme für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 1: Klassifizierung von Filmsystemen für die industrielle Durchstrahlungsprüfung*

EN 584-2, *Zerstörungsfreie Prüfung — Industrielle Filme für die Durchstrahlungsprüfung — Teil 2: Kontrolle der Filmverarbeitung*

EN 875, *Zerstörende Prüfungen von Schweißverbindungen an metallischen Werkstoffen — Kerbschlagbiegeversuch — Probenlage, Kerbrichtung und Beurteilung*

EN 970, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schmelzschweißnähten — Sichtprüfung*

EN 1011-2, *Schweißen — Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe — Teil 2: Lichtbogenschweißen ferritischer Stähle*

EN 1092-1:2001, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach dem PN bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche*

EN 1290, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen*

EN 1418, *Schweißpersonal — Prüfung der Bediener von Schweißeinrichtungen zum Schmelzschweißen und von Einrichtern für das Widerstandsschweißen für vollmechanisches und automatisches Schweißen von metallischen Werkstoffen*

EN 1435:1997, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schweißverbindungen*

EN 1515-1:1999, *Flansche und ihre Verbindungen — Schrauben und Muttern — Teil 1: Auswahl von Schrauben und Muttern*

EN 14620-2:2006 (D)

EN 1593, *Zerstörungsfreie Prüfung — Dichtheitsprüfung — Blasenprüfverfahren*

EN 1712:1997, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen — Zulässigkeitsgrenzen*

EN 1714:1997, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen*

EN 1759-1:2004, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach Class bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche, NPS ½ bis 24*

EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

ENV 1993-1-6, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Bemessungsregeln für Schalentragwerke*

ENV 1993-4-2:1999, *Eurocode 3: Bemessung von Stahlbauten — Teil 4-2: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen — Tankbauwerke*

EN 1994-1-1, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln — Regeln für den Hochbau*

EN 10025:2004 (alle Teile), *Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen — Technische Lieferbedingungen*

EN 10029:1991, *Warmgewalztes Stahlblech von 3 mm Dicke an — Grenzabmaße — Formtoleranzen, zulässige Gewichtsabweichungen*

EN 10045-1, *Metallische Werkstoffe — Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren*

EN 10160:1999, *Ultraschallprüfung von Flacherzeugnissen aus Stahl mit einer Dicke größer oder gleich 6 mm (Reflexionsverfahren)*

EN 10204:2004, *Metallische Erzeugnisse — Arten von Prüfbescheinigungen*

EN 10216-1, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 1: Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur*

EN 10216-2, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10216-3, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 3: Rohre aus legierten Feinkornbaustählen*

EN 10216-4, *Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 4: Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen*

EN 10217-1, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 1: Unlegierte Stähle mit festgelegten Eigenschaften bei Raumtemperatur*

EN 10217-2, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Elektrisch geschweißte Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10217-3, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 3: Rohre aus legierten Feinkornstählen*

EN 10217-4, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 4: Elektrisch geschweißte Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen*

EN 10217-5, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 5: Unterpulvergeschweißte Rohre aus unlegierten und legierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen*

EN 10217-6, *Geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 6: Unterpulvergeschweißte Rohre aus unlegierten Stählen mit festgelegten Eigenschaften bei tiefen Temperaturen*

EN 10220, *Nahtlose und geschweißte Stahlrohre — Maße und längenbezogene Masse*

EN 12062:2003, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Allgemeine Regeln für metallische Werkstoffe*

EN 14015:2004, *Anforderungen an Auslegung und Herstellung standortgefertigter, oberirdischer, stehender, zylindrischer, geschweißter Flachboden-Stahl tanks für die Lagerung von Flüssigkeiten bei Umgebungstemperatur und höheren Temperaturen*

EN 14620-1:2006, *Standortgefertigte, stehende, zylindrische Flachboden-Stahl tanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und –165 °C — Teil 1: Allgemeines*

EN ISO 5817:2003, *Schweißen — Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) — Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003)*

EN ISO 15607:2003, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Allgemeine Regeln (ISO 15607:2003)*

EN ISO 15609-1:2004, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißanweisung — Teil 1: Lichtbogenschweißen (ISO 15609-1:2004)*

EN ISO 15614-1:2004, *Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe — Schweißverfahrensprüfung — Teil 1: Lichtbogen- und Gasschweißen von Stählen und Lichtbogenschweißen von Nickel und Nickellegierungen (ISO 15614-1:2004)*

ISO 261, *ISO General purpose metric screw threads — General plan*

ISO 965-2:1998, *ISO general purpose metric screw threads — Tolerances — Part 2: Limits of sizes for general purpose external and internal screw threads — Medium quality*

API 620:2004, *Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in EN 14620-1:2005 festgelegten und die folgenden Begriffe.

3.1

Spannungsamplitude

Spannungsausschlag

die Hälfte der Differenz zwischen Ober- und Unterspannung

3.2

fortschreitende Verformung

Erscheinung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Verformungen in jedem Teil der Membran unter wechselnden Beanspruchungen progressiv ansteigen

3.3 Spannungsbereich
Schwingbreite der Spannung
Differenz zwischen größtem (Oberspannung) und kleinstem auftretenden Spannungswert (Unterspannung) im Dauerfestigkeits-Diagramm

3.4 wiederholtes Plastizieren Ratcheting
progressive Zunahme einer inelastischen Verformung oder Dehnung, die in einem Bauteil, das einer veränderlichen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist, auftreten kann

3.5 Kollaps durch Instabilität
Erscheinung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass der Verformungszustand unter statischer Beanspruchung als instabil bewertet wird

4 Werkstoffe

4.1 Allgemeines

Die Temperatur, der ein Stahl unter allen Bedingungen ausgesetzt werden darf, ist wichtig und muss ermittelt werden.

4.2 Temperaturen

4.2.1 Niedrigste Auslegungstemperatur

Die niedrigste Auslegungstemperatur muss als Werkstoffauslegungstemperatur für die Werkstoffauswahl des Primär- und des Sekundärbehälters verwendet werden.

4.2.2 Lodmat

Lodmat muss vom Besteller festgelegt werden.

4.2.3 Werkstoffauslegungstemperatur

Wenn ein Bauteil aus Stahl gegen niedrige Flüssigkeits- oder Dampftemperaturen durch eine Dämmung geschützt wird, muss die Werkstoffauslegungstemperatur auf der Grundlage der ungünstigsten Belastungsbedingungen (einschließlich störungsbedingter Einwirkungen) berechnet werden.

4.3 Primär- und Sekundärbehälter

4.3.1 Auswahl des Stahls

4.3.1.1 Allgemeines

Die in 4.3.1.2 angegebenen Anforderungen an den Werkstoff für den Primär- und den Sekundärbehälter wurden in erster Linie unter Berücksichtigung einer hohen Zähigkeit des Werkstoffs bei der Auslegungstemperatur ausgewählt. Für jedes Lagergut werden spezifische Werkstoffanforderungen festgelegt.

4.3.1.2 Werkstoffanforderungen

4.3.1.2.1 Klassifikation für Stahl

Werkstoffe für Bleche müssen folgendermaßen eingeteilt werden:

- Stahl, Sorte I: Kohlenstoff-Mangan-Stahl für niedrige Temperaturen;
- Stahl, Sorte II: Kohlenstoff-Mangan-Stahl für sehr niedrige Temperaturen;
- Stahl, Sorte III: Stahl mit niedrigem Nickelgehalt;
- Stahl, Sorte IV: Stahl mit 9 % Nickel;
- Stahl, Sorte V: austenitischer, nicht rostender Stahl.

Die Stahlsorte muss für jedes Lagergut nach Tabelle 1 ausgewählt werden.

Tabelle 1 — Lagergut und Stahlsorte

Lagergut	Tank mit einfacher Sicherheitshülle	Tank mit doppelter oder vollständiger Sicherheitshülle	Membrantank	Übliche Lagertemperatur für Flüssiggas
Butan	Sorte II	Sorte I		-10 °C
Ammoniak	Sorte II	Sorte II		-35 °C
Propan/Propylen	Sorte III	Sorte II	Sorte V	-50 °C
Ethan/Ethylen	Sorte IV	Sorte IV	Sorte V	-105 °C
LNG	Sorte IV	Sorte IV	Sorte V	-165 °C

ANMERKUNG Bei der Werkstoffauswahl sollten auch einsatzbedingte Einflüsse beachtet werden, z. B. Rissbildung durch Spannungsrisskorrosion.

4.3.1.2.2 Allgemeine Anforderungen

Es gelten folgende allgemeine Anforderungen:

a) Stahl, Sorte I:

Ein Stahl der Sorte I ist ein feinkörniger Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, der für Druck tragende Bauteile bei Temperaturen bis zu -35 °C zu verwenden ist. Der Stahl muss folgende Anforderungen erfüllen:

- 1) Der Stahl muss so festgelegt werden, dass er die Anforderungen einer anerkannten Europäischen Norm (z. B. EN 10028-3) erfüllt. Stähle mit einer Mindeststreckgrenze über 355 N/mm² dürfen nicht verwendet werden.
- 2) Der Stahl muss normal gegläht/normalisierend gewalzt oder thermomechanisch gewalzt hergestellt werden.
- 3) Der Kohlenstoffanteil muss weniger als 0,20 % betragen. Das nach der folgenden Gleichung zu errechnende Kohlenstoffäquivalent C_{eq} darf höchstens 0,43 betragen:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

b) **Stahl, Sorte II:**

Ein Stahl der Sorte II ist ein feinkörniger Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, der für Druck tragende Bauteile bei Temperaturen bis zu -50 °C zu verwenden ist. Der Stahl muss folgende Anforderungen erfüllen:

- 1) Der Stahl muss so festgelegt werden, dass er die Anforderungen einer anerkannten Europäischen Norm (z. B. EN 10028-3) erfüllt. Stähle mit einer Mindeststreckgrenze über 355 N/mm^2 dürfen nicht verwendet werden.
- 2) Der Stahl muss normal gegläht/normalisierend gewalzt oder thermomechanisch gewalzt hergestellt werden.
- 3) Der Kohlenstoffgehalt muss weniger als 0,20 % betragen. Das nach der folgenden Gleichung zu errechnende Kohlenstoffäquivalent C_{eq} darf höchstens 0,43 betragen:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

c) **Stahl, Sorte III:**

Ein Stahl der Sorte III ist ein feinkörniger, legierter Stahl mit niedrigem Nickelgehalt, der für Druck tragende Bauteile bei Temperaturen bis zu -80 °C zu verwenden ist. Der Stahl muss folgende Anforderungen erfüllen:

- 1) Der Stahl muss so festgelegt werden, dass er die Anforderungen einer anerkannten Europäischen Norm (z. B. EN 10028-4) erfüllt.
- 2) Der Stahl muss so wärmebehandelt worden sein, dass ein Gefüge mit feinen, gleichmäßigen Körnern entsteht, oder er muss thermomechanisch hergestellt werden.

d) **Stahl, Sorte IV:**

Ein Stahl der Sorte IV ist ein Stahl mit 9 % Nickel, der für Druck tragende Bauteile bei Temperaturen bis zu -196 °C zu verwenden ist. Der Stahl muss folgende Anforderungen erfüllen:

- 1) Der Stahl muss so festgelegt werden, dass er die Anforderungen einer anerkannten Europäischen Norm (z. B. EN 10028-4) erfüllt.
- 2) Der Stahl muss vergütet werden.

e) **Stahl, Sorte V:**

Ein Stahl der Sorte V ist ein austenitischer nichtrostender Stahl entsprechend einer Europäischen Norm (z. B. EN 10028-7).

4.3.1.2.3 Maximale Dicke des Mantelblechs

Die Dicke des Mantelblechs darf folgende Werte nicht überschreiten:

- Sorten I, II und III: 40 mm;
- Sorte IV: 50 mm;
- Sorte V: keine Obergrenze für die Dicke.

Wenn größere als die oben angegebenen Dicken gefordert werden, müssen weitere Werkstoffuntersuchungen und -prüfungen durchgeführt werden, um nachzuweisen, dass die gleiche Sprödbuchbeständigkeit vorhanden ist wie für die oben angegebenen maximalen Dicken und Werkstoffsorten erforderlich.

4.3.1.2.4 Grenzabmaße der Bleche

Die Grenzabmaße der Bleche müssen wie folgt sein:

- entsprechend EN 10029:1991, Klasse C, für Teile, deren Dicke durch Berechnung ermittelt wird;
- entsprechend EN 10029:1991, Klasse B, für Teile, deren Dicke auf der Basis der Mindestnenn Dicke ermittelt wird.

4.3.2 Anforderungen an den Charpy-Kerbschlagbiegeversuch

Die Werte der Charpy-Kerbschlagarbeit für das Grundmetall, die Wärmeeinflusszone (WEZ) und das Schweißgut müssen Tabelle 2 entsprechen.

Die festgelegten Werte müssen dem an drei Proben ermittelten Mindestmittelwert entsprechen, wobei nur für eine Probe der festgelegte Wert, jedoch nicht weniger als 70 % des festgelegten Wertes unterschritten werden darf.

Für Werkstoffdicken unter 11 mm muss die größte verfügbare Untermaßprobe verwendet werden. Der kleinste an einer Untermaßprobe ermittelte Wert der Charpy-Kerbschlagarbeit muss direkt proportional zu den an Normalproben ermittelten Werten sein.

Die nachteilige Beeinflussung der Kerbschlagzähigkeit durch das Schweißen muss berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Um die Anforderungen in der Wärmeeinflusszone zu erfüllen, können für bestimmte Werkstoffe höhere Charpy-Kerbschlagwerte oder niedrigere Prüftemperaturen für den Grundwerkstoff erforderlich sein.

Ein Kerbschlagbiegeversuch ist an allen von Flüssigkeit benetzten Mantelblechen und Blechen, aus denen Bodenrandbleche geschnitten werden, durchzuführen. An anderen Bauteilen muss für jede Schmelze/ Gusscharge des Werkstoffs ein Kerbschlagbiegeversuch durchgeführt werden.

Die Durchführung des Kerbschlagbiegeversuchs muss EN 10045-1 und EN 875 entsprechen.

Tabelle 2 — Mindestkerbschlagarbeit beim Charpy-Kerbschlagbiegeversuch

Klassifikation	Stahlsorte	Kerbschlagarbeit	Probenausrichtung für Bleche
Sorte I	Kohlenstoff-Mangan-Stahl für niedrige Temperatur	27 J bei –35 °C	Quer
Sorte II	Kohlenstoff-Mangan-Stahl für sehr niedrige Temperatur	27 J bei –50 °C	Quer
Sorte III	Stahl mit niedrigem Nickelgehalt	27 J bei –80 °C	Quer
Sorte IV	Vergüteter Stahl mit 9 % Nickel	80 J bei –196 °C	Quer

Falls Schweißgut auf Nickelbasis (Stahl der Sorten II, III und IV) verwendet wird, muss für das Schweißgut und die Wärmeeinflusszone ein Wert der Kerbschlagarbeit von 55 J erreicht werden.

4.3.3 Zertifizierung

Für Werkstoffe mit einer Auslegungstemperatur unter 0 °C muss ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10204:2004 gefordert werden.

4.4 Behälter zur Aufnahme des Dampfes/Außentank

4.4.1 Werkstoff für Blech und Profile

Der Stahl für den Dampfbehälter/Außentank muss nach Tabelle 3 ausgewählt werden.

ANMERKUNG Andere Stahlsorten dürfen unter der Voraussetzung angewendet werden, dass äquivalente Eigenschaften (z. B. chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften) nachgewiesen werden können.

Tabelle 3 — Stahl für den Dampfbehälter/Außentank

Auslegungstemperatur T_{DM} °C	Dicke e mm	Werkstoff nach EN 10025:2004
$T_{DM} \geq 10$	$e \leq 40$	S235JRG2 oder S275JR oder S355JR
$10 > T_{DM} \geq 0$	$e \leq 13$ $13 < e \leq 40$	S235JRG2 oder S275JR oder S355JR S235J0 oder S275J0 oder S355J0
$0 > T_{DM} \geq -10$	$e \leq 13$ $13 < e \leq 40$	S235J0 oder S275J0 oder S355J0 S235J2G3 oder S275J2G3 oder S355J2G3
$-10 > T_{DM} \geq -20$	$e \leq 13$ $13 < e \leq 40$	S235J2G3 oder S275J2G3 oder S355J2G3 S235J2G3 oder S275J2G3 oder S355J3G4

Für Auslegungstemperaturen unter -20 °C und/oder Dicken über 40 mm muss das Blech einem Kerbschlagbiegeversuch bei einer Temperatur, die die Auslegungstemperatur nicht überschreitet, unterzogen werden, wobei der Wert der Kerbschlagarbeit mindestens 27 J in Längsrichtung betragen muss.

Für Auslegungstemperaturen unter 0 °C muss der Kerbschlagbiegeversuch des Schweißgutes und in der WEZ der vertikalen Mantelverbindung einen Wert von 27 J bei der Auslegungstemperatur erreichen.

4.4.2 Zertifizierung

Für Werkstoffe mit einer Auslegungstemperatur unter 0 °C muss ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10204:2004 gefordert werden.

Für alle anderen Werkstoffe muss ein Werkszeugnis 2.2 nach EN 10204:2004 vorgelegt werden.

4.5 Sonstige Bauteile

4.5.1 Verschraubungselemente

4.5.1.1 Auswahl der Verschraubungselemente

Die Verschraubungselemente müssen EN 1515-1:1999, Tabelle 1 und Tabelle 2 entsprechen.

Bei der Werkstoffauswahl müssen Anwendung, Auslegungsdruck, Auslegungstemperatur und Einsatzbedingungen des Lagerguts berücksichtigt werden.

Das Stangenmaterial zur Herstellung der Verschraubungselemente muss bei Anwendung ferritischer und martensitischer Stähle eine Zugfestigkeit < 1 000 N/mm² und eine Dehnung A5 > 14 % haben.

Ferritische und martensitische Stähle, die zwischen -10 °C und -160 °C eingesetzt werden, müssen einem Kerbschlagbiegeversuch bei der Auslegungstemperatur unterzogen werden, bei dem sie in Längsrichtung eine mittlere Kerbschlagarbeit von 40 J erreichen müssen.

Bei Werkstoffauslegungstemperaturen unter -160 °C muss der Kerbschlagbiegeversuch bei -196 °C durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Bei Anwendung austenitischer Stähle kann bei einer Abkühlung auf Temperaturen unter Null eine Entspannung des Schraubenwerkstoffs stattfinden. Die Ursache dafür ist eine bleibende Gefügeumwandlung von Austenit in Martensit, die zu einer Verlängerung führt. Der Umfang der Umwandlung erhöht sich mit der aufgetragenen Beanspruchung.

ANMERKUNG 2 Schrauben, die nach der Abkühlung nicht mehr angezogen werden können, sollten aus Stahl mit stabilem Gefüge hergestellt werden, z. B. aus 25 Cr 20 Ni oder aus einem stickstoffhaltigen austenitischen Stahl.

4.5.1.2 Stiftschrauben

Stiftschrauben sind über ihre gesamte Länge mit Gewinde zu versehen. Die Enden der Stiftschrauben müssen angefast oder abgerundet sein. Die Höhe eines Endes darf höchstens einer einfachen Gewindesteigung entsprechen.

Die Enden müssen bei der Festlegung der Länge der Stiftschrauben mit einbezogen werden. Es erfolgt eine Stufung der Längen für einen Längenzuwachs von 5 mm im Längenbereich bis 80 mm und für einen Längenzuwachs von 10 mm im Längenbereich zwischen 80 mm und 200 mm sowie für einen Längenzuwachs von 20 mm im Längenbereich über 200 mm.

Das Gewinde muss ISO 261 entsprechen, Grenzabmaße müssen der Toleranzklasse 6 g von ISO 965-2:1998 entsprechen. Es müssen entweder ISO-M-Grobgewinde oder über M39-Feingewinde mit 4 mm Steigung angewendet werden.

4.5.1.3 Federringe

Wenn bedingt durch die Anwendung unterschiedlicher Werkstoffe unterschiedliche Wärmekontraktionen auftreten können, müssen besondere Federringe ausgewählt werden.

4.5.2 Anbauteile

Stützenhäuse, Einsetz- und Verstärkungsbleche und dauerhaft angebrachte Anbauteile müssen die gleiche Festigkeit und Kerbschlagzähigkeit haben wie die Bleche, an denen sie angebracht werden. Werkstoffe mit geringerer Festigkeit können für Stützenansätze unter der Voraussetzung angewendet werden, dass die Ansatzfläche nicht in die Flächenersatzberechnung eingezogen wird.

4.5.3 Rohrleitungsbauteile

Werkstoffe für Rohrleitungsbauteile müssen EN 1092-1:2001, EN 10216-1, EN 10216-2, EN 10216-3, EN 10216-4, EN 10217-1, EN 10217-2, EN 10217-3, EN 10217-4, EN 10217-5 und EN 10217-6 entsprechen.

5 Auslegung

5.1 Auslegungstheorie

5.1.1 Allgemeines

Bezüglich der Einwirkungen (Lasten) wird auf EN 14620-1:2006, 7.3 verwiesen.

Für die Auslegung der Stahlbauteile muss entweder auf die Theorie der zulässigen Spannungen oder auf die Grenzzustandstheorie zurückgegriffen werden.

ANMERKUNG Da zum gegenwärtigen Zeitpunkt für die Auslegung von Lagertanks aus Stahl nur begrenzte Erfahrungen mit der Anwendung der Grenzzustandstheorie vorliegen, stehen beide Theorien zur Wahl.

Für die Membran, die für ein elastisch-plastisches Verhalten ausgelegt wird, sind weder die zulässige Spannung noch der Grenzzustand ein geeignetes Kriterium, und an ihrer Stelle muss die für den festgelegten Werkstoff zutreffende Spannungs-Dehnungs-Kurve angewendet werden.

5.1.2 Zulässige Spannungen

5.1.2.1 Allgemeines

Die maximal zulässige Zugspannung in jedem Blech oder jedem Schweißgut muss Tabelle 4 entsprechen.

Tabelle 4 — Bestimmung der maximal zulässigen Auslegungsspannung

Stahlsorte	Zulässige Spannung während des Betriebs	Zulässige Spannung während der Wasserdruckprüfung
Sorten I, II, III	Der jeweils kleinere der nachfolgend angegebenen Werte: $0,43 f_u$ oder $0,67 f_y$ oder 260 N/mm^2	Der jeweils kleinere der nachfolgend angegebenen Werte: $0,60 f_u$ oder $0,85 f_y$ oder 340 N/mm^2
Sorte IV	Der jeweils kleinere der nachfolgend angegebenen Werte: $0,43 f_u$ oder $0,67 f_y$	
Sorte V	Der jeweils kleinere der nachfolgend angegebenen Werte: $0,40 f_u$ oder $0,67 f_y$	
ANMERKUNG 1 f_u ist die Mindestzugfestigkeit in N/mm^2 , und f_y ist die Mindeststreckgrenze in N/mm^2 . ANMERKUNG 2 Bei den Stahlsorten III und IV entspricht f_y der 0,2%-Dehngrenze. ANMERKUNG 3 Bei der Stahlsorte V entspricht f_y der 1%-Dehngrenze.		

Bei der Erdbebenauslegung muss die zulässige Spannung für das Auslegungserdbeben für den Betriebszustand (OBE) das 1,33fache der unter Betriebsbedingungen zulässigen Spannung betragen. Für Auslegungserdbeben für die sichere Abschaltung (SSE) muss die zulässige Spannung in Zugrichtung einen Wert von $1,00 f_y$ haben und der kritischen Knickspannung für Druck entsprechen.

5.1.2.2 Tankverankerungen

Die Tankverankerung muss dem Abheben des Tanks standhalten. Die zulässige Zugspannung in der Tankverankerung muss auf folgende Werte begrenzt werden:

- bei üblichem Betrieb: auf $0,50 f_y$;
- bei der Prüfung: auf $0,85 f_y$;
- bei Auslegungserdbeben für den Betriebszustand: auf $0,67 f_y$;
- bei Auslegungserdbeben für die sichere Abschaltung: auf $1,00 f_y$.

Am Mantel angebrachte Anbau- und Einsetzteile müssen für eine Last ausgelegt werden, die der vollen Dehnbarkeit der nicht korrodierten Ankerschrauben oder -bänder entspricht.

ANMERKUNG Dies dient dazu, ein mögliches Einreißen des Mantels zu verhindern. Für die Auslegung der Ankerschraubenaufnahmen siehe [14].

Für den Betrieb mit Ethan/Ethylen und LNG gilt für Verankerungen aus Werkstoffen der Sorten IV oder V die Streckgrenze des Verankerungswerkstoffes bei der aus Tabelle 1 ermittelten oder darunter liegenden Temperatur.

5.1.2.3 Dacheckring

Die zulässige Druckspannung S_c muss auf 120 N/mm^2 begrenzt werden.

ANMERKUNG Einzelheiten zum Dacheckring siehe 5.3.1.3.5.

5.1.2.4 Schubspannungen

5.1.2.4.1 Stumpfschweißnähte

Bei einer zur Schweißnaht rechtwinkligen Beanspruchung in der Ebene der Bleche muss die zulässige Normalspannung auf den in Tabelle 4 angegebenen Wert begrenzt werden.

Bei einer zur Schweißnaht parallelen Beanspruchung muss die zulässige Spannung auf 75 % des in Tabelle 4 angegebenen Wertes begrenzt werden.

5.1.2.4.2 Kehlnähte

Bei einer zur Schweißnaht rechtwinkligen Beanspruchung muss die zulässige Schubspannung auf 70 % des in Tabelle 4 angegebenen Wertes begrenzt werden.

Bei einer zur Schweißnaht parallelen Beanspruchung muss die zulässige Schubspannung auf 50 % des in Tabelle 4 angegebenen Wertes begrenzt werden.

5.1.3 Grenzzustandstheorie

5.1.3.1 Allgemeines

Für eine auf dem Grenzzustand basierende Berechnung müssen folgende Eurocodes angewendet werden:

EN 1993-1-1, ENV 1993-1-6, ENV 1993-4-2:1999 und EN 1994-1-1.

Folgendes muss berücksichtigt werden:

- das vereinfachte Verfahren nach ENV 1993-4-2:1999, Abschnitt 11 darf nicht angewendet werden;
- für die statische Berechnung der Dachkonstruktion muss EN 1993-1-1 oder EN 1994-1-1 angewendet werden;
- bei der Auslegung von Tankmänteln gegen äußeren Druck müssen die Anforderungen von 5.2.1.3 berücksichtigt werden. ENV 1993-1-6 gilt für diesen Fall nicht;
- die Anforderungen in 5.1.3.2 unterscheiden sich von den Anforderungen in ENV 1993-4-2, müssen jedoch eingehalten werden.

5.1.3.2 Primär- und Sekundärbehälter

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Primär- und Sekundärbehälter für einwandige Tanks, einwandige Tanks mit Auffangtasse und doppelwandige Tanks mit vollständiger Sicherheitshülle müssen nach Tabelle 5 festgelegt werden.

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Lasten und die Werkstoffbeiwerte wurden aneinander angepasst, so dass die gleiche Manteldicke wie bei Anwendung der Theorie der zulässigen Spannungen erreicht wird.

Tabelle 5 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Stahlsorten I, II, III und IV

Betriebsbedingungen			Prüfbedingungen		
γ_F	γ_M		γ_F	γ_M	
1,36	$\alpha \geq 1,57$ 1,10	$\alpha < 1,57$ $1,72/\alpha$	1,06	$\alpha \geq 1,42$ 1,11	$\alpha < 1,42$ $1,57/\alpha$

ANMERKUNG α ist das Verhältnis der Zugfestigkeit zur Streckgrenze f_u/f_y

Dabei ist

γ_F der Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen;

γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand der Werkstofffestigkeit;

f_u die Zugfestigkeit des Stahls oder Schweißgutes, je nachdem, welcher Wert der geringere ist;

f_y die Streckgrenze des Stahls oder Schweißgutes, je nachdem, welcher Wert der geringere ist.

5.2 Primär- und Sekundärbehälter

5.2.1 Einwandige Tanks, einwandige Tanks mit Auffangtasse und doppelwandige Tanks mit vollständiger Sicherheitshülle

5.2.1.1 Boden

5.2.1.1.1 Bodenrandbleche

Die Bodenrandbleche müssen folgende Mindestdicke e_a (ohne Korrosionszuschlag) haben:

$$e_a = (3,0 + e_1/3), \text{ mindestens jedoch } 8 \text{ mm.}$$

Dabei ist

e_1 die Dicke des untersten Mantelschusses, in mm.

Der Mindestabstand l_a zwischen der Kante des Bodenblechs und der Außenseite des Mantels, wie in Bild 1c) dargestellt, muss dem größeren der nachstehenden Werte entsprechen:

a) nach der folgenden Gleichung:

$$l_a > \frac{240}{\sqrt{H}} e_a$$

Dabei ist

e_a die Dicke des Bodenrandblechs, in mm;

H die maximale Auslegungsfüllhöhe des Lagerguts, in m oder

b) 500 mm.

Folgende zusätzlichen Anforderungen müssen eingehalten werden:

- die Radialverbindungen zwischen den Bodenrandblechen müssen stumpfgeschweißt werden;
- die Verbindung Mantel/Bodenrandbleche muss entweder
 - stumpfgeschweißt sein; oder
 - auf beiden Seiten mit Kehlnähten mit einer Schenkellänge von höchstens 12 mm geschweißt werden. Die Mindestschenkellänge muss der Dicke des Mantelblechs oder des Bodenrandblechs entsprechen, je nachdem, welche geringer ist; oder
 - bei Bodenrandblechen über 12 mm fugengeschweißt mit Kehlnaht werden. Die Tiefe der Fugenschweißung zuzüglich Schenkellänge der Kehlnaht muss gleich der Dicke des Bodenrandblechs sein;
- die Radialverbindungen des Bodenrandblechs müssen 300 mm von allen vertikalen Mantelverbindungen entfernt angeordnet werden;
- der Mindestabstand von der Außenseite des Mantelblechs zur Außenkante des Bodenrandblechs muss 50 mm betragen.

ANMERKUNG Die Bestimmung der Breite und Dicke des Bodenrandblechs kann auch von möglichen Erdbebeneinwirkungen abhängen.

5.2.1.1.2 Bodenbleche

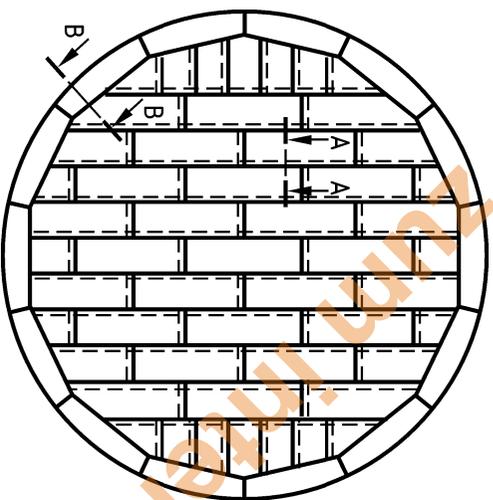
Die Mindestdicke der Bodenbleche muss ohne Korrosionszuschlag 5 mm betragen.

Folgende Anforderungen gelten:

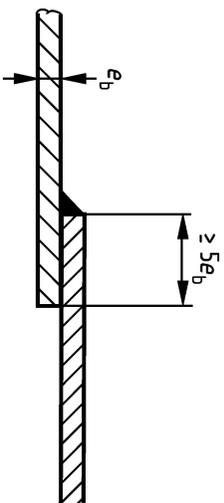
- die Mindestlänge der geraden Kante des Bodenblechs muss 500 mm betragen;
- Bodenbleche müssen durch Kehlnähte oder Stumpfnähte verbunden werden;
- Überlappverbindungen müssen eine Überlappung haben, die mindestens der fünffachen Blechdicke entspricht;
- Kehlnähte müssen aus mindestens zwei Lagen bestehen;
- die Bodenbleche müssen überlappend an der Oberseite der Bodenrandbleche angeschweißt werden. Die Überlappung muss mindestens 60 mm betragen;
- Stumpfnähte in Bodenblechen müssen von beiden Seiten geschweißt werden oder von nur einer Seite unter Verwendung eines Unterlegstreifens;
- der Mindestabstand zwischen einzelnen Dreiblechverbindungen muss 300 mm betragen.

Wenn Verstärkungsbleche am Boden angebracht werden, müssen durchgehend geschweißte Kehlnähte ausgeführt werden.

Die Anordnungen und Einzelheiten für Tankboden und Bodenrandbleche müssen Bild 1 entsprechen.

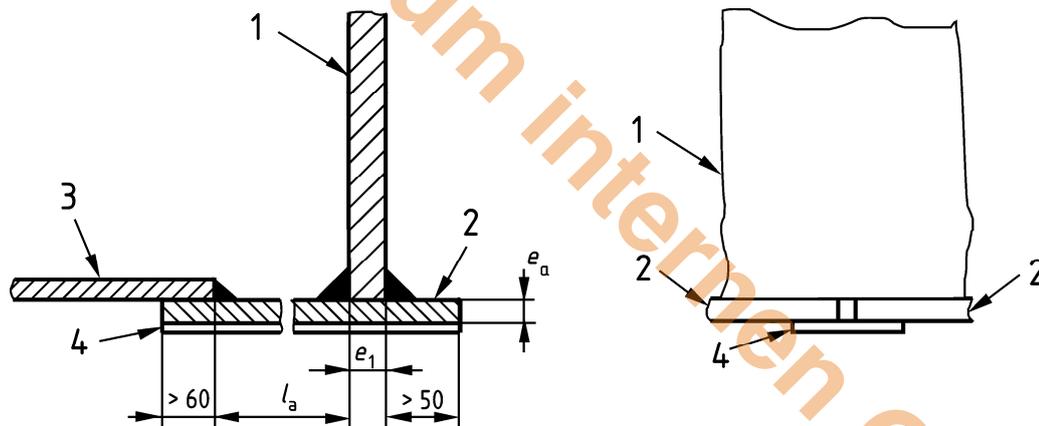


a) mit Bodenrandblechen am Umfang



b) Schnitt A-A, Überlappung der Bodenbleche

Bild 1 — Typische Bodenordnung



c) Ansicht B-B

Legende

- 1 Mantel
- 2 Bodenrandblech
- 3 Bodenblech
- 4 Unterlage

Bild 1 — Typische Bodenordnung (fortgesetzt)**5.2.1.2 Mantel****5.2.1.2.1 Mindestdicke des Mantelblechs**

Die Mindestdicke des Mantelblechs muss Tabelle 6 entsprechen.

Tabelle 6 — Mindestdicke des Mantelblechs

Durchmesser des Tanks m	Mindestdicke mm
$D \leq 10$	5
$10 < D \leq 30$	6
$30 < D \leq 60$	8
$60 < D$	10

ANMERKUNG Die Anforderungen an die Mindestdicke sind für die bauliche Ausführung erforderlich und können Korrosionszuschläge enthalten, vorausgesetzt, die Berechnung zeigt, dass der Mantel im korrodierten Zustand standsicher ist.

5.2.1.2.2 Dicke des Mantelblechs

Die Dicke des Mantelblechs muss dem größten der nachfolgend angegebenen Werte für e_t , e oder der Mindestdicke entsprechen.

a) Unter Betriebsbedingungen:

$$e = \frac{D}{20 S} [98 W (H - 0,3) + P] + c$$

Dabei ist

- c der Korrosionszuschlag, in mm;
- D der Innendurchmesser des Tanks, in mm;
- e die berechnete Blechdicke, in mm;
- H der Abstand von der Unterkante des betrachteten Schusses zur maximalen Auslegungsfüllhöhe, in m;
- P der Auslegungsdruck, in mbar; für einen offenen Innentank beträgt er null;
- S die zulässige Auslegungsspannung, in N/mm²;
- W die maximale Dichte des Lagerguts unter Lagerbedingungen, in kg/l.

b) Unter den Bedingungen der Wasserdruckprüfung:

$$e_t = \frac{D}{20 S_t} [98 W_t (H_t - 0,3) + P_t]$$

Dabei ist

- D der Innendurchmesser des Tanks, in m;
- e_t die berechnete Blechdicke, in mm;
- H_t der Abstand von der Unterkante des betrachteten Schusses bis zur Füllhöhe der Prüfflüssigkeit, in m;
- P_t der Prüfdruck, in mbar; für einen offenen Innentank beträgt er null;
- S_t die unter Prüfbedingungen zulässige Spannung, in N/mm²;
- W_t die maximale Dichte des zur Prüfung verwendeten Wassers, in kg/l

Unabhängig vom verwendeten Werkstoff darf außer in der druckbeanspruchten Fläche in keinem Fall die Dicke eines Mantelschusses die des jeweils darüber liegenden Schusses unterschreiten.

5.2.1.2.3 Weitere Anforderungen

a) Schweißnähte am Mantel

Alle senkrechten und waagerechten Schweißnähte sind stumpf-, voll durch- und vollständig verschmelzt zu schweißen.

b) Anordnung der Mantelbleche

Senkrechte Schweißnähte in benachbarten Schüssen müssen einen Mindestabstand von 300 mm haben.

c) Anbauteile

Für Anbauteile müssen Zwischenbleche verwendet werden. Sie müssen mindestens 300 mm von einer senkrechten Schweißnaht oder 150 mm von einer waagerechten Schweißnaht entfernt angeordnet werden.

Zwischenbleche und Verstärkungsbleche müssen abgerundete Ecken mit einem Radius von mindestens 50 mm haben.

d) Äußere Lasten auf den Mantel des Innentanks

Falls zutreffend, müssen folgende Lasten berücksichtigt werden:

- Druck durch die Dämmung;
- Unterdruck im Innentank;
- Druck zwischen Innen- und Außentank.

Zweiachsige Spannungskombinationen:

Bei der Auslegung des Mantels muss die Kombination von Spannung in Umfangsrichtung und Normalspannung in Längsrichtung berücksichtigt werden.

Druckspannung in Umfangsrichtung kombiniert mit Normalspannung in Längsrichtung:

Die zulässige Druckspannung in Umfangsrichtung (Widerstand) ohne Berücksichtigung der Spannung in Längsrichtung muss für alle gleichzeitig auftretenden Druckspannungen in Längsrichtung oder Zugspannungen entsprechend reduziert werden. Die zulässige Druckspannung in Längsrichtung (Widerstand) ohne Berücksichtigung der Spannung in Umfangsrichtung muss für alle gleichzeitig auftretenden Druckspannungen in Umfangsrichtung entsprechend reduziert werden.

Zugspannung in Umfangsrichtung kombiniert mit Druckspannung in Längsrichtung:

Die zulässige Druckspannung in Längsrichtung (Widerstand) ohne Berücksichtigung der Spannung in Umfangsrichtung darf erhöht werden, um der stabilisierenden Wirkung aller gleichzeitig auftretenden inneren Drücke in Radialrichtung Rechnung zu tragen.

Abstand der Zusatzversteifungsringe:

Das äquivalente Mantelverfahren darf angewendet werden, um den Abstand der Zusatzversteifungsringe bei Mänteln mit unterschiedlichen Manteldicken zu bestimmen. Die äquivalente Höhe (Abstand) zwischen den Versteifungsringen wird nach folgender Gleichung bestimmt:

$$H_e = h \sqrt{\left(\frac{e_{\min}}{e}\right)^5}$$

Dabei ist

- e die bestellte Wanddicke der einzelnen Schüsse, in mm;
- e_{\min} die bestellte Wanddicke des obersten Schusses, in mm;
- H_e die äquivalente Stabilitätshöhe eines jeden Schusses bei e_{\min} , in m;
- h die Höhe der einzelnen Schüsse, in m.

Alle horizontalen Zusatzversteifungsringe müssen für die zugehörige Plattenbelastung des Ringes ausgelegt werden. Dabei wird ein Teil des Mantels für die Steifigkeit des Ringes herangezogen.

Die Boden-Mantel-Eckverbindung und der oberste Versteifungsring eines offenen Tanks müssen die Anforderungen für Endversteifungsringe oder für Stützwände (bulkheads) erfüllen.

Der Versteifungsring muss mit dem Mantel durch eine durchgehende Kehlnaht an beiden Seiten verbunden werden. Ein Mäuseloch muss bei Stumpfnähten an Zusatzversteifungsringen und dort, wo der Versteifungsring eine senkrechte Schweißnaht kreuzt, verwendet werden.

Der Versteifungsring muss mindestens 150 mm von einer waagerechten Schweißnaht entfernt angeordnet werden.

e) Äußere Windlast/Last aus Unterdruck am Mantel des Außentanks

Der Tankmantel muss so ausgelegt werden, dass er der Kombination von Druckspannung in Umfangsrichtung und Druckspannung in Längsrichtung standhält, (siehe 5.2.1.2.3 d). Der Mantel muss einem Radialdruck, verursacht durch die Summe aus äußerem Winddruck und Unterdruck, standhalten. Bei der Berechnung des Widerstands gegen Radialdruck muss für den Auslegungswinddruck der örtliche Winddruck nach EN 1991-1-4 zugrunde gelegt werden. Der Auslegungswinddruck, der bei der Berechnung des Widerstands gegen die Spannung in Längsrichtung verursacht durch Kippen durch Wind und Windsog auf dem Dach zu verwenden ist, muss auf dem Gesamtwinddruck basieren, der mittels geeigneter Form- und Oberflächen-faktoren nach EN 1991-1-4:2004 ermittelt wird.

Für Schweißanforderungen, siehe 5.2.1.2.3 d).

5.2.2 Membrantanks

5.2.2.1 Allgemeines

Die Membran muss aus einem Metallblech mit einer Dicke von mindestens 1,2 mm bestehen. Die Membran muss eine doppelte Riffelung haben, die unter allen Belastungsbedingungen eine freie Bewegung zulässt. Die Riffelstruktur muss durch Abkanten oder Tiefziehen gebildet werden. Die Membran muss vollständig vom Dämmsystem des Tanks gestützt werden.

Die Membran muss im Dämmsystem oder im Beton-Außentank so verankert werden, dass sie während ihrer Lebensdauer eine konstante Position beibehält. An der Tankoberseite muss die Membran so befestigt werden, dass die Dampf- und Flüssigkeitsdichtheit des Behälters sichergestellt ist (Dämmdampfraum).

Alle Membran-Bauteile müssen so ausgelegt werden, dass sie allen während der Lebensdauer des Tanks möglicherweise auftretenden statischen und dynamischen Einwirkungen standhalten können.

ANMERKUNG Daten zu üblichen Einwirkungen, siehe Anhang A.

Die Membran und alle Bauteile müssen bei leichten Verformungen und Verschiebungen ihre Form beibehalten. Es muss nachgewiesen werden, dass unter Lastwechsel keine fortschreitende Verformung auftreten kann und dass an der Riffelstruktur ein Beulen/Kollaps sowie ein Ermüdungsbruch verhindert werden muss.

Die Auslegung der metallischen Membran muss entweder mittels Modellprüfungen und/oder einer numerischen Berechnung durchgeführt werden, siehe Bild 2. Unabhängig vom ausgewählten Verfahren muss die Membran so ausgelegt werden, dass ihre Zuverlässigkeit unter folgenden Betrachtungen nachgewiesen ist:

- die Stabilität der Membran muss unter den angenommenen Lasten sichergestellt sein;
- die Membran muss eine für die berücksichtigte Lastwechselzahl ausreichende Dauerfestigkeit haben.

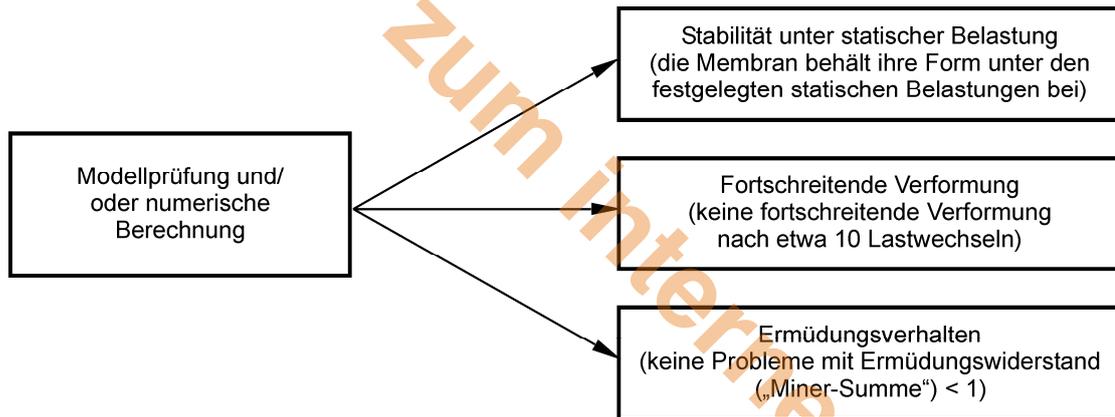


Bild 2 — Flussdiagramm für die Auslegung der Membran

Für die numerische Berechnung muss ein nicht lineares elastoplastisches Berechnungsverfahren oder ein Verfahren für große elastoplastische Verschiebungen angewendet werden. Folgendes ist dabei zu beachten:

- ein möglicherweise asymmetrisches Verhalten der Membran unter thermischen Lasten, die durch das Verankerungssystem in der Dämmung oder im Beton verursacht werden;
- die äquivalenten Spannungen müssen entweder nach der Tresca-Theorie oder nach der von-Mises-Theorie sowohl für die Auslegung unter statischer Beanspruchung als auch für die Auslegung unter Dauerbeanspruchung ausgewertet werden;
- falls zutreffend, muss die durch die thermische Last erzeugte Verformung als Grenzzustand angesehen werden;
- die Berechnung der maximalen Spannung oder Dehnung muss immer auf die Hauptachsen bezogen werden;
- die Modellierung (d. h. die Bemessung) aller Membranelemente muss beachtet werden;
- es muss nachgewiesen werden, dass eine gute Korrelation von Modell und Berechnungstheorie hinsichtlich des Verhaltens des realen Bauteils besteht.

Die Membran muss so ausgelegt werden, dass sie einer Erdbebenlast standhält. In das Finite-Elemente-Modell müssen auch die Tankkonstruktion und das Lagergut sowie die Wechselwirkung Lagergut/Konstruktion einbezogen werden.

Das Verankerungssystem der Membran in der Dämmung oder im Beton muss alle angenommenen Lasten, einschließlich Erdbebenlasten, aufnehmen können.

5.2.2.2 Numerische Berechnung

5.2.2.2.1 Spannungs-Dehnungs-Kurve

Die Spannungs-Dehnungs-Kurve muss unter Berücksichtigung folgender Punkte erstellt werden:

- die Spannungs-Dehnungs-Kurve muss für den ausgewählten Werkstoff erstellt werden;
- der durch die Verringerung des Profilquerschnitts beeinflusste Bereich der Kurve (d. h. der Einschnürungsbereich), darf nicht in die Auswertung einbezogen werden;
- im elastischen und plastischen Bereich gelten unterschiedliche Querkontraktionszahlen (η).

5.2.2.2.2 Stabilität unter statischer Belastung

Es muss nachgewiesen werden, dass die Membran bei leichten Verformungen unter den festgelegten statischen Lasten ihre Form beibehält (für den Flüssigkeitsdruck gilt ein Sicherheitsbeiwert von 1,25). Dabei muss sich bestätigen, dass die Verformung der Teile mit Riffelstruktur innerhalb der Grenzen liegt, die durch die Spannungs-Dehnungs-Kurve festgelegt werden. Grundsätzlich müssen Hauptspannungen und -dehnungen angewendet werden.

5.2.2.2.3 Kollaps/Beulen durch Stabilitätsverlust

Es muss nachgewiesen werden, dass kein Kollaps/Beulen auftreten kann.

ANMERKUNG Zur Überprüfung der Beulsicherheit kann eine Beulberechnung angewendet werden, die auf der Ermittlung des Beullastfaktors basiert. In diesem Fall können folgende Sicherheitsbeiwerte angewendet werden:
1) Modell, das auf einer Lasermessung oder einer vergleichbaren Messung beruht: SF = 2,0;
2) Modell, das auf der idealen Form beruht: SF = 4,0: Die thermische Verformung kann als stabiler Verformungszustand aufgefasst werden und der Sicherheitsbeiwert sollte nur auf die Drucklast angewendet werden.

5.2.2.2.4 Fortschreitende Verformung (Ratcheting)

Es ist nachzuweisen, dass nach zehn Lastwechseln in keinem Teil der Membran sowohl unter thermischen Lasten als auch unter den durch die Flüssigkeit bedingten Lasten eine fortschreitende Verformung auftreten kann.

5.2.2.2.5 Ermüdungsverhalten

5.2.2.2.5.1 Allgemeines

Der biaxiale Spannungszustand muss mithilfe einer äquivalenten Spannung oder Dehnung bestimmt werden, die unter Anwendung der Hauptwerte für Spannung oder Dehnung bzw. nach den Kriterien Trescas oder von Mises errechnet wird.

ANMERKUNG Das Dauerfestigkeitsdiagramm wird häufig in einem Dauerschwingversuch für eine einaxiale Beanspruchung ermittelt.

5.2.2.2.5.2 Dehnungsbereich

Der äquivalente Bereich der Dehnungen muss für alle Lastwechsel, einschließlich der Kombination aller Lasten, bewertet werden.

Der äquivalente Dehnungsbereich ($\Delta \varepsilon_e$) für die festgelegten Lastwechsel muss unter Voraussetzung eines ebenen Spannungszustands errechnet werden, da die Membran als ein dünnes Blech zu betrachten ist.

Die tatsächlichen Spannungen und Dehnungen müssen auf die Hauptspannungen $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ bzw. auf die Hauptdehnungen $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ bezogen werden, wobei davon ausgegangen wird, dass folgende Größenordnungen vorliegen: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ bzw. $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$. Daher müssen innerhalb eines Lastwechsels, der verschiedene Lasten umfasst, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ und $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ entsprechend austauschbar sein. Da die Membran ein dünnes Blech ist, muss außerdem von ebenen Spannungszuständen ausgegangen werden ($\exists i \in \{1;2;3\}, \sigma_i = 0$). Das muss beachtet werden, selbst wenn $\sigma_1 = 0, \varepsilon_1 \neq 0$ ($i \in \{1;2;3\}$) gilt.

Daher muss die äquivalente Dehnungsamplitude nach der Theorie von Tresca nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \text{MAX} \left\{ \left| \frac{\varepsilon_1}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_2}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_3}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2} \right| \right\}$$

Nach der von-Mises-Theorie muss die äquivalente Dehnungsamplitude nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = C \sqrt{\frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}{2}}$$

Der Koeffizient C muss folgendermaßen bestimmt werden:

- für den plastischen Bereich, $\eta = 0,5$: $C = \frac{\sqrt{2}}{3}$;
- für den elastischen Bereich, $\eta = 0,3$: $C = 0,544$.

5.2.2.2.5.3 Dauerfestigkeitsdiagramm (Wöhler-Linie)

Bei Auswahl der zulässigen Dauerfestigkeitskurve für die Auslegung muss die Tatsache berücksichtigt werden, dass die Membran einer geringen Dauerbeanspruchung bei niedriger Temperatur ausgesetzt ist und örtlich plastische Verformungen erfährt.

Falls an den Membranelementen selbst keine Dauerschwingversuche zur Ermittlung der Dauerfestigkeitskurve durchgeführt wurden, muss zur Beurteilung des Ermüdungsverhaltens die Dauerfestigkeitskurve für den ausgewählten Werkstoff herangezogen werden und dem Besteller zur Genehmigung vorgelegt werden.

Die Miner-Regel muss zur Summierung der Schäden verwendet werden, um den Ermüdungswiderstand zu bestimmen.

ANMERKUNG 1 Beispiele für Dauerfestigkeitskurven sind in „Recommended practice for LNG in ground storage, 7.3 [16] angegeben.

ANMERKUNG 2 Dauerfestigkeitskurven basieren häufig auf

- der „am besten passenden Kurve“. Diese geht auf die statistische Auswertung von Dauerschwingversuchen zurück. Diese Bewertung ergibt die Mittelwerte der Versuchskurven;
- der „Auslegungskurve“. Diese beruht auf der am besten passenden Kurve unter Einbeziehung eines Korrekturfaktors, der definiert wird, indem der ungünstigste Spannungswert durch 2 oder die Lastwechselzahl durch 20 dividiert wird.

Diese Koeffizienten können nicht als Sicherheitskoeffizienten angesehen werden, sondern sie müssen als Unsicherheitsfaktoren angesehen werden, weil sie sowohl Streuwerte als auch vernachlässigte Effekte (d. h. Rauheit, Ausführung der Schnittflächen usw.) erfassen. Diese Koeffizienten berücksichtigen jedoch keine örtlichen Diskontinuitäten (d. h. den Spannungskonzentrationsfaktor), und daher ist es wichtig, dass die Wirkung von Spannungskonzentrationen bei der Berechnung der Spannungsintensität beachtet werden muss.

ANMERKUNG 3 In der Praxis tritt Ermüdungsversagen im Allgemeinen bei Spannungskonzentrationen auf. Die Wirkung dieser Spannungskonzentrationen sollte daher für alle Bedingungen mittels geeigneter Spannungskonzentrationsfaktoren bewertet werden, die in theoretischen Untersuchungen nach der Finite-Elemente-Spannungsberechnung ermittelt wurden.

5.2.2.2.6 Stabilität unter Erdbebenlasten

Der Beton-Außentank muss in der Lage sein, unter Betriebsbedingungen Erdbebenlasten standzuhalten, die sowohl durch OBE als auch durch SSE erzeugt werden.

Für ein OBE muss nachgewiesen werden, dass

- sowohl die Membran als auch die Verankerungen die Erdbebenlast aufnehmen können,
- auf die Membran ein zulässiger Druck ausgeübt wird,
- auf die Dämmung ein zulässiger Druck ausgeübt wird.

Bei einem SSE muss der Außentank mit einem Boden-Ecken-Schutzsystem in der Lage sein, die Flüssigkeit aufzunehmen.

ANMERKUNG Die Membran kann versagen.

5.2.2.3 Modellprüfung

5.2.2.3.1 Allgemeines

Bei Anwendung einer Modellprüfung müssen die Prüfungen an allen Bauteilen des Systems durchgeführt werden. Alle Bauteile müssen in Originalgröße geprüft werden.

ANMERKUNG Die Prüfung kann bei Umgebungstemperatur durchgeführt werden.

Die Anzahl der Probekörper muss so festgelegt werden, dass zuverlässige Ergebnisse zu ermitteln sind.

Die Lage der Messeinrichtungen muss mittels Berechnung, „spannungsoptischen Reflexionsverfahren“ usw. bestimmt werden.

Für die verwendeten Dehnungsmessgeräte und Zemente muss nachgewiesen sein, dass sie bei einer Anwendung für die betrachteten Werkstoffoberflächen und Anordnungen zuverlässig sind. Außerdem müssen sie die Spannungs-/Dehnungs-Berechnung entlang der Hauptrichtungen¹⁾ zulassen.

Die äquivalente Spannung oder Dehnung muss immer für die Hauptachsen berechnet werden. Daher muss die äquivalente Dehnungsamplitude nach der Theorie von Tresca nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = \text{MAX} \left\{ \left| \frac{\varepsilon_1}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_2}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_3}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{2} \right|, \left| \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2} \right| \right\}$$

Nach der von-Mises-Theorie muss die äquivalente Amplitude nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{2} = C \frac{\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}}{2}$$

Der Koeffizient C muss folgendermaßen bestimmt werden:

- für den plastischen Bereich, $\eta = 0,5$: $C = \frac{\sqrt{2}}{3}$;
- für den elastischen Bereich, $\eta = 0,3$: $C = 0,544$.

1) Die Hauptrichtungen entsprechen der Richtung, in der die Schubspannung null beträgt.

5.2.2.3.2 Stabilität unter statischer Belastung

Es muss nachgewiesen werden, dass in der Membran kein Kollaps durch Stabilitätsverlust auftritt. Ein Sicherheitsbeiwert von 1,25 muss berücksichtigt werden, wenn die Membran für die festgelegten Lasten ausgelegt wird.

5.2.2.3.3 Fortschreitende Verformung (Ratcheting)

Wenn ein Lastwechsel angewendet wird, der die Betriebsbedingungen simuliert, muss nachgewiesen werden, dass die Stabilität aller Teile der Membran auch nach zehn Lastwechseln ohne fortschreitende Verformung erhalten bleibt.

5.2.2.3.4 Ermüdungsverhalten

Für alle Teile der Membran des Lagertanks muss beim Dauerschwingversuch Folgendes untersucht werden:

- zyklische Dehnung aufgrund von thermischer Belastung;
- Druckwechselbeanspruchung aufgrund von hydrostatischer Last (um die Betriebsbedingungen für die Membran vollständig zu simulieren, muss jedes unter einer Druckwechselbeanspruchung geprüfte Bauteil vor dem Versuch auf einen Wert gedehnt werden, der mindestens der maximalen Dehnung (Bruchdehnung) entspricht).

Die „am besten passende Kurve“ muss auf der statistischen Auswertung der Ergebnisse des Dauerschwingversuchs beruhen, die in der vorgeschlagenen ISO-Norm „Empfehlungen für die Auslegung von dauerbeanspruchten Schweißverbindungen und Bauteilen“ vom Mai 1996 beschrieben wird. Diese Bewertung ergibt die Mittelwerte der Versuchskurven.

Die Versuchsergebnisse der Dauerschwingversuche müssen auf den Hauptwerten für Spannung oder Dehnung basieren.

Die „Auslegungskurve“ muss aus der „am besten passenden Kurve“ für ein Vertrauensniveau von $\gamma = 75 \%$ und eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $p = 95 \%$ bestimmt werden.

Die Auslegungspunkte müssen auf folgender Berechnung basieren:

$$\text{Auslegungspunkt} = m - k \sigma$$

Dabei ist

- m der Mittelwert einer untersuchten Gesamtzahl;
- σ die Standardabweichung der Gesamtzahl;
- k der nach Tabelle 7 bestimmte Faktor.

ANMERKUNG Dieser Ansatz wird im Anhang B erläutert.

Die Miner-Regel muss zur Summierung der Schäden verwendet werden, um den Ermüdungswiderstand zu bestimmen.

Tabelle 7 — k -Faktoren für die Wöhler-Linien
(Normalverteilung vorausgesetzt)

Anzahl der Proben	k
3	3,152
4	2,680
5	2,463
6	2,336
7	2,250
8	2,190
9	2,141
10	2,103
11	2,073
12	2,048
13	2,026
14	2,007
15	1,991
16	1,977
17	1,964
18	1,951
19	1,942
20	1,933
21	1,923
22	1,916
23	1,907
24	1,901
25	1,895

Vertrauensniveau 0,75.
Überlebenswahrscheinlichkeit 95 %.

5.3 Dampfbehälter (Außentank)

5.3.1 Einwandige Tanks, einwandige Tanks mit Auffangtasse und doppelwandige Tanks mit vollständiger Sicherheitshülle

5.3.1.1 Boden

5.3.1.1.1 Bodenrandbleche

Die Bodenrandbleche müssen 5.2.1.1.1 entsprechen.

5.3.1.1.2 Bodenbleche

Die Bodenbleche müssen 5.2.1.1.2 entsprechen.

5.3.1.2 Mantel

Die Mindestdicke des Mantelblechs muss Tabelle 6 entsprechen.

Bei Innendruck muss folgende Gleichung zur Berechnung der Mantelblechdicke angewendet werden:

$$e = \frac{PD}{20 S} + c$$

Dabei ist

- c der Korrosionszuschlag, in mm;
- D der Durchmesser des Behälters, in m;
- e die berechnete Mantelblechdicke, in mm;
- P der Innenüberdruck als Kombination des Gasinnendrucks und des von der Dämmung ausgeübten Drucks, in mbar;
- S die zulässige Auslegungsspannung, in N/mm².

Bei der Auslegung des äußeren Mantels mit Zusatzversteifungsringen muss der Druck in Längsrichtung in Kombination mit dem Druck in Umfangsrichtung berücksichtigt werden, siehe 5.2.1.2.3 d).

Der Mantel mit allen Versteifungen muss allen anwendbaren Lasten, mindestens jedoch den Folgenden, standhalten:

— senkrechte Druckkräfte einschließlich:

- 1) Eigenlasten;
- 2) Nutzlasten (Dachnutzlasten, Schneelasten);
- 3) Lasten durch Rohrleitungen;
- 4) innerer Unterdruck;
- 5) Kippen durch Wind (siehe 5.2.1.2.3 e));
- 6) Kippen durch Erdbeben;

— Umfangsdruckkräfte einschließlich:

- 1) Einwirkungen durch örtlichen Winddruck (siehe 5.2.1.2.3 e));
- 2) Unterdruck.

Der Wert der bei der Berechnung der zulässigen zweiachsigen Spannung zu berücksichtigenden Auslegungslast (Einwirkung) durch Windsog auf dem Dach und Kippen durch Wind muss davon abhängig gemacht werden, ob die Lasten günstig oder ungünstig wirken.

Die Verbindungen der Versteifungen untereinander müssen mit Stumpfnähten voll durchgeschweißt werden. Ein Mäuseloch muss an Stumpfnähten der Versteifungen und dort, wo die Versteifung eine senkrechte Schweißnaht kreuzt, vorgesehen werden. Versteifungen müssen mit einer durchlaufenden Kehlnaht an beiden Seiten mit dem Mantel verschweißt werden; wenn der äußere Mantel nicht für tiefkalte Flüssigkeiten ausgelegt ist, darf die Überkopfschweißnaht unterbrochen sein.

Der Versteifungsring muss mindestens 150 mm von einer waagerechten Schweißnaht entfernt sein.

5.3.1.3 Dach

5.3.1.3.1 Mindestblechdicke

Die Mindestdicke der Dachbleche muss 5 mm betragen (ohne Korrosionszuschlag).

5.3.1.3.2 Dach mit Tragkonstruktion

Für die Dachbleche müssen eine oder mehrere der folgenden Schweißnähte verwendet werden:

- einseitig geschweißte Überlappnaht;
- doppelseitig geschweißte Überlappnaht;
- Stumpfnähte mit oder ohne Unterlage.

Die Tragkonstruktion des Dachs muss in Übereinstimmung mit EN 1993-1-1 ausgelegt werden. Alternativ dazu darf sie nach der Theorie der zulässigen Spannungen mit den folgenden Schweißnahtfaktoren für die Schweißnähte der Dachbleche ausgelegt werden:

- für einseitig geschweißte Überlappnähte: 0,35;
- doppelseitig geschweißte Überlappnähte: 0,65;
- Stumpfnähte mit oder ohne Unterlage: 0,70.

Überlappend geschweißte Dachbleche müssen eine Mindestüberlappung von 25 mm haben.

Wenn die Dachbleche nicht mit den tragenden Elementen des Dachs verschweißt sind, müssen die Dachsparren mit einem Querverband in der Ebene der Dachoberfläche gestützt werden.

5.3.1.3.3 Dach ohne Tragkonstruktion

Die Dicke des Dachblechs muss so ausgelegt werden, dass der Innendruck aufgenommen wird und kein Beulen durch äußere Lasten auftritt. Die folgenden Gleichungen müssen angewendet werden:

- um den Innenüberdruck aufzunehmen: $e_r = P R_1 / 20 S \eta$ (für kugelförmige Dächer)

$$e_r = P R_1 / 10 S \eta \text{ (für kegelförmige Dächer)}$$

- gegen Beulen: $e_r = 40 R_1 \sqrt{\frac{10 P_e}{E}}$

Dabei ist

- E der Elastizitätsmodul, in N/mm²;
- e_r die Dicke des Dachblechs (ohne Korrosionszuschlag), in mm;
- P der Innendruck abzüglich des Gewichts der korrodierten Dachbleche, in mbar;
- P_e die äußere Belastung, in kN/m²;
- R_1 der Krümmungsradius des Dachs, in m;
- S die zulässige Auslegungsspannung, in N/mm²;
- η der Schweißnahtfaktor.

Dachbleche ohne Tragkonstruktion müssen stumpfgeschweißt oder doppelt überlappend geschweißt werden.

5.3.1.3.4 Verstärkte Kuppel

Für ein verstärktes Kuppeldach muss die Konstruktion nach EN 1993-1-1 ausgelegt werden.

5.3.1.3.5 Druckbeanspruchte Fläche (Dacheckring)

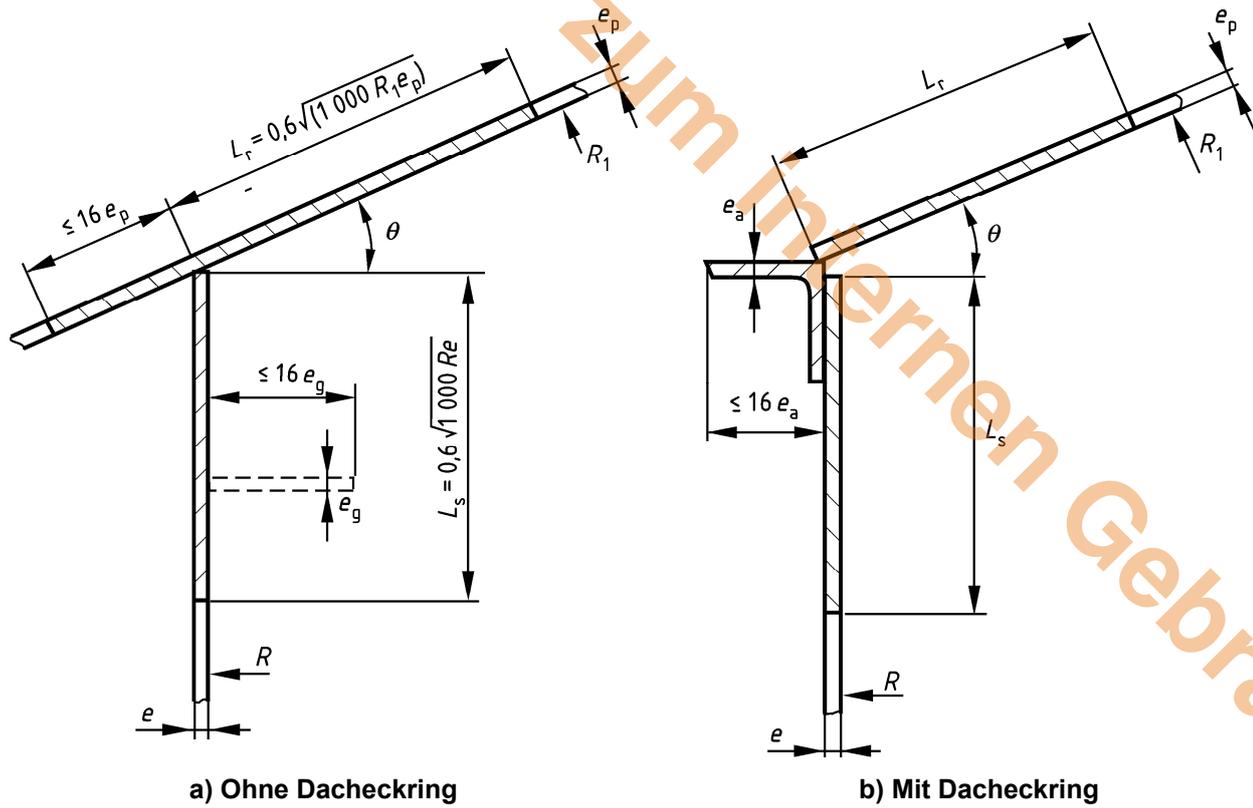
Die druckbeanspruchte Mindestfläche, ohne Korrosionszuschlag, muss nach folgender Gleichung bestimmt werden:

$$A = \frac{50 PR^2}{S_a \tan \theta}$$

Dabei ist

- A die erforderliche druckbeanspruchte Fläche, in mm²;
- P der Innendruck, abzüglich Druck durch das Gewicht der Dachbleche, in mbar;
- R der Radius des Mantels, in m;
- S_c die zulässige Druckspannung, in N/mm² (siehe 5.1.2.3);
- θ die Neigung des Dachmeridians an der Mantel-Dach-Verbindung, in Grad.

Die wirksame druckbeanspruchte Fläche muss von den Blechen und/oder Profilen gebildet werden, deren maximale Breite Bild 3 entspricht.



a) Ohne Dacheckring

b) Mit Dacheckring

Legende

- e Manteldicke, in mm
- e_a Dicke des Dacheckrings, in mm
- e_g Dicke des waagerechten Ringträgers, in mm
- e_p Dicke des Dachblechs am Druckring, in mm
- L_r wirksame Dachlänge, in mm
- L_s wirksame Mantellänge, in mm
- R Radius des Tankmantels, in m
- R_1 Krümmungsradius des Dachs, in m (für Kegeldächer = $R/\sin \theta$)

Bild 3 — Typische druckbeanspruchte Flächen an Mantel-Dach-Verbindungen

Wenn ein Dacheckring verwendet wird, müssen seine Mindestmaße Tabelle 8 entsprechen.

Tabelle 8 — Mindestmaß des Dacheckrings

Manteldurchmesser	Maße des Dacheckrings
D m	mm × mm × mm
$D \leq 10$	60 × 60 × 6
$10 < D \leq 20$	60 × 60 × 8
$20 < D \leq 36$	80 × 80 × 10
$36 < D \leq 48$	100 × 100 × 12
$48 < D$	150 × 150 × 10

Einseitig überlappend geschweißte Dachbleche dürfen bei der druckbeanspruchten Fläche nicht berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Doppelt überlappend geschweißte Dachbleche dürfen bei der druckbeanspruchten Fläche berücksichtigt werden.

Die druckbeanspruchte Fläche muss so ausgelegt werden, dass die horizontale Projektion der wirksamen druckbeanspruchten Fläche eine radiale Breite hat, die mindestens 1,5 % des Tankradius beträgt.

Die druckbeanspruchte Fläche muss so angeordnet werden, dass ihr Schwerpunkt innerhalb eines vertikalen Abstands über oder unter der waagerechten Ebene durch den Schnittpunkt liegt, der dem 1,5fachen der mittleren Dicke der beiden verbundenen Teile im Schnittpunkt entspricht.

Die druckbeanspruchte Fläche muss auf eine Zugbeanspruchung durch äußere Lasten (einschließlich innerer Unterdruck) überprüft werden.

ANMERKUNG 2 Es sollte darauf geachtet werden, dass übermäßige Biegebeanspruchungen in der druckbeanspruchten Fläche an der Verbindung zwischen den tragenden Elementen des Dachs und der druckbeanspruchten Fläche vermieden werden.

ANMERKUNG 3 Für die Auslegung der druckbeanspruchten Fläche unter Anwendung einer Krempe, siehe [16].

5.3.2 Membrantank

Die Stahlteile für das Dach von Membrantanks müssen 5.3.1.3 entsprechen.

5.4 Abgehängtes Dach

Das abgehängte Dach und seine Tragkonstruktion müssen für die niedrigste Auslegungstemperatur ausgelegt werden.

Die Konstruktion muss so ausgelegt werden, dass jede einzelne Aufhängung unwirksam werden kann.

Die Ent-/Belüftungsöffnungen des abgehängten Dachs müssen so beschaffen sein, dass die Druckdifferenz zwischen dem Raum unter und über dem abgehängten Dach nicht mehr beträgt als das Gewicht des abgehängten Dachs, so dass ein Abheben vermieden wird.

5.5 Stutzen

5.5.1 Allgemeines

Rohrverbindungen am Primär- oder Sekundärbehälter müssen EN 14620-1:2006, 7.1.6 entsprechen.

5.5.2 Stutzenlasten

Die Stutzen müssen so ausgelegt werden, dass sie den Lasten durch angeschlossene Rohrleitungen und Anbauteile standhalten.

5.5.3 Mantelstutzen

5.5.3.1 Mantelstutzen mit Außendurchmessern von 80 mm und darüber

Die Einzelheiten für diese Stutzen müssen EN 14015:2004, 13.1 entsprechen.

5.5.3.2 Mantelstutzen mit Außendurchmessern unter 80 mm

Die Einzelheiten für diese Stutzen müssen EN 14015:2004, 13.2 entsprechen.

5.5.3.3 Mannlöcher

Wenn Stutzen als Mannlöcher verwendet werden, muss ihr Innendurchmesser mindestens 600 mm betragen.

5.5.4 Einzelheiten zum Schweißen von Mantelstutzen

Die Einzelheiten zum Schweißen von Mantelstutzen müssen EN 14015:2004, 13.7 entsprechen.

5.5.5 Dachstutzen

Für Auslegungsdrücke gleich oder kleiner als 60 mbar müssen Ausschnitte im Dach verstärkt und nach EN 14015:2004, 13.3 verschweißt werden.

Für Auslegungsdrücke größer als 60 mbar müssen Ausschnitte im Dach verstärkt und nach den Festlegungen für Mantelstutzen, siehe 5.5.3, verschweißt werden.

Wenn die Öffnung im Dach wegen der Neigung oder Krümmung des Dachs elliptisch ist, muss die geforderte Verstärkung auf das längere Maß der elliptischen Öffnung bezogen werden.

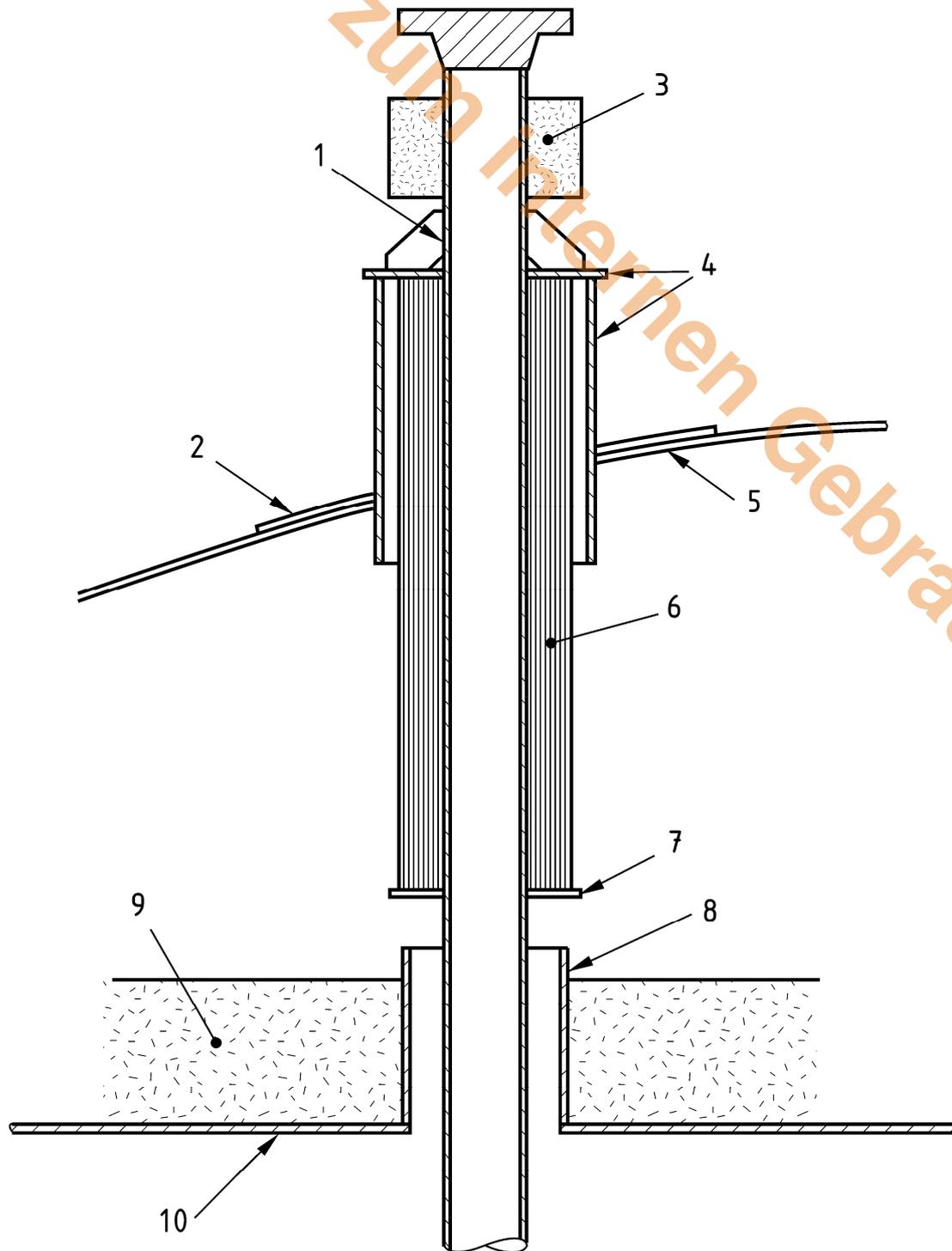
Die Mindestwanddicke der Stutzen muss für die zutreffenden Lasten, einschließlich der Rohrlasten, berechnet werden. Die Dicke darf in keinem Fall kleiner sein als die Dicke eines Rohres mit Normmasse nach EN 10220.

Dachstutzenflansche und Flansche für Mannlöcher im Dach müssen Class 150 von EN 1759-1:2004 oder PN25 von EN 1092-1:2001 entsprechen, sofern vom Besteller keine höhere Druckstufe festgelegt wurde.

ANMERKUNG 1 Alternativ dürfen Mannlochflansche und -deckel aus Blech hergestellt und für einen Mindestdruck von 3,5 bar (g) ausgelegt werden.

ANMERKUNG 2 Es sollte beachtet werden, dass Dachstutzen für kalte Flüssigkeiten oder für kalten Dampf möglicherweise mit thermischer Isolierung ausgestattet werden müssen. Im Bild 4 wird für einen Tank mit abgehängtem Deck ein Beispiel für einen Flüssiggas-Einlassstutzen mit thermischer Isolierung gezeigt.

Mannlöcher im Dach müssen einen Nenndurchmesser von mindestens 600 mm haben.



Legende

- | | | | |
|---|--|----|---|
| 1 | Stützenrohr (niedrige Temperatur) | 6 | Innendämmung des Rohres |
| 2 | Stützenverstärkungsblech (Umgebungstemperatur) | 7 | Stützring für die Dämmung |
| 3 | Außendämmung des Rohres | 8 | Verbindungsuffe für das abgehängte Dach |
| 4 | thermische Isolierung (kalt) | 9 | Dämmung für das abgehängte Dach |
| 5 | Kuppeldach (Umgebungstemperatur) | 10 | abgehängtes Dach |

Bild 4 — Typischer Dachstützen mit thermischer Isolierung

5.5.6 Flanschbohrungen

Die Flansche aller Anbauteile mit Ausnahme von Mannlöchern im Mantel und im Dach müssen mindestens nach Klasse 150 von EN 1759-1:2004 hergestellt und gebohrt werden. Es muss überprüft werden, ob die Gegenflansche kompatibel ausgerichtet sind.

5.5.7 Wärmebehandlung von Stutzen nach dem Schweißen

Die Stutzen müssen nach 8.4 einer Wärmebehandlung nach dem Schweißen unterzogen werden.

5.6 Primär- und Sekundärsicherheitshülle, Bodenanschlüsse

Falls Bodenanschlüsse an die Primär- und Sekundärsicherheitshülle verwendet werden, muss Folgendes berücksichtigt werden:

- ungleichmäßige Setzung des Tanks;
- ungleichmäßiges Schrumpfen des Innentanks in Bezug zum Außentank;
- die Stutzenöffnung muss verstärkt werden (ein doppeltes Blech, ein dickeres Bodenrand- oder Bodenblech);
- der nicht abgestützte Bereich um den Stutzen muss so klein wie möglich sein;
- der den Stutzen und das Rohr umgebende Bereich muss mit einem geeigneten Dämmstoff gefüllt werden, und es muss eine ausreichende örtliche Heizung verwendet werden.

5.7 Verbindungen zwischen Behältern

Folgendes ist zu beachten:

- thermische und hydrostatische Kräfte, die durch die Relativbewegung zwischen Innen- und Außentank verursacht werden;
- für die Verbindungen zwischen Innen- und Außentank ist eine Temperatursperre einzubeziehen;

ANMERKUNG Dehbare Verbindungen, z. B. Rohrkrümmer, können erforderlich sein, um sicherzustellen, dass die Relativbewegung keine unzulässigen örtlichen Spannungen im Innen- und/oder Außentank hervorruft.

- Flanschverbindungen dürfen nicht innerhalb unzugänglicher Ringräume zwischen Innen- und Außenmantel angeordnet werden;
- Verbindungen zwischen den Öffnungen in den Dächern von Innen- und Außentank müssen so ausgelegt werden, dass sie die ungleichmäßige Bewegung zwischen den Dächern aufnehmen.

Verbindungen durch das abgehängte Dach müssen frei beweglich sein, so dass zusätzliche Lasten auf das Außendach oder auf das abgehängte Dach vermieden werden.

5.8 Sonstige Einzelheiten

5.8.1 Tankverankerung

Bei der Auslegung der Verankerung muss Folgendes berücksichtigt werden:

- sowohl Innen- als auch Außentank müssen unabhängig voneinander für alle Kombinationen von Einwirkungen so ausgelegt werden, dass die ungünstigsten Abhebebedingungen erfasst werden;
- besonders zu beachten ist die Auslegung der Innentankverankerung bei der Durchführung im Außentankboden, um die Flüssigkeitsdichtheit und die Flexibilität sicherzustellen, damit bei allen Auslegungsbedingungen ungleichmäßige Temperaturbewegungen aufgenommen werden;

- die Verankerungen müssen im gleichen Abstand und höchstens 3 m voneinander entfernt am Umfang des Tanks verteilt sein;
- auf die Verankerung darf keine Vorspannung aufgebracht werden. Sie muss nur dann wirksam werden, wenn sich im Mantel des Tankbehälters Hebekräfte entwickeln. Es muss sichergestellt werden, dass sich während der erwarteten Lebensdauer des Tanks die Ankerschrauben nicht lösen oder unwirksam werden können;
- die Befestigungen der Verankerung an Mantel und Gründung müssen unter Berücksichtigung der gesamten Dehnbarkeit der Ankerschrauben oder -bänder ausgelegt werden;
- die Verankerung muss so ausgelegt werden, dass eine aufgrund von Setzung vor der Inbetriebnahme notwendige Einstellung möglich ist;
- die Verankerung muss so ausgelegt werden, dass thermische Bewegung berücksichtigt wird;
- die Verankerung darf nicht direkt an den Mänteln angebracht werden, sondern an Unterlagen oder Halterungen. Alle Ankerschienen, -schrauben oder -bänder müssen eine Querschnittsfläche von mindestens 500 mm² haben;
- für direkt der Atmosphäre ausgesetzte Verankerungen muss für alle Oberflächen von Ankerschienen, -schrauben oder -bändern ein Korrosionszuschlag von mindestens 1 mm vorgesehen werden;
- die Notwendigkeit von Temperatursperren. Die Wärmeübertragung auf die kälteren Teile der Tankkonstruktion/-gründung muss begrenzt werden, so dass dadurch kein Versagen der Verankerung oder des Tanks durch Eisbildung auftritt.

5.8.2 Tankschild

An jedem Tank muss ein Tankschild angebracht werden, das mindestens die folgenden Angaben enthält:

- Name des Auftragnehmers;
- Herstellungsnummer;
- Herstellungsjahr;
- Auslegungsrichtlinie/-norm;
- Kennnummer des Tanks/der Anlage;
- Auslegungsdichte und Auslegungstemperatur des Lagerguts;
- höchster Auslegungsdruck;
- höchster Auslegungsfüllstand;
- Fassungsvermögen.

6 Fertigung

6.1 Handhabung der Materialien

Alle für Primär- und Sekundärbehälter verwendeten Bleche müssen so gehandhabt und getrennt gelagert werden, dass keine Verwechslung möglich ist. Ein geeigneter Wetterschutz muss vorgesehen werden. Das Material muss vorschriftsmäßig als für den Einsatz bei Tieftemperaturen vorgesehen gekennzeichnet sein.

Nichtrostender Stahl muss so gelagert und mit geeigneter Ausrüstung so gehandhabt werden, dass Verunreinigungen der Stahloberfläche vermieden werden. Jeglicher Kontakt mit Zink, verzinkten Werkzeugen usw. muss verhindert werden.

Stahl mit einem Nickelgehalt von 9 % darf nicht magnetisiert werden. Der Restmagnetismus darf bei der Anlieferung am Standort des Tanks 50 Gauss nicht überschreiten.

Schweißzusätze müssen nach den in den entsprechenden Normen festgelegten Bedingungen und/oder den Empfehlungen des Lieferanten geschützt und gelagert werden.

Kennzeichnungen für Werkstoffe, für die bei der Bestellung ein Abnahmeprüfzeugnis 3.1 oder höher nach EN 10204:2004 gefordert wird, müssen nach Aufstellung des Tanks sichtbar bleiben. Für den Fall, dass die Kennzeichnung während der Fertigung unleserlich wird, muss mindestens eine Kennzeichnung an einer Stelle angebracht werden, die auch nach der Fertigstellung des Tankbauwerks sichtbar ist.

ANMERKUNG Für die Kennzeichnung sind vorzugsweise Material schonende Prägestempel mit gerundeter Kontur zu verwenden, deren Mindestradius 0,25 mm beträgt. Dieses Verfahren eignet sich jedoch nicht für Bleche mit einer Dicke unter 6 mm. Auf diese Bleche kann die Kennzeichnung mit Farbe oder Tinte aufgebracht werden.

6.2 Vorbereitung der Bleche und zulässige Maßabweichungen

6.2.1 Mantelbleche

Thermisch geschnittene Kanten müssen bis zum blanken Metall abgeschliffen werden; sie müssen frei von Oxid und Zunder sein.

Bei der Festlegung der zulässigen Maßabweichungen müssen der Stahlherstellungsprozess, Verfahren der Werksfertigung und das vorgeschlagene Errichtungsverfahren zugrunde gelegt werden. Die maximale Breite eines Mantelblechs darf von dem bei der Auslegung verwendeten Wert um nicht mehr als 4 mm abweichen.

Für Membrantanks müssen kalt gewalzte Bleche ohne sichtbare Fehler verwendet werden.

6.2.2 Bodenrandbleche

Alle Bodenrandbleche müssen nach der Herstellung an der Außenkante und an den beiden kurzen Kanten auf einer Breite von 150 mm einer Ultraschallprüfung nach EN 10160:1999, Qualitätsklasse S₂ unterzogen werden, um Dopplungen aufzuzeigen.

6.2.3 Stutzen

Wenn die Stutzen im Primär- oder Sekundärbehälter aus gewalztem Blech bestehen, muss an der Längsschweißnaht im Stutzen eine 100%ige Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung durchgeführt werden.

Wenn die Mantelstützen aus Blech aus einem unlegierten Stahl mit einer Dicke ≥ 25 mm hergestellt werden, muss eine Ultraschallprüfung auf Dopplungen in dem Bereich durchgeführt werden, in dem Mantel und Verstärkungsblech an den Stutzen angeschweißt sind.

Falls die Flansche aus Blech hergestellt werden, müssen sie nach EN 10160:1999 einer Ultraschallprüfung unterzogen werden, um sicherzustellen, dass keine Dopplungen vorhanden sind.

Aufsteckflansche müssen beidseitig geschweißt werden.

Alle Vorschweißflansche müssen stumpf- und voll durchgeschweißt werden.

6.2.4 Verstärkungsbleche

Die Verstärkungsbleche müssen so geformt werden, dass sie im Einbauzustand die gleiche Krümmung aufweisen wie das Mantelschussblech, an das sie geschweißt werden.

Alle Stützenverstärkungsbleche müssen mindestens eine Gewindebohrung für Prüfzwecke aufweisen.

6.3 Zulässige Maßabweichungen

6.3.1 Grenzabweichungen am Außenbereich der Gründung

Wenn ein Ringfundament aus Beton unter dem Mantel vorgesehen ist, dürfen Abweichungen an der Oberseite des Ringfundaments bezogen auf die mittlere Höhe ± 3 mm für jeweils 10 m des Umfangs und ± 6 mm für den gesamten Umfang nicht überschreiten.

Wenn eine Beton-Grundplatte vorgesehen ist, müssen im Bereich 300 mm innerhalb und 300 mm außerhalb des Mantels die Ebenheitstoleranzen des Betonfundaments erfüllt werden.

6.3.2 Sonstige Grenzabweichungen der Gründungsoberfläche

Alle mit einer 3 m langen Messlatte gemessenen Abweichungen dürfen 15 mm nicht überschreiten.

6.3.3 Grenzabweichungen der Bodenbleche

Örtliche Verwerfungen der Bodenbleche müssen durch Kontrolle der Schweißfolgen, Einbau temporärer Versteifungselemente usw. minimiert werden. Über einen Abstand von weniger als 3 m dürfen die örtlichen Verwerfungen 75 mm nicht überschreiten.

6.3.4 Mantel-Boden-Verbindung

Nach Montage und Anschweißen des ersten Mantelschusses an den Boden muss der waagrecht in einer Höhe von 300 mm über dem Boden des Tanks gemessene Innenradius innerhalb der in Tabelle 9 angegebenen zulässigen Abweichungen liegen. Die Messungen müssen in der Mitte eines jeden Mantelblechs durchgeführt werden.

Tabelle 9 — Grenzabweichungen des Radius

Durchmesser D m	Grenzabweichungen des Radius mm
$D \leq 12$	± 12
$12 < D \leq 46$	± 19
$46 < D \leq 76$	± 25
$76 < D$	± 30

6.3.5 Unrundheit

Der in einer beliebigen Höhe gemessene Unterschied zwischen größtem und kleinstem Durchmesser darf 1 % des Durchmessers oder 300 mm nicht überschreiten, je nachdem, welcher Wert kleiner ist.

6.3.6 Örtliche Verformungen der Bleche

Örtliche Verformungen der Mantelbleche müssen in senkrechter Richtung mit einem 1 m langen Lineal und in waagerechter Richtung mit einer 1 m langen Messlatte geprüft werden. Die Messlatte für die Messungen in waagerechter Richtung muss nach dem Auslegungsradius hergestellt werden.

Die maximale Abweichung zwischen dem Auslegungsprofil und dem Profil des fertig gestellten Tanks muss Tabelle 10 entsprechen.

Tabelle 10 — Maximale Abweichungen zwischen dem Auslegungsprofil und dem Profil des fertigen Tanks

Blechdicke <i>e</i> mm	Abweichung mm
$e \leq 12,5$	16
$12,5 < e \leq 25$	13
$25 > e$	10

6.3.7 Örtliche Verformung an den Schweißnähten

Eine örtliche Verformung an Schweißnähten, so genannte Vorbeultiefen auf der Oberfläche („peaking“), können an der Tankmitte innen oder außen auftreten (siehe Bild 5); die zulässigen Abweichungen müssen für innen und außen gelten.

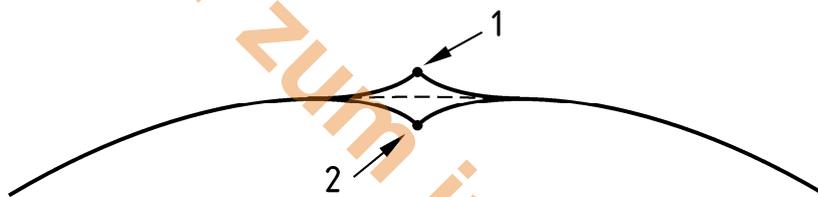
Die Bildung von Vorbeultiefen muss mit der in Bild 6 dargestellten Lehre gemessen werden. Die Lehre muss auf die größte zulässige Spitze (mit einer Korrektur für die Krümmung) nach Tabelle 11 eingestellt werden.

Die Vorbeultiefen müssen dem zulässigen Bereich zugeordnet werden, bis einer der äußeren Schenkel von der Oberfläche abhebt.

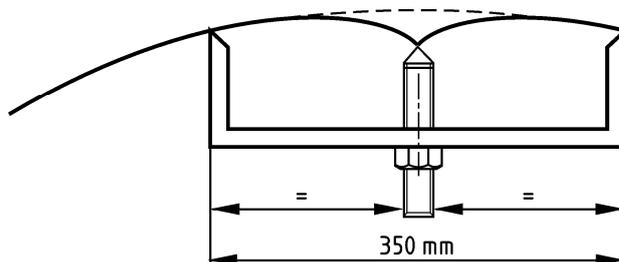
ANMERKUNG Schweißspitzen haben eine Abklinglänge, die eine Schablone mit einer der Schweißnahtbreite entsprechenden Kerbe nicht notwendig macht.

Tabelle 11 — Grenzabweichungen für örtliche Verformungen in Schweißnähten

Blechdicke <i>e</i> mm	Maximale Grenzabweichung mm
$e \leq 12,5$	12
$12,5 < e \leq 25$	9
$25 < e$	6

**Legende**

- 1 Vorbeultiefen nach außen
- 2 Vorbeultiefen nach innen

Bild 5 — Bildung von Vorbeultiefen nach außen und nach innen**Bild 6 — Lehre zum Messen der Vorbeultiefen****6.3.8 Abweichungen von der Lotrechten****6.3.8.1 Stahltanks**

Die maximale Abweichung der Oberkante des Mantels von der Lotrechten relativ zum Bodenschuss darf $1/200$ der Gesamthöhe oder 50 mm, je nachdem, welcher Wert geringer ist, nicht überschreiten. Die gleiche Abweichung muss für die einzelnen Mantelschusshöhen gelten.

6.3.8.2 Auskleidungen

Die maximale Abweichung der Auskleidungen von der Lotrechten darf 100 mm nicht überschreiten.

6.3.9 Kantenversatz bei Mantelblechen**6.3.9.1 Senkrechte Verbindungen**

Der Kantenversatz bei Mantelblechen an senkrechten Verbindungen darf die in Tabelle 12 angegebenen Werte nicht überschreiten.

Tabelle 12 — Kantenversatz an senkrechten Verbindungen

Mantelblechdicke e mm	Kantenversatz mm
$e \leq 15$	1,5
$15 < e \leq 30$	10 % von e
$30 < e$	3

6.3.9.2 Waagerechte Verbindungen

Der Kantenversatz zwischen der auf der Zeichnung angegebenen und der tatsächlichen Kantenausrichtung darf 20 % der Dicke des oberen Blechs, maximal 3 mm, nicht überschreiten.

6.3.10 Grenzabweichungen für Membransysteme

Das gesamte Membransystem (Membran, Dämmplatten, Leim, Verankerungen usw.) muss mit der Betonwand oder dem Betonboden verbunden oder durch die Betonwand/den Betonboden abgestützt werden. Daher muss der Auftragnehmer die zulässigen Abweichungen für den Betontank so festlegen, dass ihre Einhaltung unter allen Einwirkungen möglich ist.

6.4 Dach

Das Dach muss so gebaut werden, dass seine Standsicherheit während der Errichtung sichergestellt ist.

Wenn eine temporäre Stützkonstruktion verwendet wird, muss der Auftragnehmer alle notwendigen Maßnahmen treffen, um eine Verdrehung des Stützgerüsts und eine Drehung der Tragkonstruktion insgesamt zu vermeiden.

6.5 Temporäre Anbauteile

Temporäre Anbauteile müssen nach demselben Verfahren geschweißt werden, das für die Werkstoffe, an die sie angeschweißt werden, verwendet wird. Temporäre Anbauteile müssen durch thermisches Trennen, Fugenhobeln oder Schleifen entfernt werden. Nach dem thermischen Trennen oder nach dem Fugenhobeln der Schweißnaht müssen 2 mm des Werkstoffs verbleiben und so abgeschliffen werden, dass eine glatte Oberfläche entsteht. Danach muss die abgeschliffene Fläche auf Risse untersucht werden.

An die Membran dürfen keine temporären Anbauteile angeschweißt werden.

7 Schweißverfahren

7.1 Allgemeines

Für alle Schweißverfahren, einschließlich Reparatur- und Heftschweißungen, müssen eine Schweißanweisung (WPS) und ein Bericht über die Anerkennung der Schweißverfahren (WPAR) nach EN ISO 15607, EN ISO 15609-1:2004 und EN ISO 15614-1 vorliegen.

Für jedes neue Projekt muss für Schweißverfahren am Primär- und am Sekundärbehälter, unabhängig von früher erteilten Zulassungen, eine Zulassung vorliegen. Der verwendete Stahl muss vom selben Werk nach den gleichen Stahlerzeugungsverfahren hergestellt werden.

Bei Blechen mit einem Schutzanstrich, der vor dem Schweißen nicht entfernt wird, ist die Schweißverfahrenszulassung an Blechen mit diesem Anstrich durchzuführen.

7.2 Anforderungen an den Bericht über die Anerkennung der Schweißverfahren (WPAR)

Für alle nachfolgend aufgeführten Bedingungen muss ein Bericht über die Anerkennung der Schweißverfahren erstellt werden.

Für jedes zum Schweißen von Rundnähten am Tankmantel verwendete Schweißverfahren muss ein stumpfgeschweißtes Prüfblech für jede der nachfolgend festgelegten Dicken in waagerechter Lage hergestellt werden:

- für eine Dicke gleich oder kleiner als die Mindestdicke des Tankmantels;
- für eine Dicke gleich oder größer als die maximale Dicke des Tankmantels.

Für jedes zum Schweißen von senkrechten Nähten (Längsnähten) am Tankmantel verwendete Schweißverfahren muss ein stumpfgeschweißtes Prüfblech für jede der nachfolgend festgelegten Dicken in senkrechter Lage hergestellt werden:

- für eine Dicke gleich oder kleiner als die Mindestdicke des Tankmantels;
- für eine Dicke gleich oder größer als die maximale Dicke des Tankmantels.

Die unter den hier angegebenen Prüfbedingungen anerkannten Dickenbereiche müssen mindestens den in EN ISO 15614-1 festgelegten Anforderungen entsprechen.

7.3 Kerbschlagbiegeversuch

Der Kerbschlagbiegeversuch für das Schweißgut und die Wärmeeinflusszone für den Bericht über die Anerkennung des Schweißverfahrens und die Fertigungsprüfung muss den folgenden Anforderungen sowie den Anforderungen von Tabelle 2 entsprechen:

- Jeder Probensatz muss aus drei Proben bestehen. Für das Schweißgut und für die WEZ ist jeweils ein Probensatz erforderlich;
- die Proben für den Charpy-Kerbschlagbiegeversuch für das Schweißgut und die WEZ sind höchstens 2 mm unterhalb der Oberfläche des Grundwerkstoffes und quer zur Schweißnaht zu entnehmen. Bei in waagerechter Position geschweißten Prüfblechen muss die Walzrichtung parallel zur Schweißnaht liegen. Bei in senkrechter Position geschweißten Prüfblechen muss die Walzrichtung des Blechs quer zur Schweißnaht liegen;
- die V-Kerbe muss rechtwinklig zur Schweißnahtoberfläche eingearbeitet werden;
- in der WEZ muss die Kerbe 1 mm bis 2 mm von der Schmelzlinie entfernt und im Schweißgut auf der Schweißnahtmittellinie liegen.

7.4 9%-Nickel-Stähle

Die Werte, die nach EN ISO 15614-1 für Proben für die Querschugprüfung gefordert werden, dürfen nicht geringer sein als der bei der Auslegung für senkrechte Schweißnähte verwendete Wert und/oder 80 % des Wertes für waagerechte Schweißnähte. Falls ein Bruch im Schweißgut auftritt, müssen die Zugfestigkeit und die Streckgrenze (Dehngrenze) des Schweißgutes wie folgt bestimmt werden:

- zwei beliebig verschweißte Prüfbleche müssen vorbereitet werden (jeweils eines für die Positionen 1G und 3G); dabei sind stumpf aneinander stoßende Bleche aus unlegiertem Stahl zu verwenden;
- aus jedem Prüfblech müssen zwei beliebig verschweißte Proben vorbereitet werden.

7.5 Schweißer und Bediener von Schweißgeräten

7.5.1 Einwandige Tanks, einwandige Tanks mit Auffangtasse und doppelwandige Tanks mit vollständiger Sicherheitshülle

Die Prüfung von Schweißern muss nach EN 287-1 erfolgen. Die Prüfung von Bedienern von Schweißrichtungen muss nach EN 1418 erfolgen.

7.5.2 Membrantanks

Beim Zusammenbau der tatsächlich verwendeten Membranbleche müssen Schweißprüfungen durchgeführt werden.

Die Zulassungsprüfungen müssen mindestens in folgenden Positionen und Richtungen durchgeführt werden:

- für den Bodenbereich: in Wannenposition;
- für den Mantelbereich: in senkrecht ansteigender Richtung;
- für den Mantelbereich: in waagerechter Richtung mit Nahtanarbeitung nach oben oder unten.

Jedes Probestück muss makroskopisch untersucht werden.

Während der Fertigung müssen alle Schweißer oder Benutzer von Schweißeinrichtungen regelmäßig beurteilt werden. Die Zeitspanne muss in Abhängigkeit von den erreichten Fertigungsergebnissen festgelegt werden. Die Schweißer müssen mindestens einmal monatlich und die Bediener von Schweißgeräten einmal wöchentlich geprüft werden.

7.6 Arbeitsproben

7.6.1 Einwandige Tanks, einwandige Tanks mit Auffangtasse, doppelwandige Tanks mit vollständiger Sicherheitshülle

Für Primär- und Sekundärbehälter muss mindestens eine Arbeitsprobe aus der senkrechten Schweißnaht des dünnsten und dicksten Schusses sowie für alle zum Schweißen dieser Schüsse verwendeten Schweißverfahren hergestellt werden.

Die Arbeitsproben müssen so bald wie möglich während des Baus des Tanks geschweißt und geprüft werden.

Falls der Dickenunterschied zwischen dem untersten und dem obersten Mantelschuss gleich oder größer als 20 mm ist, sind zusätzliche Arbeitsproben für alle Schweißverfahren erforderlich, die in der senkrechten Position für eine Blechdicke etwa in der Mitte des Dickenbereichs zwischen den Dicken des untersten und des obersten Mantelschusses angewendet werden, erforderlich. Diese Arbeitsproben müssen eine Mindestbreite von 400 mm (200 mm auf jeder Seite der Schweißnaht) haben, und sie müssen so groß sein, dass ihre mechanischen Eigenschaften nicht durch Wärmeeinwirkung beeinflusst werden.

Der für die Arbeitsproben verwendete Werkstoff muss aus einer der Stahlschmelzen stammen, die zum Bau des Tanks verwendet werden.

Außerdem müssen die zum Schweißen der Arbeitsproben verwendeten Schweißzusätze vom selben Hersteller geliefert werden und in derselben Ausführung vorliegen, die zum Schweißen der für die Fertigung der jeweiligen Schweißnaht verwendet wird.

Ist es aufgrund des Montageverfahrens nicht möglich, die Arbeitsprobe am Ende einer senkrechten Schweißnaht anzuordnen, muss sie am Standort an einer geeigneten Stelle unter Anwendung der Anweisung für das Schweißen der für die Fertigung vorgesehenen Schweißnaht hergestellt werden.

Die Anforderungen an Inspektion und Prüfung müssen für Arbeitsproben dieselben sein wie für den Bericht über die Anerkennung der Schweißverfahren. Es müssen jedoch nur Charpy-Kerbschlagbiegeversuche im Schweißgut und in der WEZ durchgeführt werden. Wiederholungsprüfungen müssen erlaubt sein. Bei einem Nichtbestehen der Wiederholungsprüfung müssen Korrekturmaßnahmen ergriffen werden. Der Besteller ist zu informieren.

7.6.2 Membrantanks

Es muss mindestens eine Arbeitsprobe aus dem Membranblech an der Vertikalnaht und der Rundnaht des Mantels sowie an der Flachnaht des Bodens hergestellt werden.

8 Schweißen

8.1 Heft- und temporäre Schweißnähte

Heftschweißnähte und temporäre Schweißnähte müssen von geprüften Schweißern hergestellt werden.

ANMERKUNG Diese Schweißnähte brauchen nicht entfernt zu werden, wenn sie fehlerfrei sind und die nachfolgenden Schweißlagen gründlich in die Heftschweißnähte eingeschmolzen werden.

8.2 Witterungsbedingungen

Der Auftragnehmer muss sicherstellen, dass die Schweißnähte gegen Feuchtigkeit und Regen geschützt sind und dass ein Windschutz angewendet wird.

Bei einer Ausgangswandtemperatur unter 5 °C muss der Werkstoff auf beiden Seiten der Verbindungen erwärmt werden. Das Vorwärmen muss so durchgeführt werden, dass die volle Dicke der Verbindung auf mehr als 5 °C erwärmt wird.

8.3 Vorwärmen

Ist vor dem Schweißen ein Vorwärmen erforderlich, muss sich vor Schweißbeginn der vorgewärmte Bereich über die gesamte Dicke der zu schweißenden Teile in allen Richtungen über eine Länge erstrecken, die dem Vierfachen der Blechdicke oder 75 mm entspricht, je nachdem, welcher Wert größer ist.

Das Vorwärmen muss nach EN 1011-2 durchgeführt werden.

8.4 Wärmebehandlung nach dem Schweißen

Mantelstützen und Mannlöcher müssen in das Mantelblech oder das dickere Einsatzblech eingeschweißt werden, und die Schweißverbindung muss vor dem Einbau in den Tank wärmebehandelt werden, sofern nicht eine der folgenden Ausnahmen zutrifft:

- kein Zusammenbauteil hat eine Dicke von 16 mm oder darüber;
- kein Zusammenbauteil hat eine Dicke von 30 mm oder darüber, und der Nenndurchmesser des Stutzens ist kleiner als 300 mm;
- Stützen oder Mannlöcher im Mantel eines Außentanks, der nur für die Aufnahme von Dampf ausgelegt ist.

Für die Wärmebehandlungen muss ein Wärmebehandlungsplan aufgestellt werden.

ANMERKUNG 1 Diese Anforderungen gelten für Kohlenstoff-Mangan-Stahl; sie gelten nicht für Stähle mit Nickelgehalten von 1,5 % und 9 %, für austenitische nichtrostende Stähle und für Nichteisen-Werkstoffe.

Kaltgeformte Bleche aus Stahl mit 9 % Nickel müssen einer Wärmebehandlung nach dem Schweißen (oder einem Spannungsarmglühen) unterzogen werden, wenn die nach der folgenden Gleichung bestimmte, höchste durch die Kaltformung bedingte Dehnung 3 % überschreitet:

$$s = \frac{50 t}{R_f} \left(1 - \frac{R_f}{R_0} \right)$$

Dabei ist

R_0 der ursprüngliche Radius (unendlich für flache Bleche), in mm;

R_f der endgültige Radius, in mm;

s die Dehnung, in %;

t die Blechdicke, in mm.

Die Temperatur ist an ausreichend vielen Punkten kontinuierlich und automatisch aufzuzeichnen, um sicherzustellen, dass das gesamte Bauteil im festgelegten Bereich wärmebehandelt wird.

Die Temperatur im Ofen darf beim Einbringen des Teils 400 °C nicht überschreiten.

Die Erwärmungsgeschwindigkeit auf über 400 °C (in °C/h) darf folgenden Wert nicht überschreiten:

$$\frac{5\,500}{e} \text{ bei einer maximalen Geschwindigkeit von } 220 \text{ °C/h.}$$

Dabei ist

e die Dicke des Mantelblechs oder des Einsetzblechs, in mm.

In der Erwärmungsphase dürfen im wärmebehandelten Teil keine Temperaturschwankungen von mehr als 150 °C je 4 500 mm Länge auftreten, und nach Erreichen der Haltetemperatur muss die Werkstofftemperatur über das gesamte Teil innerhalb eines Bereichs von 580 °C bis 620 °C liegen. Bei Anwendung vergüteter Stähle muss der Stahlhersteller konsultiert werden.

Die Atmosphäre im Ofen muss so kontrolliert werden, dass ein übermäßiges Oxidieren der Oberfläche verhindert wird. Die Flammen dürfen nicht direkt auf das Teil einwirken.

Wenn das Bauteil die zuvor festgelegte gleichmäßige Temperatur erreicht hat, muss diese Temperatur über einen Zeitraum von 2,5 min je Millimeter Dicke des Mantelblechs oder des Einsetzblechs, mindestens aber über 1 h, konstant gehalten werden.

ANMERKUNG 2 Bei Bedarf können die in Tabelle 13 angegebenen Zeit-Temperatur-Kombinationen verwendet werden.

Tabelle 13 — Haltezeiten bei niedrigeren Temperaturen

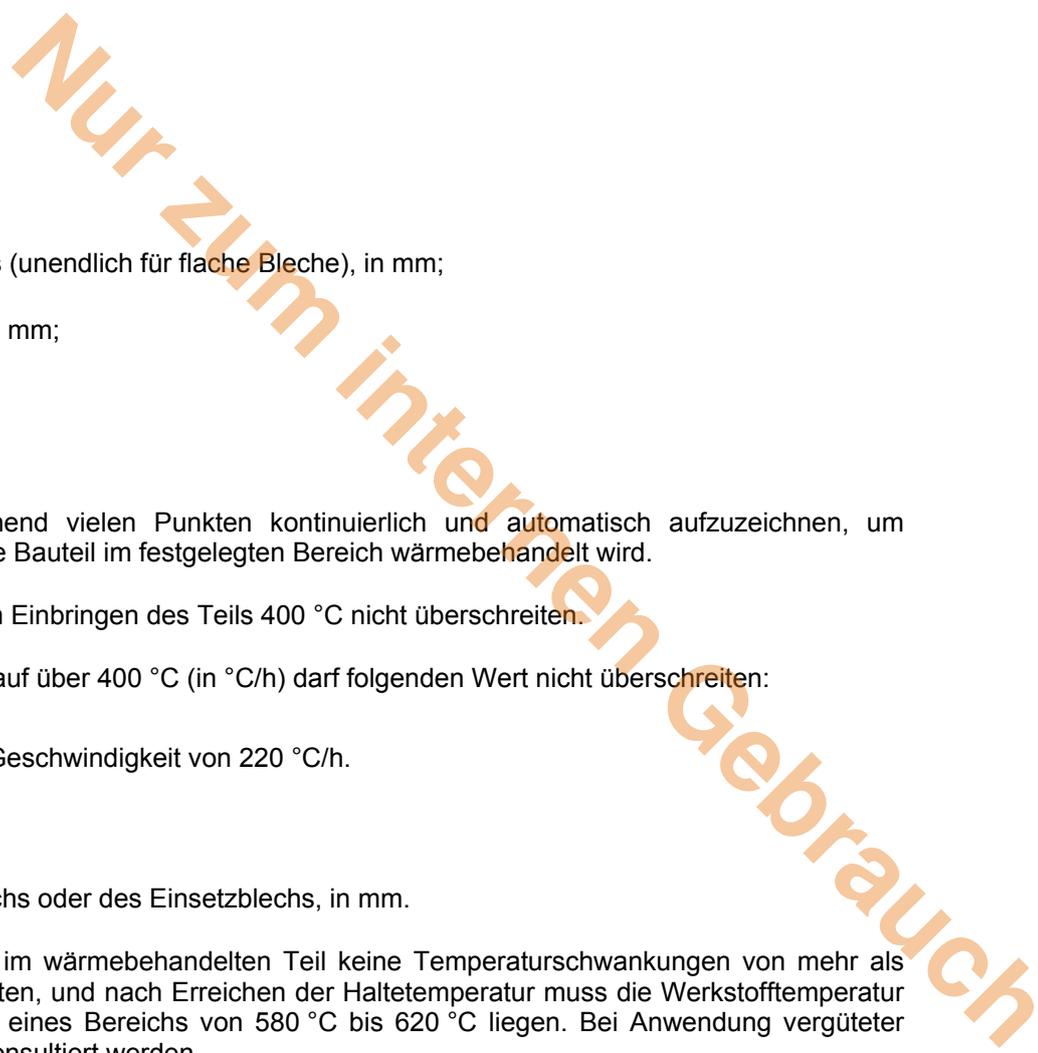
Temperatur °C	Haltezeit min je mm Dicke
500	12,5
540	7,5
570	5

Das Bauteil muss im Ofen auf 400 °C mit einer Geschwindigkeit abgekühlt werden, die folgenden Wert nicht überschreiten darf:

$$\frac{5\,500}{e} \text{ bei einer maximalen Geschwindigkeit von } 220 \text{ °C/h.}$$

Dabei ist

e die Dicke des Mantelblechs oder des Einsetzblechs, in mm.



ANMERKUNG 3 Unter 400 °C kann die weitere Abkühlung des Teils an ruhender Luft erfolgen.

Die Zubehörbleche müssen in geeigneter Weise abgestützt werden, um während der Wärmebehandlung nach dem Schweißen formstabil zu bleiben.

9 Prüfung

9.1 Qualifizierung des Personals für die zerstörungsfreie Prüfung

Das für die zerstörungsfreie Prüfung eingesetzte Personal muss mindestens für die Stufe der durchzuführenden Arbeiten qualifiziert sein. Diese Qualifikation muss nach einem ZfP- und Qualifikationsprogramm geeignet und zertifiziert sein. Das Programm muss auf EN 473 basieren.

ANMERKUNG ASNT SNT-TC-1A, CP189 oder ACCP können ebenfalls verwendet werden.

9.2 Prüfverfahren

Alle zerstörungsfreien Prüfungen müssen von einer von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abteilung durchgeführt werden.

Die Prüfverfahren müssen vorbereitet werden. Für jedes Verfahren müssen mindestens angegeben werden:

- der Umfang des Prüfverfahrens;
- die Durchführungsbedingungen:
 - 1) Art der verwendeten Ausrüstung;
 - 2) Art und Eigenschaften der Schweißzusätze;
 - 3) Prüfparameter (Dauer, Temperatur usw.);
 - 4) Bedingungen für das Ablesen der Ergebnisse (Licht usw.).

9.3 Art der Prüfungen

9.3.1 Überprüfung der Werkstoffe

Der Auftragnehmer muss sicherstellen, dass ein System zur Kennzeichnung/Identifizierung der Werkstoffe eingehalten wird. Mithilfe des Systems muss es möglich sein, die Werkstoffe während des Baus jederzeit zu identifizieren.

9.3.2 Umfang der Schweißnahtprüfungen

9.3.2.1 Primär- und Sekundärbehälter von einwandigen Tanks, einwandigen Tanks mit Auffangtasse und doppelwandigen Tanks mit vollständiger Sicherheitshülle

Die Prüfungen müssen nach Tabelle 14 durchgeführt werden.

Tabelle 14 — Schweißnahtprüfungen für Primär- und Sekundärbehälter

Teil des Tanks	Art der Verbindung	Sichtprüfung	Eindringprüfung	Magnetpulverprüfung	Unterdruckprüfung mit Saugglocke	Blasenprüfung	Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung
		%	%	%	%	%	%
Bodenbleche	Stumpfnah	100 ^a			100 ^a		
	Kehlnah	100 ^a			100 ^a		
Bodenrandbleche	Radiale Stumpfnah	100			100		100
Verbindung Boden/Mantel	Kehlnah	100 ^b				100 ^b	
Mantel	Stumpfnah	100 ^b					siehe Tabelle 16
Stutzen in Mantel oder Boden	Längsnah	100 ^c					100
	Vorschweißflansch/Rohr $d_n \geq 100$ mm	100 ^c	100 oder 100				10
	Vorschweißflansch/Rohr $d_n < 100$ mm	100 ^{c, d}	100 oder 100				
	Aufsteckflansch/Rohr-Kehlnah	100 ^c	100 oder 100				
Verbindung Stutzen/Mantel oder Einsetzstück und Stutzen mit Verstärkungsblech	Stutzen an Mantel oder Einsetzstück	100 ^c	100 oder 100				
	Stutzen an Verstärkungsblech	100 ^c	100 oder 100				
	Verstärkungsblech/Mantel	100 ^c				100	
	Einsetzblech an Mantel	100					100
Permanente Anbauteile und Zwischenbleche	Kehlnah	100	100 oder 100				
Versteifungsringe	Hauptstumpfnähte in Versteifungsringen	100					100
	Kehlnähte zum Mantel	100	100 oder 100				

^a Vor und nach der Wasserdruckprüfung.
^b Auf beiden Seiten.
^c Falls gefordert, nach der Wärmebehandlung nach dem Schweißen.
^d Eine Seite.

Tabelle 15 — Umfang der Durchstrahlungs-/Ultraschallprüfungen von Schweißnähten am Mantel des Primär- und Sekundärbehälters

Art der Prüfung	Schweißnähte		
	Senkrechte Nähte %	T-Nähte % ^a	Waagerechte Nähte % ^b
Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung	100	100	5

^a Mit waagrecht liegendem 400-mm-Film.
^b Zusätzlich zur Prüfung der T-Nähte.

9.3.2.2 Primärbehälter von Membrantanks

Für die Membran aus nicht rostendem Stahl müssen folgende Prüfungen an Schweißnähten durchgeführt werden:

- eine 100%ige Sichtprüfung;
- eine Dichtheitsprüfung mit Ammoniak;
- Eindringprüfungen müssen täglich an 5 % aller Arten von Schweißnähten durchgeführt werden.

9.3.2.3 Dampfbehälter für einwandige Tanks, einwandige Tanks mit Auffangtasse und doppelwandige Tanks mit Sicherheitshülle

Die Prüfungen müssen nach Tabelle 16 durchgeführt werden.

Tabelle 16 — Schweißnahtprüfungen für Primär- und Sekundärbehälter

Teil des Tanks	Art der Verbindung	Sichtprüfung %	Eindringprüfung %	Magnetpulverprüfung %	Unterdruckprüfung mit Saugglocke %	Blasenprüfung %	Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung %
Bodenbleche	Stumpfnah	100			100		
	Kehlnah	100			100		
Bodenrandbleche	Radiale Stumpfnah	100			100		
Verbindung Boden/Mantel	Kehlnah	100			100		
Mantel	Stumpfnah	100			100		siehe Tabelle 17
Druckbeanspruchte Fläche (Dacheckring)	Senkrechte und radiale Stumpfnähte	100	100 oder 100				25
	Stumpf- oder Kehlnähte rundum	100	100 oder 100			100	
Dach	Kehlnah	100				100	
	Stumpfnah	100				100	
Stützen im Mantel, Boden oder Dach	Stützen-Längsnah	100				100	
	Flansch/Stützenshals	100				100	
Verbindung Stützen/Mantel oder Einsetzstück und Stützen mit Verstärkungsblech	Stützen an Mantel oder Einsetzstück	100	100 oder 100			100	
	Stützen/Verstärkungsblech	100	100 oder 100			100	
	Verstärkungsblech/Mantel	100				100	
	Einbaublech/Mantel	100					100
Temporäre Halterung	Nach Entfernung der Halterung	100	100 oder 100				
Permanente Anbauteile und Zwischenbleche	Kehlnah	100	100 oder 100				
Versteifungsringe (Windverband)	Hauptstumpfnähte in Versteifungsringen	100	100 oder 100				
	Kehlnähte zum Mantel	100					

Tabelle 17 — Umfang der Durchstrahlungs-/Ultraschallprüfungen von Schweißnähten am Mantelblech von Dampfbehältern

Art der Prüfung	Schweißnähte		
	Senkrechte Nähte %	T-Nähte % ^a	Waagerechte Nähte %
Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung	5	25	1
^a 50 % der Durchstrahlungsprüfungen sind mit waagrecht liegendem 400-mm-Film und 50 % mit senkrecht liegendem Film durchzuführen.			

9.4 Sichtprüfung

Es ist eine Sichtprüfung nach EN 970 durchzuführen, um Schweißraupen, Formen und Abmessungen zu überprüfen und vorhandene Oberflächenfehler sowohl an den Schweißnähten als auch an Blechen, Stützen und sämtlichen bei der Herstellung und Errichtung des Tanks angeschweißten Anbauteilen festzustellen.

Die Sichtprüfung ist vor jeder anderen zerstörungsfreien Prüfung durchzuführen.

9.5 Eindringprüfung

Die Eindringprüfung ist nach EN 571-1 durchzuführen.

Alle bei einer Eindringprüfung verwendeten Prüfmittel müssen miteinander kompatibel sein.

Der Auftragnehmer muss sicherstellen, dass durch die Prüfmittel keine Gefahr der Verunreinigung der zu prüfenden Bauteile und der vorgesehenen Lagergüter besteht.

9.6 Magnetpulverprüfung

Die Magnetpulverprüfung ist nach EN 1290 durchzuführen.

Zur Magnetisierung darf kein Verfahren angewendet werden, bei dem elektrischer Strom direkt in das zu prüfende Teil geleitet wird. Es ist ein beweglicher Elektromagnet zu verwenden, mit dem der zu prüfende Teil einen geschlossenen Magnetkreis bildet.

Das in der Prüfung angewendete Verfahren und Gerät sowie die Verfahren zur Feststellung und zum Ausschluss von Fehlern müssen in einem Dokument festgelegt werden, das dem Besteller oder dem Abnahmebeauftragten vorgelegt wird.

Die erforderliche Oberflächengüte muss im angewendeten Verfahren angegeben werden, damit die Ergebnisse richtig beurteilt werden können.

Die Magnetpulverprüfung darf für Stahl mit 9 % Nickel nicht angewendet werden.

9.7 Unterdruckprüfung mit Saugglocke

Die Unterdruckprüfung mit Saugglocke ist nach EN 1593 durchzuführen.

Die Bleche müssen sauber und die Schweißnähte entfettet sowie frei von Schlacke oder Zunder sein, die die Qualität der Prüfung beeinträchtigen könnten.

Das verwendete Pumpensystem muss geeignet sein, einen Unterdruck von mindestens 300 mbar zu erzeugen.

Das Seifenwasser muss folgende Eigenschaften aufweisen:

- hohe Benetzungsfähigkeit;
- niedrige Viskosität;
- geringe Oberflächenspannung;
- hohes Schaumvermögen.

9.8 Dichtheitsprüfung mit Ammoniak

Es muss eine Dichtheitsprüfung mit Ammoniak durchgeführt werden.

ANMERKUNG Solange keine Europäische Norm verfügbar ist, darf NF A09-106 angewendet werden.

9.9 Blasenprüfung (Nekalprüfung)

9.9.1 Allgemeines

Die Blasenprüfung (Nekalprüfung) mit Druck ist in Übereinstimmung mit EN 1593 durchzuführen.

9.9.2 Mantel-Boden-Verbindung mit beidseitig geschweißten Kehlnähten

Bei Mantelblechen, die beidseitig mit dem Boden kehlnahtverschweißt sind, ist in den Raum zwischen den Kehlnähten durch eine für diesen Zweck vorhandene Gewindebohrung Luft mit einem Überdruck von 500 mbar einzuleiten. Dieser Druck ist während der Prüfung aufrechtzuerhalten. Das Seifenwasser ist mit einem Pinsel oder durch Sprühen auf die Schweißnähte aufzutragen. Nach der Prüfung muss die Gewindebohrung dicht verschlossen werden.

Es muss sichergestellt werden, dass zwischen den beiden Kehlnähten am gesamten Umfang des Tankmantels ein kontinuierlicher Prüfdruck wirkt.

9.9.3 Verstärkungsbleche

Nach dem Benetzen der Schweißnähte am Verstärkungsblech mit Seifenwasser muss durch die Gewindebohrung Luft mit einem Überdruck von 500 mbar eingeleitet werden. Die Haltezeit muss mindestens 30 s betragen. Nach der Prüfung ist die Gewindebohrung dicht zu verschließen.

9.9.4 Dach

Bei der Gasdruckprüfung des Stahldachs sind die außen liegenden Kehlnähte mit Seifenwasser zu befeuchten. Der Auslegungsdruck muss während der Prüfung aufrechterhalten werden.

9.10 Durchstrahlungsprüfung

Die Durchstrahlungsprüfung ist nach EN 1435:1997, Prüfkategorie B durchzuführen.

Die Strahlungsquelle ist in Abhängigkeit von der Dicke und der Fläche des zu prüfenden Werkstoffs auszuwählen.

Die verwendeten Filme müssen EN 584-1 und EN 584-2 entsprechen.

Die Länge des Durchstrahlungsfilms muss 400 mm betragen. Die Verwendung von Schmalfilmen muss zugelassen werden, sofern auf beiden Seiten der Schweißnaht ein 10 mm breiter Streifen des Grundwerkstoffs ohne Filmkennzeichnungen zu sehen ist.

EN 14620-2:2006 (D)

Der Bildgüteprüfkörper (IQI) muss EN 462-1 oder EN 462-2 entsprechen.

Die von der Schweißnaht angefertigten Filme sind zu kennzeichnen. Die Kennzeichnungen und die Lage der Filme sind in einer Zeichnung anzugeben, in der auch der Name des betreffenden Schweißers und Bedieners der Schweißeinrichtung vermerkt wird. Jeder Film ist mit der Tanknummer und seiner Position am Tank zu kennzeichnen.

Die Filme sind entsprechend der Bestellfestlegung zum Zwecke einer Auswertung für eine Zeitspanne von mindestens fünf Jahren entweder vom Auftragnehmer/Errichter oder vom Besteller aufzubewahren.

9.11 Ultraschallprüfung

Die Ultraschallprüfung, die als ergänzende Prüfung angewendet wird, ist nach EN 1714 durchzuführen.

Wenn die Ultraschallprüfung anstelle der Durchstrahlungsprüfung angewendet wird, sind nur genormte reproduzierbare Verfahren, bei denen die Prüfung dauerhaft aufgezeichnet wird, zulässig. In API 620:2004, Appendix U sind Kriterien festgelegt, die diese Anforderung erfüllen.

9.12 Annahmekriterien

9.12.1 Durchstrahlungsprüfung

Die Zulässigkeitskriterien für Unregelmäßigkeiten in Schweißnähten müssen auf EN 12062:1997 und EN ISO 5817:2003, Bewertungsgruppe B basieren.

9.12.2 Ultraschallprüfung

Wenn anstelle der Durchstrahlungsprüfung eine Ultraschallprüfung durchgeführt wird, müssen die Regeln der API 620:2004 auf diese Norm angewendet werden, einschließlich der Zulässigkeitskriterien für die Werkstoffsorten I bis V. Wenn die Ultraschallprüfungen nicht angewendet werden können oder wenn eine manuelle Ultraschallprüfung gefordert wird, müssen manuelle Verfahren nach EN 1714:1997 und Zulässigkeitskriterien nach EN 1712:1997 für die Werkstoffsorten I bis III angewendet werden. Wenn eine manuelle Ultraschallprüfung der Werkstoffsorten IV und V gefordert wird, müssen besondere Verfahren entwickelt und nachgewiesen werden.

ANMERKUNG Für Ultraschallprüfungen mit auf Bruchmechanik bezogenen Zulässigkeitskriterien ist noch keine EN-Norm verfügbar. In API 620:2004 wurden zusätzliche Regeln und auf Bruchmechanik bezogene Zulässigkeitskriterien aufgenommen, die eine Ultraschallprüfung anstelle der Durchstrahlungsprüfung zulassen.

9.13 Unzulässige Fehler in waagerechten Schweißnähten

9.13.1 Allgemeines

Wenn unzulässige Fehler gefunden werden, müssen Reparaturschweißungen und die folgenden zusätzlichen Prüfungen durchgeführt werden.

9.13.2 Automatisches Schweißen

Es muss entweder ein weiterer Film verwendet oder eine Ultraschallprüfung über eine Länge von jeweils 1 m auf beiden Seiten des ursprünglichen Bereichs durchgeführt werden.

Falls einer dieser zusätzlichen Filme Fehler aufweist oder eine der zusätzlichen Ultraschallprüfungen nicht bestanden wird, muss die mit dem betreffenden Schweißapparat gefertigte Tagesproduktion einer vollständigen Prüfung unterzogen werden.

9.13.3 Handschweißung

Es muss entweder ein weiterer Film verwendet oder eine Ultraschallprüfung über eine Länge von jeweils 1 m auf beiden Seiten des ursprünglichen Bereichs durchgeführt werden.

Falls einer dieser zusätzlichen Filme Fehler aufweist oder eine der zusätzlichen Ultraschallprüfungen nicht bestanden wird, muss die gesamte Tagesproduktion des betreffenden Schweißers überprüft werden.

9.14 Zulässige Unterschreitung der Wanddicke nach dem Schleifen

Falls Oberflächenfehler nachgewiesen wurden, müssen sie durch Schleifen vollständig entfernt und die Oberfläche einer weiteren Prüfung unterzogen werden.

Eine örtliche Unterschreitung der Wanddicke ist zulässig, sofern die folgenden beiden Bedingungen erfüllt werden:

- die endgültige Blechdicke in einem Bereich von $6e$ mal $6e$ (e ist die Blechdicke) muss mindestens 95 % der bestellten Blechdicke betragen;
- der Abstand zwischen zwei Bereichen mit einer Dickenunterschreitung muss mindestens dem Durchmesser des Kreises um den größten Bereich entsprechen.

Anhang A
(informativ)

Einwirkungen auf die Membran

Die folgenden typischen statischen, aus Wechselbeanspruchung herrührenden und außergewöhnlichen Einwirkungen, die in den Tabellen A.1 bis A.3 dargestellt werden, sollten beachtet werden:

Tabelle A.1 — Statische Einwirkungen

Auslegungsdruck	Auslegungsdruck der Flüssigkeit plus Auslegungsdruck des Gases
Thermische Last	Durch die Temperaturdifferenz verursachte Last
Mechanische Lasten	Durch äußere Kräfte verursachte Lasten, z. B. Eigengewicht, Wand mit Vorspannung, Schwinden des Betons usw. (alle mechanischen Lasten außer Temperatur- und Druckänderungen)

Tabelle A.2 — Einwirkungen durch Wechselbeanspruchung

Flüssigkeitsdruck	Differenz zwischen größtem und kleinstem Füllstand	Anzahl der auf der Basis der erwarteten Lebensdauer des Tanks und der erwarteten Betriebsbedingungen zu bestimmenden Lastwechsel
Thermische Last	Veränderungen der Temperatur beim Kaltfahren Veränderung der Temperatur, bedingt durch Füllen und Entleeren ^a	Anzahl der auf der Basis der erwarteten Lebensdauer des Tanks und der erwarteten Betriebsbedingungen zu bestimmenden Lastwechsel

ANMERKUNG Der Eigentümer kann Angaben zu den Betriebsbedingungen für den Tank vorlegen. Wenn keine Angaben vorliegen, sollte die Auslegung basierend auf folgenden Annahmen erfolgen:

- eine Befüllung/Entleerung je Woche;
- eine Außerbetriebsetzung/Inbetriebnahme einmal in zwei Jahren.

^a Eine Kurve, in der die Verteilung der Gastemperatur im Tank angegeben wird, sollte dem Besteller zur Genehmigung vorgelegt werden.

Tabelle A.3 — Außergewöhnliche Einwirkungen

Erdbebenlasten (keine Ermüdung)	OBE SSE
--	------------

Anhang B
(informativ)

Bestimmung der Last- und Ermüdungskurven für Membranen

Das im Bild B. 1 dargestellte Flussdiagramm sollte berücksichtigt werden.

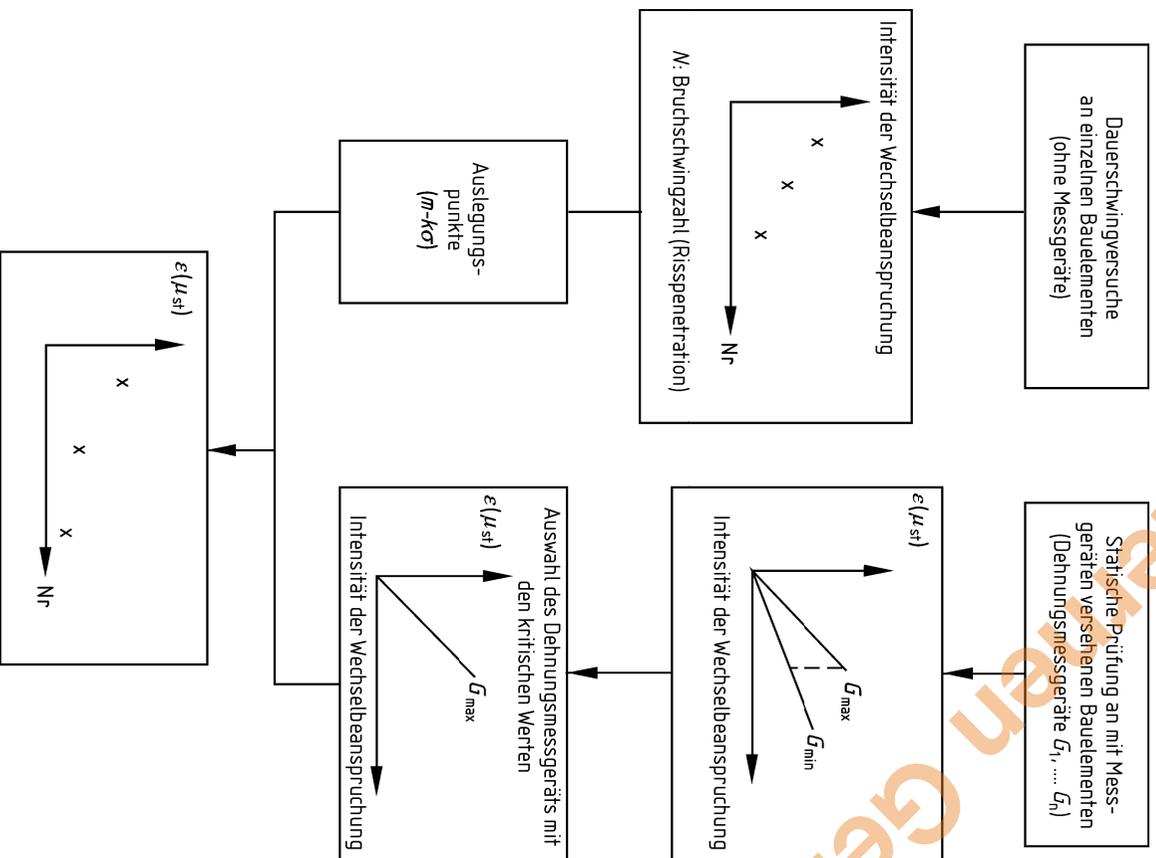


Bild B. 1 — Flussdiagramm für Membranen

Literaturhinweise

- [1] EN 444, *Zerstörungsfreie Prüfungen — Grundlagen für die Durchstrahlungsprüfung von metallischen Werkstoffen mit Röntgen- und Gammastrahlen*
- [2] EN 1515-2, *Flansche und ihre Verbindungen — Schrauben und Muttern — Teil 2: Klassifizierung von Schraubenwerkstoffen für Stahlflansche, nach PN bezeichnet*
- [3] EN 10028-3, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 3: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, normal gegläht*
- [4] EN 10028-4, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 4: Nickellegierte kaltzähe Stähle*
- [5] EN 10088-1, *Nichtrostende Stähle — Teil 1: Verzeichnis der nicht rostenden Stähle*
- [6] EN 10088-2, *Nichtrostende Stähle — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung und für das Bauwesen*
- [7] EN 14620-3, *Standortgefertigte, stehende, zylindrische Flachboden-Stahltanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und –165 °C — Teil 3: Bauteile aus Beton*
- [8] EN 14620-4, *Standortgefertigte, stehende, zylindrische Flachboden-Stahltanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und –165 °C — Teil 4: Dämmung*
- [9] EN 14620-5, *Standortgefertigte, stehende, zylindrische Flachboden-Stahltanks für die Lagerung von tiefkalt verflüssigten Gasen bei Betriebstemperaturen zwischen 0 °C und –165 °C — Teil 5: Prüfen, Trocknen, Inertisieren, Kaltfahren*
- [10] EN ISO 6520-1, *Schweißen und verwandte Prozesse — Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an Metallen — Teil 1: Schmelzschweißen*
- [11] ASTM B 619, *Specification for welded nickel and nickel-cobalt alloy pipe*
- [12] ASTM B 622, *Specification for seamless nickel and nickel-cobalt alloy pipe and tube*
- [13] NF A09-106, *Testing for leak tightness by means of ammonia. Locating of leaks by overall pressurization*
- [14] 'Steel plate engineering data – Volume 2' Useful information on the design of plate structures. AISI publication revised edition 1992, Part VII-anchor bolt chairs
- [15] 'Recommended Practice for LNG Above-ground Storage', Japan Gas Association, 1981
- [16] 'Recommended Practice for LNG In-ground Storage', section 7.3, Japan Gas Association, March 1979
- [17] ASME Code Case N284-1, *Metal Containment Shell Buckling Design Methods, Class MC Section III, Division 1*
- [18] ASME Code Case N2286, *Alternative Rules for Determining Allowable External Pressure and Compressive Stresses for Cylinders, Cones, Spheres, and Formed Heads Section VIII, Divisions 1 and 2*